

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

e
+

1653/
2-81

30/11-8

P10-80-872

Э.Д.Лапчик, В.Н.Шкунденков

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
СКАНИРУЮЩЕГО АВТОМАТА АЭЛТ-2/160

1980

Точность отсчетной системы сканирующего автомата АЭЛТ-2/160^{1,2/} зависит от таких факторов, как инерционность канала отклонения луча, гистерезис отклоняющей системы ЭЛТ и нагрев отклоняющих катушек протекающими токами.

Если не принять специальных мер, то инерционность отклонения приведет к зависимости точности установки луча ЭЛТ в начальную точку сканирования от расстояния этой точки до центра экрана, гистерезис ухудшит повторяемость результатов сканирования и, наконец, нагрев отклоняющих катушек приведет к зависимости этих результатов от продолжительности сканирования и от расстояния сканируемого участка до центра экрана ЭЛТ.

Поскольку перечисленные факторы проявляются только в режиме сканирования, соответствующие характеристики названы динамическими. Их количественная оценка была получена с помощью методики и программ, специально разработанных для этой цели.

1. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Все измерения проводились на калибровочной решетке при максимальном размере калиброванного поля $78 \times 126 \text{ мм}^2 / 14 \times 22 = 308$ крестов, расстояние между их центрами - 6 мм/.

При оценке влияния инерционности отклонения луча на точность установки его в начальную точку сканирования были выбраны 50 крестов, расположенных на линиях, пересекающихся приблизительно в центре экрана сканирующей ЭЛТ. Из них 13 крестов лежат на линии X, 13 - на линии Y и по 12 крестов - на диагоналях калиброванного поля. Такое расположение крестов позволяет анализировать отдельно характеристики каналов X и Y, а также оценить их взаимное влияние.

Предварительно было установлено, что луч выходит в заданную точку экрана плавно /без выбросов и осцилляций/, если скачок тока отклонения не превышает 1-1,2 А, что примерно соответствует изменению кода отклонения на величину 14-го разряда. Чтобы избежать нежелательных эффектов немонотонного установления луча, программа сканирования выводит луч в исходную точку последовательными шагами. При этом число шагов ≤ 4 , последний шаг не превышает величины 14 разряда, а все предыдущие равны этой величине. Такой алгоритм вывода луча позволяет ограничиться анализом времени его установления при скачке на один шаг и не

требует нахождения зависимости этого времени от расстояния начальной точки сканирования до центра экрана.

Необходимое время задержки на установление луча между последовательными шагами определялось для каждого из 50 крестов путем сравнения координат их центров при двойном сканировании - с заведомо большой задержкой и с переменной, которая увеличивалась с 0,6 мс дискретно через 250 мкс до совпадения этих координат с заданной точностью. Приведенные значения задержки и дискретности минимальны и определяются программой сканирования. Кресты сканировались в случайной последовательности.

Кроме запаздывания луча при выходе в исходную точку инерционность отклонения обуславливает его отставание от текущих кодов отклонения при движении по строке. Это является причиной различия считанных координат измеряемых объектов при разных направлениях сканирования. Кроме того, они искажаются переходными процессами в каналах отклонения и по этой причине не должны считываться в начале строки.

Следует отметить, что установление рабочей яркости ЗЛТ в начале строки также может привести к искажению считанной информации. Следовательно, необходимо вводить задержку на сьем координат, учитывающую оба рассмотренных фактора.

Как показали измерения, процесс установления яркости более длителен. Поэтому величина задержки /100 мкс/ была установлена по уровню яркости аппаратными средствами.

Для нахождения разности координат центров крестов, возникающей при изменении направления сканирования, каждый из 308 крестов сканировался дважды - по X и по Y. Затем полученные разности усреднялись по всему калиброванному полю отдельно для координат X и Y. Кресты сканировались как при последовательном обходе, так и при случайном.

Влияние гистерезиса устранялось перемагничиванием отклоняющих катушек перед каждым сканированием, причем пиковые значения токов превышали максимальные величины рабочих токов. Достигалось это программными средствами.

Исследование состояло в сравнении эффективности четырех алгоритмов перемагничивания (A1÷A4):

- максимальными токами, подаваемыми попеременно /одновременно/ в катушки X и Y - A1(A2);
- токами, ступенчато нарастающими до максимальных и подаваемыми попеременно /одновременно/ в катушки X и Y - A3(A4).

