

Ш-678

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



15/1-79

205/2-79

P10 - 11836

В.Н.Шкунденков

СКАНИРУЮЩИЙ АВТОМАТ ТИПА АЭЛТ-1  
ДЛЯ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ И ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

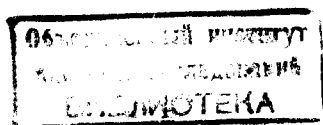
**1978**

P10 - 11836

В.Н.Шкунденков

СКАНИРУЮЩИЙ АВТОМАТ ТИПА АЭЛТ-1  
ДЛЯ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ И ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

*Направлено на III совещание по использованию  
ядерно-физических методов для решения научно-  
технических и народно-хозяйственных задач  
/Дубна, 1978/.*



Шкунденков В.Н.

P10 -11836

Сканирующий автомат типа АЭЛТ-1 для ядерно-физических и прикладных задач

Описан сканирующий автомат с управляемой ЭВМ электронно-лучевой трубкой, предназначенный для измерения информации на 35-мм пленках. На основе использования автоматов данного типа построены системы обработки фотоснимков с широкоазорной искровой камеры и экспериментальной полетной информации. Автомат может быть использован для решения широкого круга различных научно-технических задач.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Shkunderkov V.N.

P10 - 11836

Computer Scanner of AELT-1 Type for Nuclear Physical and Technical Problems

A scanner with a control CRT is described. It is intended to measuring information on 35 mm films. On the basis of the use of scanners systems for processing experimental photos from a spark chamber and of flight information were built up. The scanner can be applied for solving a wide range of various scientific technical problems.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research.

