

Ц 848

Ш-678

3811/2-77

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



19/ix-77

10 - 10686

В.Н.Шкунденков

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СКАНИРУЮЩИХ АВТОМАТОВ

**1977**

10 - 10686

В.Н.Шкунденков .

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ СКАНИРУЮЩИХ АВТОМАТОВ

*Направлено на 2-й Всесоюзный семинар по обработке  
физической информации /Ереван, 1977/*

Шкунденков В.Н.

10 - 10686

#### Эффективность сканирующих автоматов

Проведен анализ эффективности сканирующих автоматов.

Сформулировано условие баланса системы обработки снимков, использующей сканирующий автомат с коэффициентом эффективности меньше единицы и группу полуавтоматов. Показано на практическом примере, что для оптимизации системы обработки в ее состав наряду со сканирующим автоматом рекомендуется включать полуавтоматы. Наилучший эффект при этом достигается при использовании сканирующих автоматов, имеющих развитый комплекс средств диалога оператора с ЭВМ.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

© 1977 Объединенный институт ядерных исследований Дубна

Опыт создания и применения сканирующих автоматов для массовой обработки фильмовой информации /фотоснимков трековых камер, экспериментальных графиков на фотопленке и др./ выявил серьезную проблему в их использовании - ограниченные возможности этих устройств в приспособлении /адаптации/ к переменным условиям и качеству обрабатываемого на фильме /фотопленке/ изображения. Следствием этого является снижение эффективности работы сканирующих автоматов, что в конечном итоге приводит к увеличению стоимости обработки для систем, построенных на основе использования автоматов. Анализ путей повышения эффективности сканирующих автоматов и поиск связанных с ним рекомендаций по оптимизации систем обработки являются целью данной работы.

#### КОЭФФИЦИЕНТ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Коэффициент эффективности системы обработки фотоснимков /или другой фильмовой информации/  $E_{\text{СИСТ}}$  определяется отношением числа  $n$  успешно обработанных фотоснимков /событий/ к их общему количеству  $N$ , поступившему на обработку:

$$E_{\text{СИСТ}} = \frac{n}{N} \quad /1/$$

На практике  $E_{\text{СИСТ}} \leq 1$ . Причинами, влияющими на снижение коэффициента эффективности для системы, в составе которой используется сканирующий автомат, являются:

- затруднения, связанные с измерением снимков с низкой контрастностью;

- затруднения в распознавании зарегистрированных на снимках событий /следов ядерных частиц, графиков и др./ при наличии большого количества помех;

- низкая /выходящая за границы допустимого/ точность измерения.

Снижение коэффициента эффективности влечет за собой общее снижение количества обработанной информации, а также опасность того, что потерянная при этом информация имеет связь с каким-либо измеряемым параметром /например, с увеличением угла наклона следа ядерной частицы может ухудшаться его контрастность, что ведет к увеличению затруднений, связанных с измерением таких следов/ и может поэтому внести систематическую ошибку в результаты обработки экспериментальной информации. Последнее особенно опасно для автоматических сканирующих устройств с их отмеченной выше ограниченной адаптацией к переменным условиям и качеству обрабатываемых снимков. Поэтому вопрос о достижении достаточно высокого коэффициента эффективности системы обработки снимков на базе сканирующего автомата является принципиально важным.

## **ДВА ТИПА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ**

Измерительные устройства, используемые в составе систем обработки, можно разделить на два типа:

- устройства, в которых измерения производит оператор;

- устройства, в которых измерения производятся автоматически под управлением ЭВМ.

Устройства первого типа называются полуавтоматами. Их отмечает высокая степень адаптации и, как следствие, практически полное отсутствие связи теряемой при обработке информации с каким-либо измеряемым параметром; поэтому потери при измерениях на полуавтоматах не ведут, как правило, к возникновению систематической ошибки. Потери информации, снижающие коэффициент эффективности  $E_{\text{сист}}$  здесь связаны в

основном с небрежностью работы оператора при измерениях снимков /ошибки в точности измерений/. Слабым местом полуавтоматов являются, однако, большие затраты времени на измерение кодов координат одной точки /секунды/ и, соответственно, невысокая производительность, а отсюда, в частности, - практическая невозможность обработки задач, где требуется измерять события с высокой плотностью измерений. К этому типу устройств относится, в частности, ПУОС /1/.