Сравнение эффективности алгоритмов в каждой из групп позволяет судить о взаимном влиянии полей катушек X и Y, а сравнение эффективности алгоритмов разных групп - оценить влияние выбросов токов на качество перемагничивания.

При исследовании гистерезиса сканировалась та же группа крестов, что и при анализе времени установления луча. Критерием качества перемагничивания была повторяемость координат центров крестов с заданной точностью при их сканировании со случайным и последовательным обходом.

Для анализа эффектов, вызванных нагревом отклоняющих катушек, были выбраны 48 крестов, центры которых лежат на 4 окружностях с радиусами 21,39,63 и 77 мм /по 12 крестов на каждой/. Такое расположение крестов объясняется тем, что окружности с центрами в точке с нулевыми токами отклонения являются линиями постоянной мощности, рассеиваемой в катушках отклонения.

Влияние нагрева оценивалось по смещению координат центров крестов, измеренных при минимальном /рабочем/ и при искусственно завышенном времени сканирования. Затем оценивалось время остывания катушек по совпадению этих координат с заданной точностью при рабочем сканировании. Общее время сканирования изменялось от минимального дискретно через 1 секунду. Результаты двух последовательных рабочих сканирований считались достоверными, если координаты отличались не более чем на 0,5 мкм. В противном случае процедура повторялась. Результаты усреднялись по каждой из окружностей постоянной мощности.

Следует отметить, что влияние инерционности и гистерезиса не удается полностью разделить, поэтому подбор алгоритма и времени перемагничивания, а также величины задержки на установление луча производился последовательным приближением. После подбора всех необходимых параметров и алгоритма они вводились в рабочие программы сканирования. Правильность подбора проверялась по всему калиброванному полю, и только после этого оценивалось влияние нагрева отклоняющих катушек. Окончательная проверка была проведена по результатам двух последовательных калибровок - по данным эксплуатируемой ³ и вновь созданной программы калибровочных измерений. В последней были учтены результаты проведенных исследований.

2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Комплекс разработанных программ можно разделить на 4 части:

- программы подготовки, спасения и восстановления исходных данных для проведения исследований;
- базовые программы сканирования, фильтрации, точного расчета параметров крестов и координат их центров;
- программы, обеспечивающие проведение исследований по рассмотренной выше методике;
- программы проверки качества подбора параметров и алгоритмов на всем калибровочном поле.

Программы FIELD и УДМИС являются основными в первой группе. Их назначение - сканирование поля крестов, приближенный расчет координат центров крестов и запись результатов на магнитный барабан /МБ/ в заданном формате. Сканирование ведется слайсом $2 \times 2 \text{ мм}^2$ с автоматическим подбором уровня дискриминации /УД/ по половинной амплитуде сигналов. Затем полученные данные фильтруются и по ним рассчитываются координаты центров крестов. К качеству фильтрации не предъявляется жестких требований, поскольку точный расчет проводится по программам второй группы.

Результатом работы программ FIELD и УДМИС являются записанные на МБ исходные данные для программ второй группы: карта уровней дискриминации и массив координат центров крестов. Программы могут работать как в автоматическом, так и в диалоговом режимах. Отличие программ FIELD и УДМИС - в количестве и расположении сканируемых крестов: 308/273/ или 260/228/ соответственно. В скобках указано количество промежуточных крестов, которые вместе с основными позволяют получить шаг 3 мм между центрами крестов калиброванного поля /обычно используется поле с шагом 6 мм/. Таким образом, полный набор 1369 пар координат с соответствующими уровнями дискриминации позволяет произвольно располагать калиброванные поля разных размеров в пределах максимального.

При необходимости данные с МБ можно записать на магнитную ленту программой спасения SAV МБ и восстановить на МБ программой REC МБ. Эти программы контролируют наличие на МБ /МЛ/ записей данных, соответствующая диагностика выводится на терминал.