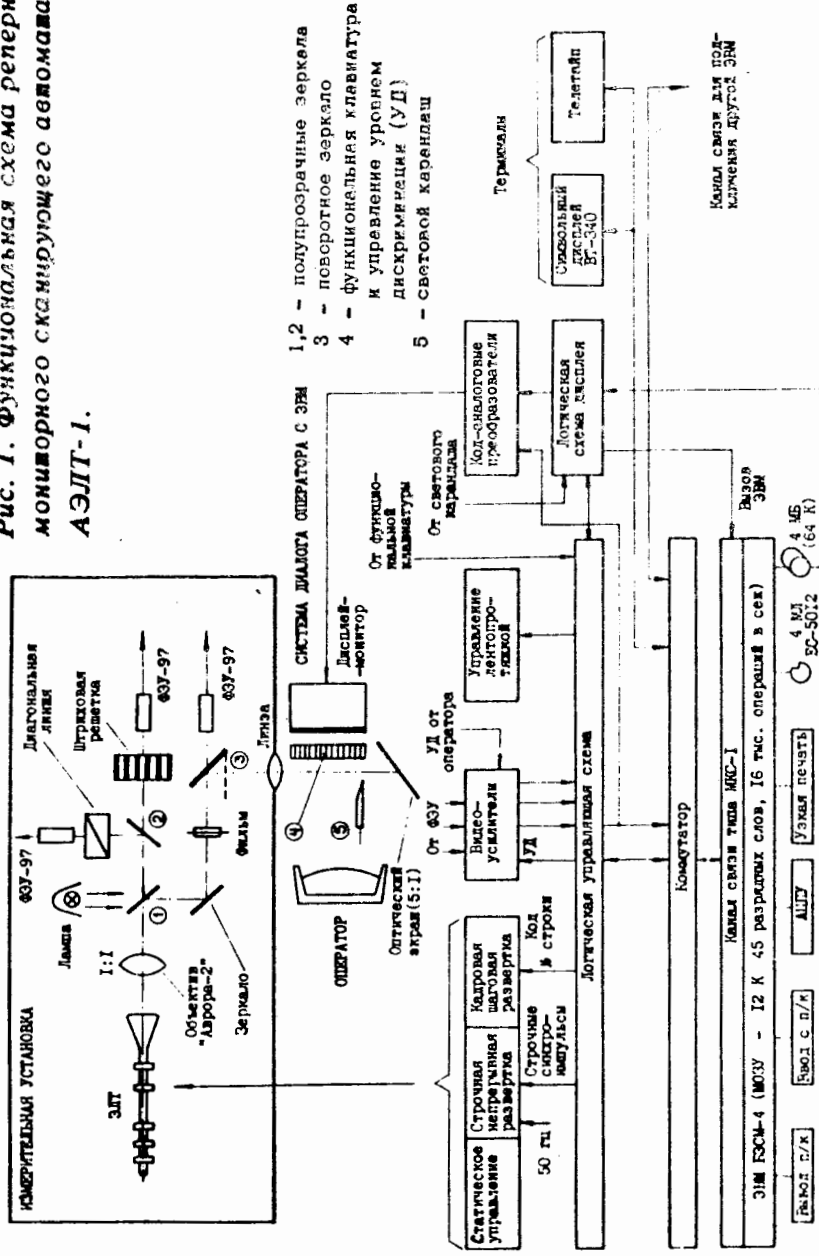
Dubna 1978

Разработка и применение сканирующих автоматов типа АЭЛТ-1<sup>1,2/</sup> позволили, с одной стороны, исследовать проблему создания сравнительно простого и надежного, пригодного для широкого использования в различных областях науки и техники автомата на электронно-лучевой трубке /ЭЛТ/, предназначенного для измерения 35-мм фильмов /кинопленок/; с другой стороны, исследовать пути построения систем обработки фильмовой информации на основе таких автоматов.

### **§1. ОПИСАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТА ТИПА АЭЛТ-1**

Функциональная схема автомата АЭЛТ-1 приведена на рис. 1. Сканирование фотоснимков /кадров фильма в общем случае/ осуществляется методом "бегущего луча", путем просвечивания измеряемого снимка и регистрации с помощью ФЭУ моментов встречи светового пятна ЭЛТ с различными почернениями /следами ядерных частиц и др./ на нем. Световой луч на экране ЭЛТ перемещается по строкам, положением которых /номером/ управляет ЭВМ. Отсчет координат осуществляется с помощью специальной системы реперных решеток, на которые с помощью полупрозрачных зеркал отделяется часть света от ЭЛТ<sup>3/</sup>. Коды координат начала и конца измеренных почернений передаются в управляющую ЭВМ на обработку. В процессе сканирования ЭВМ управляет уровнем дискриминации выходного сигнала в фильмовом канале.

Рис. 1. Функциональная схема реперно-мониторного сканирующего автомата АЭЛТ-1.



Автомат имеет развитую систему средств диалога оператора с ЭВМ, которая используется в затруднительных для программ ЭВМ ситуациях на этапах измерения и распознавания измеряемых образцов на снимках.

## §2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОМАТА АЭЛТ-1

Автомат АЭЛТ-1 предназначен для измерения информации на 35-мм фильмах.

Размер обрабатываемого кадра - 26x19 мм.

Точность единичных измерений вдоль строчной развертки - 15 мкм, вдоль кадровой развертки без специальной калибровки - 25-50 мкм.

Разрешающая способность - 30 мкм.

Управляющая ЭВМ - БЭСМ-4.

ЭВМ управляет положением каждой строки раstra и уровнем дискриминации выходных сигналов /оперативное управление сканированием/.

Максимальное число строк в растре - 512.

Число уровней дискриминации - до 256.

Состав средств диалога оператора с ЭВМ:

- дисплей-монитор;
- оптический экран для проецирования измеряемого снимка;
- устройство для ручного управления уровнем дискриминации;
- световой карандаш;
- функциональная клавиатура.