К устройствам второго типа относятся сканирующие автоматы. Их отличают малые затраты времени на одно измерение /время строки соответствует единицам миллисекунд или даже долей миллисекунды/. В результате появляется возможность в разумные сроки обрабатывать события с очень высокой плотностью измерений, что для определенного типа задач /см. ниже/ делает сканирующие автоматы незаменимыми. Что же касается эффективности сканирующих автоматов, то она на практике уступает эффективности полуавтоматов и зависит в основном от двух условий:

- уровня развития математического обеспечения;

- возможности участия оператора в оказании помощи программам ЭВМ в затруднительных ситуациях как на этапе измерения, так и обработки измеренной информации /распознавание, фильтрация, геометрическая реконструкция событий/.

Сканирующие автоматы первоначально /первая половина 60-х годов/ строились с ориентацией на успех автоматической обработки информации на снимках. Однако на практике это потребовало во многих случаях разработки настолько сложного математического обеспечения для достижения достаточно высокой эффективности, что реально системы обработки, построенные на базе таких автоматов, для задач с более или менее сложной топологией событий нашли применение в основном в варианте предварительного измерения "маски" событий при использовании для этих целей просмотрово-измерительных столов. Это значительно упростило создание требуемого математического обеспечения /фильтрацию измеренной информации и др./, однако внес-

ло дополнительный источник ошибок - измерения на просмотрно-измерительных столах, который, в свою очередь, стал ограничивать возможность достижения высокого коэффициента эффективности. В результате в системе обработки снимков, построенной на основе использования сканирующих автоматов такого типа /например, НРД<sup>/2/</sup> /, для достижения требуемой высокой эффективности обработки потребовалось применять полуавтоматы /например, типа ПУОС/ для повторного измерения не прошедших успешной обработки при использовании сканирующего автомата снимков. Сравнительно невысокая эффективность, достигаемая на сканирующих автоматах данного типа /обычно 0,6-0,7/, и, как следствие, требуемое большое количество полуавтоматов для повторных измерений делают построенные с их использованием системы обработки громоздкими и не дающими большого эффекта в снижении стоимости обработки снимков.

Комплексный анализ путей повышения эффективности для таких систем обработки, включая введение машинного контроля работы оператора при измерениях "масок" или оказание помощи со стороны оператора программам ЭВМ в затруднительных ситуациях на различных этапах обработки измеренной информации, позволяет поднять эффективность и уменьшить дополнительно стоимость обработки. Однако возможности здесь в значительной степени ограничены наличием разрывов во времени между разными этапами обработки.

Гораздо лучшие условия для достижения высокой эффективности и снижения стоимости обработки снимков имеют сканирующие автоматы, в работе которых оператор принимает непосредственное участие на всех этапах обработки. В этом случае становится возможным все этапы объединить в работе единого комплекса, оптимальным образом распределив выполнение тех или иных функций между программами ЭВМ и оператором. Наилучшие результаты при этом достигаются на сканирующих автоматах с управляемым ЭВМ сканированием. К автоматам такого типа относятся, в частности, POLLY<sup>/3/</sup>, ERASME<sup>/4/</sup>, созданные в социалистических

странах АЭЛТ-1<sup>/5/</sup>, АЭЛТ-2/160<sup>/6/</sup> и МЭЛАС<sup>/7/</sup>, основанные на использовании электроннолучевой трубки.