Во вторую группу входят программы DILEV и CROSS. Последняя использует подпрограммы SLICE, LIFIL, LIPAR и DISMA. Перед сканированием в регистр видеоусилителя заносится необходимое значение УД программой DILEV. Затем программа CROSS, используя данные с МБ, организует работу подпрограмм в следующей последовательности:

- линия креста с положительной производной сканируется 40 строками длиной 300 мкм с шагом 50 мкм /подпрограмма SLICE /;
- принятые отсчеты фильтруются по ширине, и определяется их принадлежность линии креста /подпрограмма LIFIL /. Отсчет считается принадлежащим линии, если он единственный на строке;
- параметры линии рассчитываются по отфильтрованным данным методом наименьших квадратов подпрограммой LIPAR.

Затем процедура повторяется для линии креста с отрицательной производной.

По полученным данным рассчитываются координаты центра креста, которые и являются выходными параметрами программы CROSS.

Результаты сканирования и качество фильтрации можно контролировать визуально по дисплею, вызвав подпрограмму DISMA с пульта оператора.

Полупутно отметить, что подпрограмма SLICE вызывает подпрограмму перемагничивания DEMAG перед сканированием, автоматически выбирает кратчайший путь к начальной точке сканирования и имеет фиксированное время задержки на установление луча. Специально для настоящих исследований в подпрограмму введены две точки входа: SLIDE - сканирование без перемагничивания и SLIDD - сканирование без перемагничивания и без задержки на установление луча.

Для той же цели в программу CROSS введена еще одна точка входа - CRINV. Этим обеспечена возможность менять алгоритмы и параметры перемагничивания, задавать время задержки и искусственно увеличивать время сканирования с пульта оператора.

Третья группа состоит из программ DELAY, DYNAM, RESID и HEAT. Инерционность канала отклонения исследовалась с помощью программ DELAY и DYNAM. Первая из них предназначена для подбора времени задержки на установление луча, вторая - для нахождения сдвига координат центров крестов при изменении направления сканирования. Управление программой DELAY ведется с пульта оператора с помощью функциональной клавиатуры /ФК/. При этом можно многократно повторять цикл сканирования группы из 30 крестов, изменять направление сканирования и величину задержки на установление луча, управлять печатью результатов и переводить программу в режим автоматического подбора величины задержки.

На АЦПУ выводится текущая разность координат центров крестов, просканированных с максимальным и заданным временем задержки, а также максимальная /с номером креста/ и среднеквадратичная разность, вычисленная по всем 50 крестам.

В программе DYNAM с помощью ФК можно менять тип обхода крестов /последовательный - случайный/ и управлять печатью результатов. На АЦПУ выводится величина смещения координат при смене направления сканирования /раздельно по X и Y / для каждого из 308 крестов, максимальные и средние значения смещений, а также их среднеквадратичный разброс и максимальное отклонение от среднего значения.

Гистерезис отклоняющих катушек исследовался с помощью программы RESID, управление которой ведется также с пульта оператора. Это позволяет выбирать алгоритм перемагничивания, изменять время и число циклов перемагничивания, управлять печатью результатов и переводить программу в режим автоматической минимизации времени перемагничивания по заданному алгоритму. На АЦПУ печатаются текущие ошибки /раздельно по X и Y /, вызванные недостаточным перемагничиванием, с указанием алго-

ритма и времени перемагничивания, а также максимальные и среднеквадратичные ошибки, рассчитанные по 50 крестам.

Работа программы HEAT организована циклами, в которых находятся максимальные и среднеквадратичные ошибки, вызванные нагревом отклоняющих катушек. Каждый цикл соответствует одной из линий постоянной мощности. С помощью ФК программа позволяет управлять переходом от одного цикла к другому, повторять циклы, изменять время нагрева. Рассчитанные ошибки выводятся на десятичную печать с указанием номера цикла, времени нагрева и среднего времени остывания катушек.

Наконец, в четвертую группу входят программы TECRO и MISCA. Правильность подбора параметров и алгоритмов проверяется с помощью программы TECRO по всем 308 крестам. В ней также предусмотрено управление /с помощью ФК/ типом обхода крестов, направлением сканирования и печатью результатов. Программа вычисляет текущую разность координат центров крестов при двух последовательных проходах, максимальное и среднеквадратичное значение этой разности, т.е. количественные характеристики повторяемости результатов сканирования, которые могут быть выведены на АЦПУ.