## §3. ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ АВТОМАТА АЭЛТ-1

К наиболее важным результатам, которые составляют отличительные особенности исследований при разработке автомата АЭЛТ-1, относятся:

- разработка и внедрение оперативного управления сканированием;

- применение монитора в зацикленном режиме сканирования участка снимка как средства диалога на этапе измерения;

- сравнительная простота технического решения, которая, прежде всего, достигнута за счет применения специальной системы эталонных реперных решеток, при создании прецизионной измерительной части автомата;

- высокая надежность аппаратуры и результатов измерения, полученная в результате разработки специальных методов расчета и контроля.

### *3.1. Оперативное управление сканированием*

Возможность обработки результатов измерения после каждой строки сканирования и возможность принятия на этой основе решения о положении следующей строки и уровне дискриминации выходных сигналов, т.е. то, на чем основывается понятие оперативного управления сканированием, достигнуто в автомате АЭЛТ-1 за счет использования в качестве управляющей машины ЭВМ среднего класса с достаточно большой памятью /12К 45-разрядных слов оперативной памяти, 64К слов памяти на магнитных барабанах/, а также - создания соответствующей логической управляющей схемы<sup>4,10</sup>. Достижимая при этом гибкость в управлении сканированием играет важную роль при организации контроля надежности результатов измерения /см. п. 3.4/ и сокращении сроков создания программ автоматического измерения и распознавания образов /см. §4/.

### *3.2. Монитор как средство диалога*

Как показал практический опыт, при создании реальных систем обработки производительность, особенно на первом этапе создания действующей системы /см. §4/, в значительной степени определяется затратами времени на диалог оператора с ЭВМ. При этом особенно большие затраты времени связаны с оказанием помощи в случае измерения участков снимков с низким качест-

вом изображений. Использование в качестве средства диалога монитора в зацикленном /мониторном/ режиме сканирования такого участка заметно экономит время, а измеренную при этом под контролем оператора полезную информацию, которая нередко тонет в шумах, можно отфильтровать, используя дисплей и световой карандаш<sup>5</sup>. Разработка этого метода позволяет успешно и с достаточно высокой производительностью измерять на АЭЛТ-1 снимки с низким качеством изображений.

### *3.3. Простота технического решения автомата*

Наиболее сложной частью любого сканирующего автомата является его прецизионная измерительная установка. В автомате АЭЛТ-1 эта задача успешно решена за счет применения специальной системы реперных решеток<sup>3,6,7</sup>, которая значительно снизила требования к линейности и стабильности разверток автомата и упростила процесс его создания. Последнее является важным также при организации промышленного выпуска таких автоматов.

При разработке логической управляющей схемы была проведена идея сокращения объема аппаратуры за счет максимального переложения выполняемых автоматом функций на управляющую ЭВМ.

### *3.4. Надежность аппаратуры и результатов измерения*

С точки зрения решения задачи надежности в автомате можно выделить две наиболее важные части:

- измерительную установку на ЭЛТ;
- логическую управляющую схему и цепи передачи информации по линии связи с ЭВМ.

При разработке значительной части электронной аппаратуры измерительной установки на ЭЛТ была успешно использована предложенная автором методика расчета на надежность электронных схем<sup>7</sup>. Основу метода

составляет расчет разброса характеристик разрабатываемых схем /коэффициентов усиления усилителей и др./ как функции разброса в реальных условиях определяющих данную характеристику элементов схемы. Надежной при этом считается характеристика, вычисленная с поправкой  $(2-3)\sigma$  относительно ее номинального значения.

Вместе с тем, из-за конкуренции с оптико-механическими сканирующими автоматами характерной особенностью разработок автоматов на ЭЛТ является стремление ориентироваться на технические характеристики /разрешение и пр./, близкие к предельным. Это ведет к снижению надежности достигнутых результатов и требует введения достаточно частого во времени контроля основных характеристик. В автомате АЭЛТ-1 эта задача успешно решена благодаря программному контролю после каждой строки сканирования /см. п. 3.1/ полного числа отсчетных импульсов, сформированных в канале эталонной штриховой решетки<sup>1/</sup>. Это позволяет исключить снижение качества измерений, которое происходит как за счет нестабильности тех или иных параметров автомата /нестабильность высоковольтного питания ЭЛТ и др./, так и за счет влияния кратковременных внешних помех/ скачки напряжения в электрической сети/.