Сканирующие автоматы на ЭЛТ благодаря безынерционности сканирующего луча при встрече с тем или иным затруднением при обработке снимка могут тут же останавливаться, повторять измерение, изменив условия /уровень дискриминации выходного сигнала, направление сканирования и др./, или вызывать оператора для оказания помощи на данном участке. Оператору в этом случае предоставляется в распоряжение оптическое изображение обрабатываемого снимка, изображение результатов измерения и обработки на дисплее и другие средства диалога. В результате сканирующие автоматы на ЭЛТ по способности к адаптации оказываются близкими к полуавтоматам, а коэффициент эффективности их работы может быть для многих задач поднят до достаточно высокого уровня. Следствием этого, в свою очередь, является возможность обрабатывать на этих сканирующих автоматах задачи любого типа, в том числе и такие, которые не допускают использования в системе обработки полуавтоматов /см. ниже/. Вместе с тем, использование оператора в процессе работы сканирующего автомата ведет к снижению его производительности. Это снижение производительности нередко оказывается особенно большим на последних этапах повышения коэффициента эффективности сканирующего автомата, когда делаются, например, попытки обрабатывать с использованием автоматического измерения наиболее сложные участки изображений /наложение нескольких треков и др./. В этом случае, когда это допустимо, может оказаться экономически выгодным в состав системы обработки включить некоторое количество полуавтоматов.

#### ДВА ТИПА ЗАДАЧ

С точки зрения использования средств автоматизированной обработки filmовой информации задачи могут быть разделены на два типа:

- требующие единичных измерений при обработке одного события;
- требующие множества измерений на одном событии.

К первому типу относится, в частности, большинство задач в физике высоких энергий, где восстановление следов ядерных частиц может быть произведено на основе измерения координат лишь нескольких точек на каждом следе. Задачи этого типа могут решаться при использовании систем обработки, в состав которых наряду со сканирующими автоматами входят также полуавтоматы. Создание системы обработки при этом должно вестись с учетом снижения стоимости обработки одного снимка по сравнению с системой, использующей одни только полуавтоматы.

Ко второму типу относятся такие задачи, как, например, измерение ионизации при обработке фотоснимков со следами ядерных частиц в физике высоких энергий, измерение графиков перегрузки самолетов, носящих случайный характер, и другие. В этом случае необходимо делать нередко до десятков измерений на каждом миллиметре следа ядерной частицы или графика, и поэтому использование полуавтоматов в системе массовой обработки информации для задач этого типа не приемлемо.

Система обработки в данном случае должна быть основана на использовании одних лишь сканирующих автоматов /при этом использование предварительного съема "маски" допускается/, а эффективность обработки на них должна быть доведена до требуемого высокого уровня.

Практически вне конкуренции для многих задач второго типа оказываются сканирующие автоматы на ЭЛТ, обладающие управляемым сканированием и использующие оператора. При этом, естественно, сравнение их с полуавтоматами с точки зрения снижения стоимости обработки одного события на потоке лишено какого-либо практического смысла: автомат оказывается экономически в сотни и даже тысячи раз выгоднее.

## УРАВНЕНИЕ БАЛАНСА СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ

Система обработки на базе сканирующего автомата может быть построена на основе:

- использования сканирующего автомата /автоматов/ и группы полуавтоматов, которые применяются для повторного измерения снимков, неудачно обработанных на сканирующем автомате;
- использования одних только сканирующих автоматов, имеющих в обязательном порядке средства диалога оператора с ЭВМ.

Ориентация на ту или иную систему обработки связана прежде всего с типом задачи. Практически как в первой, так и во второй системах обработки при решении реальных задач присутствует оператор, поэтому обе системы, включая построенную на использовании одних только сканирующих автоматов и допускающую поэтому создание чисто автоматического режима обработки, являются на самом деле лишь в большей или меньшей степени автоматизированными системами обработки. Участие оператора, как уже отмечалось выше, значительно улучшает способность системы обработки к адаптации, повышая коэффициент эффективности входящих в нее сканирующих автоматов и соответственно снижая стоимость обработки снимков. Вместе с тем, введение оператора в процесс обработки на сканирующем автомате влечет дополнительные расходы на создание специальной техники и ее эксплуатацию, а также снижает производительность самого автомата. Поэтому участие оператора в процессе обработки снимков с использованием сканирующих автоматов хотя и приносит, как показывает опыт, значительный выигрыш для подавляющего большинства практических задач, в то же время имеет и определенные ограничения. Анализ роли сканирующего автомата и роли оператора в системе обработки позволяет приблизиться к оптимальной организации создаваемой системы обработки и исключить возможные крупные просчеты, связанные в данном случае с большими затратами материальных средств и времени.