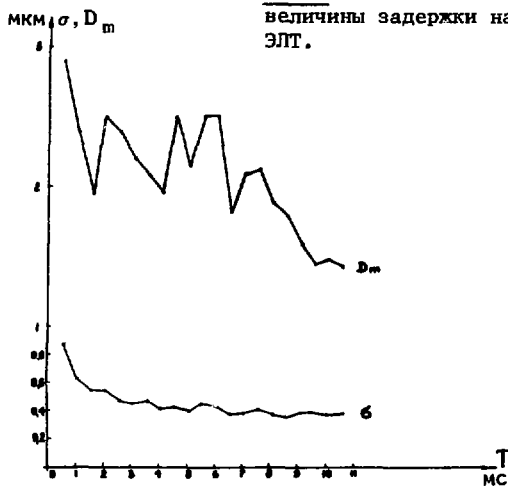
Результаты проведенных исследований были учтены в программе калибровочных измерений MISCA, работающей по данным программы УДМИС. Переход на меньшее количество крестов /260/ был необходим для совмещения калиброванных полей программы MISCA и эксплуатируемой программы калибровочных измерений. Программа предусматривает управление направлением сканирования, типом обхода крестов, печатью результатов с помощью ФК. На АЦПУ может быть выведен либо массив координат центров крестов, либо текущее значение, максимальная и среднеквадратичная разность координат при повторных калибровочных измерениях. Это обеспечивает контроль повторяемости результатов, после чего они записываются на МЛ.

Все рассмотренные программы написаны на Автокоде БМ-4^{4/}, причем SLICE, LIFIL, LIPAR, DILEV, CROSS и DISMA ввиду их универсальности оформлены в виде стандартных подпрограмм, доступных с ФОРТРАНа Ф-20^{5/}. Программы хранятся на системной ленте и загружаются с терминала ЭВМ БЭСМ-4.

3. ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Многократная работа программ FIELD и УДМИС без перестановки калибровочной решетки показала, что среднеквадратичный разброс координат центров крестов не превышает 7 мкм, а максимальный - 20 мкм. Уровни дискриминации при этом измерялись с точностью +15%. Поскольку максимальный разброс не превышал сдви-

Рис. 1. Зависимость ошибок измерений от величины задержки на установление луча ЭЛТ.



гов крестов при перестановке решетки^{/3/}, в дальнейшем использовались результаты, полученные по программе FIELD перед началом исследований.

На рис. 1 представлены результаты, полученные по программе DELAY: зависимость среднеквадратичного (σ) и максимального (D_m) отклонения координат центров крестов, просканированных при

заведомо большой /16 мс/ и переменной задержке, от величины последней. Данные рис. 1 получены усреднением по 4 сериям измерений, проводившихся в течение месяца. Из них следует, что задержка на установление луча должна быть не менее 8 мс.

В этот же период были проведены 4 серии измерений сдвигов координат центров крестов по программе DYNAM. В каждой серии вычислялись сдвиги координат по X и Y: $\Delta X = X_x - X_y$ и $\Delta Y = Y_x - Y_y$ /индексы означают направление сканирования/ и среднеквадратичные разбросы этих величин. Результат усреднения по всем сериям: $\Delta X = 11,1$ мкм, $\Delta Y = -10,9$ мкм, $\sigma X = 0,5$ мкм, $\sigma Y = 0,7$ мкм. При практических расчетах можно принять $\Delta X = -\Delta Y = \epsilon$ единиц отсчета АЭЛТ-2/160. Однако наиболее точно эти сдвиги будут учтены при пользовании двумя наборами калибровочных коэффициентов, полученных при разных направлениях сканирования.

Результаты измерений по программе RESID представлены на рис. 2÷5. Качество перемагничивания оценивалось по среднеквадратичному σ и модулю максимального $|D_m|$ разброса координат центров крестов при их последовательном и случайном обходе в зависимости от общего времени перемагничивания T. На рис. 2, 3 представлены графики σ и $|D_m|$ для различных алгоритмов, причем измерения по A1 проводились с изменением числа циклов перемагничивания от N=1 до N=5. Время перемагничивания увеличивалось путем изменения длительности цикла Tц. Диаграммы под обозначениями алгоритмов на этих рисунках соответствуют

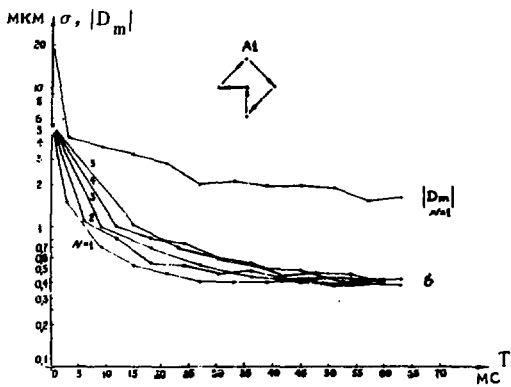


Рис. 2. Уменьшение ошибок измерений введением перемагничивания по алгоритму A1.