Логическая управляющая схема и цепи передачи информации построены на элементах, которые после очередной проверки на работоспособность допускают достаточно длительное /сутки и больше/ использование этой части аппаратуры автомата без контроля. С целью всесторонней проверки данной аппаратуры в автомате предусмотрена возможность имитации с помощью ЭВМ работы измерительной установки на ЭЛТ. Разработанное специальное тестовое математическое обеспечение<sup>8/</sup> используется ежедневно для профилактической проверки автомата и позволяет при затратах всего лишь около 1% от выделяемого машинного времени /1000 часов в год/ поддерживать состояние рассматриваемой части автомата, определяющей качество передачи в ЭВМ результатов измерения, на достаточно высоком уровне.

В процессе эксплуатации автомата часть обработанного материала /10%/ выборочно обрабатывается повторно для сравнения результатов. Кроме того, пе-

риодически с той же целью повторяется обработка одной и той же /рассматриваемой как эталонная/ киноплёнки. Этот контроль позволяет оценивать качество работы системы обработки в целом, включая техническое состояние автомата и отношение операторов /персонально/ к порученной работе. Последнее, как показывает практический опыт, является важным фактором в обеспечении высокого качества результатов измерения.

#### §4. ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ

Создание системы обработки фотоснимков на основе сканирующего автомата ставит целью в конечном итоге получить снижение стоимости обработки по сравнению с полуавтоматическими методами измерений. Из комплекса проблем, которые требуется решить при создании системы обработки, выделим две наиболее важные:

- достижение высокой эффективности и рентабельности;
- сокращение сроков создания математического обеспечения.

##### 4.1. Эффективность и рентабельность

Эффективность сканирующего автомата определяется отношением числа успешно обработанных снимков к их общему количеству, которое было передано на измерение. Большая часть задач, относящихся к ядерной физике, требует организации обработки с эффективностью, близкой к 100%. Недостаточно высокая эффективность работы сканирующего автомата требует использования в составе системы обработки /если допускает задача/ полуавтоматических измерительных устройств, что ведет, как правило, к удорожанию обработки и снижению показателей рентабельности применения сканирующего автомата. В общем случае показатель рентабельности использования автомата в составе системы обработки может быть представлен выражением<sup>9/</sup>:



$$q = \frac{b_{авт}}{S_{авт}} : \frac{b_{п/а}}{S_{п/а}} + (1 - E_{авт}), \quad /1/$$

где  $b_{авт}$  и  $b_{п/а}$  - стоимость автомата и полуавтомата,  $S_{авт}$  и  $S_{п/а}$  - их производительность,  $E_{авт}$  - коэффициент эффективности автомата. Для простоты расчета коэффициент эффективности полуавтомата принят равным 1 /т.е. эффективность равна 100%/.

Задачей разработчиков системы является сделать  $q$  меньше 1.

Как показывает практический опыт, наилучшие результаты с точки зрения показателя рентабельности достигаются при использовании автоматов, построенных по принципу системы "человек-ЭВМ". Такие автоматы позволяют, в частности, оптимальным образом распределить поток измеряемых снимков между ними и входящими в состав системы полуавтоматами<sup>/9/</sup>. К числу автоматов такого типа относится АЭЛТ-1, обладающий развитой системой средств диалога оператора с ЭВМ.

#### 4.2. Создание математического обеспечения

Ведущей идеей /целью/ исследований при создании требуемого математического обеспечения сканирующего автомата может быть названо сокращение сроков его разработки.

Внедрение оперативного управления сканированием в автомате АЭЛТ-1 позволило разработать и применить при его использовании прогрессивные методы распознавания образов, основанные на обработке информации после каждой строки сканирования, - метод поиска характерных точек события и метод "шнуров"<sup>/11,12/</sup>. Это существенно упростило и сократило сроки разработки математического обеспечения автомата.