Анализ будем вести, исходя из условия достижения

системой обработки заданной высокой эффективности. В идеальном случае:

$$E_{\text{сист}} = 1. \quad /2/$$

Рассмотрим обработку информации для задач первого типа. Будем условно считать, что коэффициент эффективности полуавтоматов  $E_{\text{п/а}} = 1$ , а для сканирующего автомата в общем случае  $E_{\text{авт}} \leq 1$ . Это допущение, как и некоторые другие второстепенные допущения, несколько снизит точность расчетов, однако значительно упростит анализ.

Условие /2/ согласно определению /1/ будет выполнено, когда

$$n = N, \quad /3/$$

т.е. когда все поступившие на обработку фотоснимки будут успешно обработаны. Это условие может быть записано как

$$S_{\text{авт}} - S_{\text{авт}} \cdot [1 - E_{\text{авт}}] + m_{\text{п/а}} \cdot S_{\text{п/а}} = N, \quad /4/$$

где  $S_{\text{авт}}$  - производительность автомата, на котором первоначально ведется обработка всех снимков, поэтому  $S_{\text{авт}} = N$ ;  $E_{\text{авт}}$  - коэффициент эффективности автомата;  $S_{\text{авт}} [1 - E_{\text{авт}}]$  - количество неудачно обработанных на автомате снимков;  $m_{\text{п/а}}$  - количество полуавтоматов, необходимое для перемера неудачно обработанных на автомате снимков и выполнения равенства /3/;  $S_{\text{п/а}}$  - производительность одного полуавтомата\*.

Целью включения в систему обработки полуавтоматов, согласно условию /3/, является выполнение равенства

$$S_{\text{авт}} \cdot [1 - E_{\text{авт}}] - m_{\text{п/а}} \cdot S_{\text{п/а}} = 0 \quad /5/$$

\* Показатели  $N$ ,  $S_{\text{авт}}$ ,  $S_{\text{п/а}}$  берутся для определенного отрезка времени, например, одного года.

для входящих в левую часть выражения /4/ второго и третьего слагаемых. Анализ полученного выражения /5/, отражающего условие создания сбалансированной системы обработки, позволяет ответить на ряд основных вопросов при организации системы. Выражение /5/ будем называть уравнением баланса системы обработки.

Отметим прямую функциональную зависимость коэффициента эффективности  $E_{\text{авт}}$  от уровня создания математического обеспечения  $M$  и участия оператора в процессе диалога  $D$  с вычислительной машиной в затруднительных ситуациях. В свою очередь, производительность автомата  $S_{\text{авт}}$  имеет обратную зависимость от  $D$  и прямую, а при определенных условиях по мере развития математического обеспечения /слишком большой объем и возрастающая сложность программ, ограниченные возможности ЭВМ/ начинающую переходить в обратную, зависимость от  $M$ . Поэтому уравнение баланса системы обработки /5/ с учетом этих зависимостей может быть представлено как

$$S_{\text{авт}} \left( \frac{1}{D}, M', \frac{1}{M''} \right) \cdot [1 - E_{\text{авт}}(D, M)] - m_{\text{п/а}} \cdot S_{\text{п/а}} = 0, \quad /6/$$

где  $S_{\text{авт}}(M')$  - означает прямую функциональную зависимость производительности автомата от уровня развития математического обеспечения на некотором его начальном этапе, а  $S_{\text{авт}} \left( \frac{1}{M''} \right)$  - обратную зависимость от даль-

нейшего развития математического обеспечения после достижения им определенного уровня.