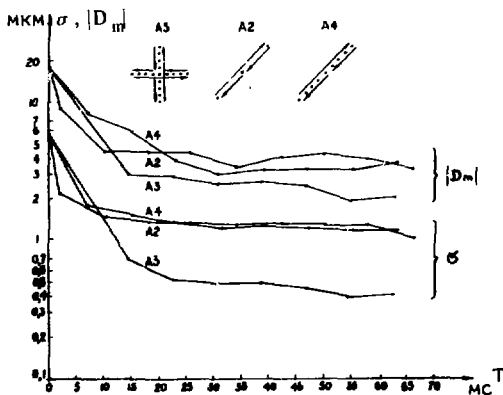


Рис. 3. Изменение ошибок измерений при перемагничивании по алгоритмам A2, A3, A4.

изображению процесса перемагничивания на экране монитора. Точки на них показывают пункты остановки луча после скачков, а стрелки - последовательность движения луча при перемагничивании, которое всегда начинается и заканчивается в центре экрана.

Как следует из рис. 2, 3, лучшие результаты были получены с алгоритмами A1 и A3, когда σ уменьшалась до 0,4 мкм, а $|D_m|$ - до 1,5-2 мкм. Однако A1 требует меньшего времени перемагничивания/30 мс/ по сравнению с A3/55 мс/. Увеличение числа циклов перемагничивания по A1 приводит лишь к сдвигу во времени момента достижения уровня $\sigma = 0,4$ мкм.

Перемагничивание по A2 и A4 не позволяет получить $\sigma < 1$ мкм и $|D_m| < 3$ мкм. По данным рис. 2 и 3 алгоритм A1 был признан лучшим, и он исследовался более детально в течение месяца. Диапазон изменения σ и $|D_m|$, полученный в 10 сериях измерений, представлен на рис. 4 /один цикл/. Из него следует, что σ лежит в пределах 0,2-0,4 мкм, а $|D_m|$ - в пределах 0,5-1,5 мкм.

На рис. 5 представлены графики σ и $|D_m|$ при фиксированном $T_c / 3$ значения/. Общее время перемагничивания увеличивалось путем изменения числа циклов до 10-16.

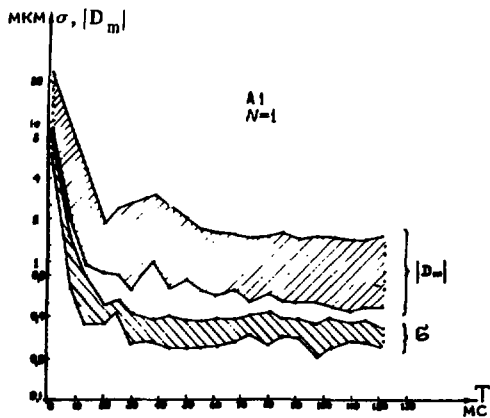


Рис.4. Диапазон ошибок измерения при различном времени перематгничивания.

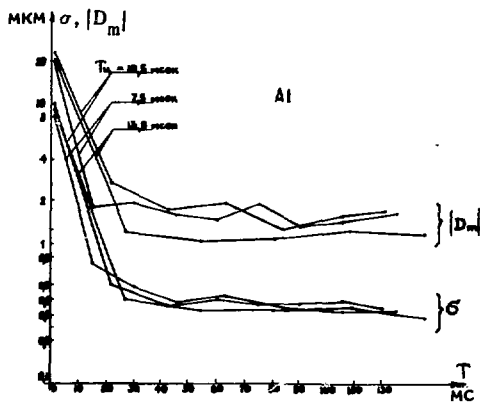


Рис.5. Ошибки измерения при перематгничивании с увеличением числа циклов.