Вторым важным моментом исследований, направленных на сокращение сроков создания матобеспечения, является введение двух этапов построения системы обработки<sup>/9/</sup>. Задачей первого этапа является создание в максимально сжатые сроки действующей высокоэффек-

тивной системы обработки, не обладающей, однако, максимально возможной производительностью. Задачей второго этапа является повышение производительности системы.

Решение задачи первого этапа для автомата типа АЭЛТ-1 опирается на наличие развитой системы средств диалога оператора с ЭВМ. При этом для многих задач целесообразно уже на первом этапе создания системы разработать программы автоматического распознавания для тех составных частей образа, которые представляют собой простые фигуры /непересекающиеся линии и др./. В качестве рабочей гипотезы автором было выдвинуто и затем исследовано предположение о том, что большая часть каждого из измеряемых образов принадлежит именно к простым фигурам и поэтому создание даже сравнительно несложных программ по их распознаванию, которые могут быть разработаны в короткие сроки на первом этапе создания системы, построенной по принципу "человек-ЭВМ", должно значительно поднять показатель ее производительности. Данная гипотеза о существовании некоторой критической точки  $\tau$  в графическом представлении производительности  $S$  строящейся системы обработки от затрат времени  $t$  на создание математического обеспечения управления измерением и распознаванием образов иллюстрируется *рис. 2*. Гипотеза была проверена при создании двух указанных выше систем обработки<sup>/11,12/</sup> и нашла практическое подтверждение. Достигнутая при этом на первом этапе создания каждой системы производительность находилась на уровне 30-50% от максимально возможной и уже обеспечивала рентабельность применения автомата.

Построенная в сжатые сроки действующая система обработки в объеме первого этапа позволяет, с одной стороны, раньше начать рабочую эксплуатацию сканирующего автомата, а с другой - наиболее рационально использовать ограниченные силы разработчиков математического обеспечения на втором этапе создания системы, когда трудности дальнейшего развития математического обеспечения по автоматическому измерению и распознаванию образов существенно возрастают.

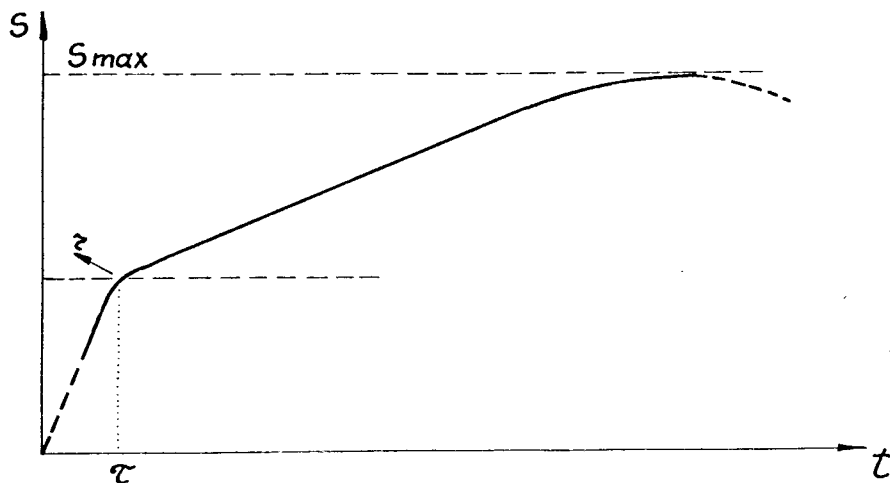


Рис. 2. Иллюстрация гипотезы о существовании критической точки  $\tau$  в графическом представлении зависимости производительности  $S$  строящейся системы обработки от затрат времени  $t$  на создание для сканирующего автомата математического обеспечения управления измерением и распознавания образов. Вектор - градиент  $n$  при этом показывает тенденцию в изменении точки  $S(\tau)$  на графике в зависимости от увеличения гибкости в управлении сканированием и развития средств диалога оператора с ЭВМ.

В связи с введением двух этапов построения систем обработки следует отметить также важный психологический фактор в процессе разработки математического обеспечения, стимулирующий повышение темпов работ при запуске системы в рабочую эксплуатацию в сжатые сроки на первом этапе ее создания.

## §5. ДОСТИГНУТЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

5.1. На основе сканирующего автомата АЭЛТ-1 в ОИЯИ построена и эксплуатируется с 1973 года система обработки снимков с широкозасорной искровой камеры.

Особенностью измеряемых снимков является низкая контрастность значительной части треков и их малая длина /~1 мм/, а также наличие на снимках мешающих автоматическому распознаванию реперных сеток, необходимых для измерения этих снимков на полуавтоматах. Математическое обеспечение управления измерением и распознавания событий для этой задачи на первом этапе создания системы /до точки  $\tau$  на рис. 2/ было сделано всего лишь за 3-4 месяца, его объем составил 10 тысяч команд ЭВМ БЭСМ-4. Такой короткий срок /обычно требуется до нескольких лет работы/ в значительной степени достигнут благодаря использованию изложенных выше отличительных особенностей автомата АЭЛТ-1 - оперативного управления сканированием при создании программ управления измерением и распознавания событий, а также - развитой мониторинной системы диалога оператора с ЭВМ. Затем, в процессе рабочей эксплуатации система была оптимизирована /в ее состав был включен один полуавтомат для повторного измерения снимков с особо низким качеством/ и были проведены работы по дальнейшему развитию математического обеспечения, повысившие эффективность и производительность автомата<sup>/9/</sup>. В результате была построена высокоэффективная система обработки с производительностью при односменной работе до 70 тысяч событий в год. При этом стоимость обработки снимков, определяющая рентабельность внедрения автомата, была ниже, чем на полуавтоматах.

На системе за период 1873-78 гг. измерено около 250 тысяч событий, по результатам обработки получены новые физические данные<sup>/13,14/</sup>.

5.2. В ЦАГИ /Москва/ в период 1974-78 гг. построен сканирующий автомат АЭЛТ-1М /рис. 3/ и создана система обработки экспериментальной полетной информации<sup>/2,12,15,16/</sup>. Графики скорости, высоты и перегрузки, записанные в процессе полетов самолетов гражданской авиации на 35-мм киноплёнку, имеют большую длину /обычно 1-2 м/ и не позволяют практически использовать в составе системы обработки полуавтоматы