ошибка находилась в пределах 1,0-1,1 мкм, а максимальная - в пределах 5,2-7,3 мкм. Соответствующие ошибки при штатной калибровке составляли 1,4 и 8,5 мкм.

Как следует из сравнения рис.2,4,5, увеличение числа циклов не приводит к заметному снижению σ и $|D_m|$ или к уменьшению времени перематгничивания.

По результатам исследований в подпрограмму SLICE было введено время задержки на установление луча, равное 8 мс, а в подпрограмму DEMAG - алгоритм A1 с общим временем перематгничивания 32 мс /1 цикл/.

Правильность определения этих величин проверялась на максимальном калиброванном поле в /308 крестов/ как при случайном, так и при последовательном обходе /программа TECRO /. Многократные измерения показали повторяемость координат центров крестов со среднеквадратичной ошибкой 0,3-0,5 мкм и максимальной - 2,5-3 мкм, однако в отдельных случаях эти ошибки достигали 0,8 и 6 мкм соответственно.

По данным 4 калибровок /последовательный и случайный обход со сканированием по X и Y / с использованием программ MISCA и УДМИС, среднеквадратичная остаточная

Поскольку все калибровочные измерения были проведены в течение часа, уменьшение остаточных ошибок не может быть объяснено изменением параметров автомата во времени '3'.

При исследовании нагрева отклоняющихся катушек токами сканирования /программа HEAT / время нагрева увеличивалось от 1 до 5 с для каждой из окружностей постоянной мощности. Как и следовало ожидать, даже длительного сканирование вблизи центра экрана не приводит к дополнительным ошибкам. Длительное сканирование на максимальном удалении от центра экрана сопровождается дополнительными ошибками до 5 мкм при сканировании в течение 1 с и до 7-10 мкм при 3-5 с, однако средние значения ошибок остаются примерно в два раза меньше приведенных. Время остывания при этом примерно равно времени нагрева, что свидетельствует о незначительном изменении теплового режима отклоняющихся катушек.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований показали существенное влияние инерционности и гистерезиса отсчетной системы автомата АЭЛТ-2/160 на ее точность. На их основе можно сделать следующие выводы:

- данными предварительных измерений по программам FIELD и УДМИС можно пользоваться по крайней мере в течение месяца, что позволит сократить время калибровочных измерений и время работы некоторых тестов автомата;
- время задержки на установление луча при его выходе в начальную точку сканирования не должно быть меньше 8 мс на каждом из шагов;
- при изменении направления сканирования происходит сдвиг измеренных координат на 11,1 мкм по оси X и на 10,9 мкм по оси Y. Несовпадение этих сдвигов свидетельствует о некоторой неидентичности каналов отклонения, однако их разность составляет только 0,1 единицы отсчета автомата и может быть признана несущественной;
- в отсутствие перемагничивания ошибки достигают 20-25 мкм при их среднеквадратичном значении 6-8 мкм. Правильное проведенное перемагничивание снижает эти ошибки до 1,5 и 0,4 мкм соответственно;
- чтобы исключить дополнительные ошибки, возникающие при нагреве отклоняющихся катушек протекающими токами, сканирование следует проводить слайсами небольших размеров с выдержкой во времени между последовательными сканированиями.

По результатам проведенных исследований в подпрограммы сканирования и перемагничивания были внесены необходимые изме-

нения, что вместе с применением предварительного измерения координат центров крестов и уровней дискриминации позволило уменьшить остаточную ошибку калибровки до 1-1,1 мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранчук М.К. и др. Мониторный сканирующий автомат АЗЛТ-2/160. а/ Труды Семинара по обработке физической информации. Агверан, 1975, изд-во ЕрФИ, 1976; б/ ОИЯИ, Р10-8861, Дубна, 1975.
2. Байла И. и др. Р10-80-430, Дубна, 1980.
3. Байла И. и др. ОИЯИ, Р10-12990, Дубна, 1980.
4. Баяковский Ю.М., Михайлова Т.Н. Автокод для ЭВМ типа М-20. Изд-во ИПМ АН СССР, М., 1974.
5. Баяковский Ю.М. и др. ФОРТРАН для ЭВМ типа М-20. Изд-во ИПМ АН СССР, М., 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 декабря 1980 года.