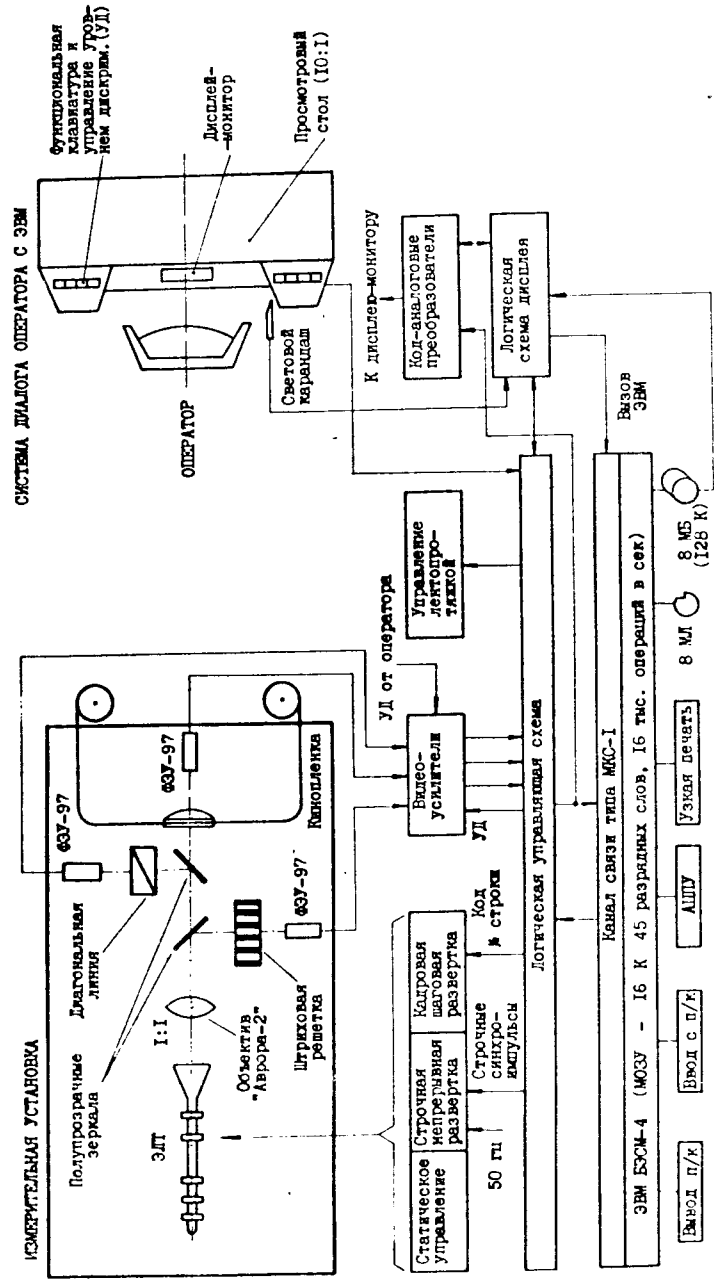


Рис. 3. Функциональная схема реперно-мониторного сканирующего автомата АЭЛТ-1М.

для повторного измерения отдельных частей кинолентки /в местах пересечения графиков с царапинами, при разрывах графиков и др./. Требуемая в данном случае обработка киноленток с одной установки достигается на автомате АЭЛТ-1М исключительно благодаря наличию созданной системы диалога оператора с ЭВМ. Математическое обеспечение на первом этапе создания действующей системы обработки /до точки  $\tau$  / в объеме 8 тысяч команд ЭВМ БЭСМ-4 было сделано за 5-6 месяцев работы. При этом создание программ управления измерением и распознаванием графиков также опиралось на использование оперативного управления сканированием.

Работоспособность и достаточная эффективность созданного математического обеспечения проверена при измерении рабочих киноленток, получены физические результаты.

## §6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт создания сканирующих автоматов АЭЛТ-1 и АЭЛТ-1М и основанных на их использовании систем обработки для измерения снимков с широкоугольной искровой камеры /ядерно-физический эксперимент/ и графической полетной информации /прикладная задача/ показал возможность использования автоматов данного типа для измерения информации на 35-мм фильмах в различных областях науки и техники. Сравнительная простота технического решения автомата, опирающаяся на использование системы эталонных реперных решеток для организации прецизионных измерений, делает такой автомат легко доступным для внедрения в промышленное производство.

Накопленный при создании автоматов типа АЭЛТ-1 опыт, к которому прежде всего необходимо отнести разработку и внедрение оперативного управления сканированием и мониторинга системы диалога оператора с ЭВМ, а также опыт рационального двухэтапного создания действующих высокоэффективных систем обработки, опи-

рающейся на выявленное на примере конкретных задач существование критической точки в создании математического обеспечения управления измерением и распознавания образов, использован при разработке мониторингового сканирующего автомата АЭЛТ-2/160<sup>17</sup> и создаваемых на его основе систем обработки фотоснимков.

По мнению автора, дальнейшее развитие сканирующих автоматов на ЭЛТ в соответствии с результатами исследований необходимо вести в направлении еще большего увеличения гибкости сканирования и расширения возможностей средств диалога оператора с ЭВМ. Применение эталонных решеток /образов/ при организации измерений целесообразно сохранить и использовать в реализованном или другом /модифицированном/ виде для различных типов автоматов. При организации промышленного выпуска автоматов, очевидно, необходимо учитывать, что строительство их желательно вести по модульному принципу. Это, в частности, улучшит условия сотрудничества разработчиков, представляющих различные направления в создании автоматов.

Автор благодарит И.И.Скрыля за обсуждение изложенного материала и совместное уточнение некоторых положений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Burov A.S. et al. AELT-1 and AELT-2 CRT Scanning Devices. Oxford Conference on Computer Scanning. England, 2-5 April, 1974.
2. Алакоз А.В. и др. Реперно-мониторный сканирующий автомат АЭЛТ-1М. В кн.: Труды 2-го Всесоюзного совещания по обработке физической информации. Ереван, 1977; Изд-во ЕрФИ, Ереван, 1978, с.545; ОИЯИ, Р10-10945, Дубна, 1977.
3. Шкунденков В.Н. ОИЯИ, Р-2057, Дубна, 1965.
4. Ермолаев В.В. и др. ОИЯИ, 10-3483, Дубна, 1967.
5. Карлов А.А. и др. УСМ, 1974, №1, с. 131.
6. Борисовский В.Ф. и др. ДАН СССР, 1969, том 185, №2, с.306.
7. Шкунденков В.Н. ОИЯИ, 1828, Дубна, 1964; CERN, Trans. Int. 71-10, Geneva, October, 1971.

8. Кучугурная Л.Д. и др. Тестовое математическое обеспечение реперно-мониторного сканирующего автомата типа АЭЛТ-1. В кн.: Труды 2-го Всесоюзного семинара по обработке физической информации. Ереван, 1977. Изд-во ЕрФИ, Ереван, 1978, с.489; ОИЯИ, 10-11207, Дубна, 1978.
9. Шкунденков В.Н. Эффективность сканирующих автоматов. В кн.: Труды 2-го Всесоюзного семинара по обработке физической информации, Ереван, 1977. Изд-во ЕрФИ, Ереван, 1978, с.458; ОИЯИ, 10-10686, Дубна, 1977.
10. Шкунденков В.Н. ЭВМ в системах автоматической обработки пленочной информации. Тезисы докладов 5-й Всесоюзной конференции по планированию и автоматизации эксперимента в научных исследованиях. Москва, 1976. Изд-во МЭИ, 1976, с.79-83.
11. Барашенкова Н.В. и др. Программный комплекс управления и опознавания для сканирующего автомата с мониторной системой диалога человек-ЭВМ. В кн.: Труды Семинара по обработке физической информации. Агверан, 1975. Изд-во ЕрФИ, Ереван, 1976, с.323; ОИЯИ, Р10-8860, Дубна, 1975.
12. Алакоз А.В. и др. ОИЯИ, Р10-10317, Дубна, 1976; CERN, Trans. 77-06, Geneva, May 1977.
13. Ализаде В.В. и др. ОИЯИ, Р1-9478, Дубна, 1976.
14. Бережнев С.Ф. и др. ОИЯИ, Р1-10311, Дубна, 1976.
15. Алакоз А.В. и др. Система автоматизированной обработки полетной информации. В кн.: Труды 2-го Всесоюзного семинара по обработке физической информации. Ереван, 1977. Изд-во ЕрФИ, 1978, с.538.
16. Алакоз А.В. и др. Математическое обеспечение системы автоматизированной обработки полетной информации. В кн.: Тезисы Всесоюзной конференции "Автоматизация экспериментальных исследований", Куйбышев, 1978. Изд-во КуАИ, 1978, с.115; ОИЯИ, 10-11436, Дубна, 1978.
17. Баранчук М.К. и др. Мониторный сканирующий автомат АЭЛТ-2/160. В кн.: Труды Семинара по обработке физической информации. Агверан, 1975. Изд-во ЕрФИ, Ереван, 1976, с.314; ОИЯИ, Р10-8861, Дубна, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел  
4 сентября 1978 года.