Нарушение уравнения баланса ведет к недоиспользованию возможностей системы обработки и увеличению стоимости обработки снимков. Например, при производительности сканирующего автомата  $S_{\text{авт}} = 300000$  событий в год, коэффициенте эффективности  $E_{\text{авт}} = 0,7$  /такие показатели характерны для сканирующих автоматов, которые не используют дисплей и другие средства диалога оператора с ЭВМ для "спасения" неудачно обработанных событий/ и производительности одного полуавтомата  $S_{\text{п/а}} = 5000$  событий в год получаем, согласно /6/, требование к количеству полуавтоматов:

$$m_{\text{п./а}} = \frac{S_{\text{авт}} \left( \frac{1}{D}, M; \frac{1}{M'} \right) \cdot [1 - E_{\text{авт}}(D, M)]}{S_{\text{п./а}}} = 18.$$

На практике во многих случаях найти такое большое количество полуавтоматов для системы обработки достаточно трудно, и тогда дорогостоящий сканирующий автомат работает с недогрузкой. В результате реальная производительность системы обработки значительно снижается /расчет может быть произведен на основе выражения /6/, где искомым в данном случае является  $S_{\text{авт}}$  /, что приводит, в свою очередь, к указанному увеличению стоимости обработки в расчете на одно событие.

Решить проблему повышения производительности и снижения стоимости обработки снимков для системы обработки, включающей автомат и группу полуавтоматов, в условиях дефицита полуавтоматов можно, очевидно, путем комплексного анализа путей повышения коэффициента эффективности автомата с учетом влияния роста диалога и развития математического обеспечения на производительность системы обработки и ее стоимость. Решение этой проблемы зависит от сложности обрабатываемых снимков и от самой системы обработки. Поэтому проектирование системы обработки для каждой новой задачи должно опираться на проведение аналогии с уже имеющимся опытом /как это сделано, например, при разработке сканирующего автомата АЭЛТ-2/160 с ориентацией его на обработку снимков конкретной физической задачи /6/, а также предусматривать этап практической оптимизации системы во время ее эксплуатации.

Этот сложный процесс наилучшим образом и с наименьшими затратами усилий и времени решается при использовании сканирующих автоматов, имеющих развитую систему диалога оператора с ЭВМ. Такие сканирующие автоматы позволяют оперативно смоделировать раз-

личные варианты системы обработки и выбрать наилучший из них для данных конкретных условий.

#### Рассмотрим пример

Исходные данные: сканирующий автомат на электроннолучевой трубке АЭЛТ-1/5/, имеющий мониторинговую систему диалога, которая позволяет оказывать помощь со стороны оператора на этапах измерения и обработки измеренной информации, используется для обработки снимков с широкозасорной искровой камеры. Значительная часть снимков имеет ослабленные по контрастности треки, успешное измерение которых требует вмешательства оператора, что ведет к определенному снижению производительности автомата. При этом экспериментально установлено, что при условии достижения коэффициента эффективности на этапе измерения  $E_{\text{авт}} = 0,6$  затраты времени на диалог могут быть незначительными и производительность автомата при 8-часовой рабочей смене в этом случае соответствует обработке  $S_{\text{авт}} \approx 200\,000$  событий в год; при  $E_{\text{авт}} = 0,8$  требуемые затраты на диалог возрастают и производительность снижается до  $S_{\text{авт}} \approx 80\,000$  событий в год; при  $E_{\text{авт}} = 0,92$   $S_{\text{авт}} \approx 20\,000$  событий в год. Коэффициент эффективности на этапе обработки измеренной информации близок к единице и практически может не учитываться.

Штат обслуживания автомата АЭЛТ-1 примерно в 2 раза больше, чем штат одного полуавтомата ПУОС с производительностью  $S_{\text{п./а}} = 12\,000$  событий в год.

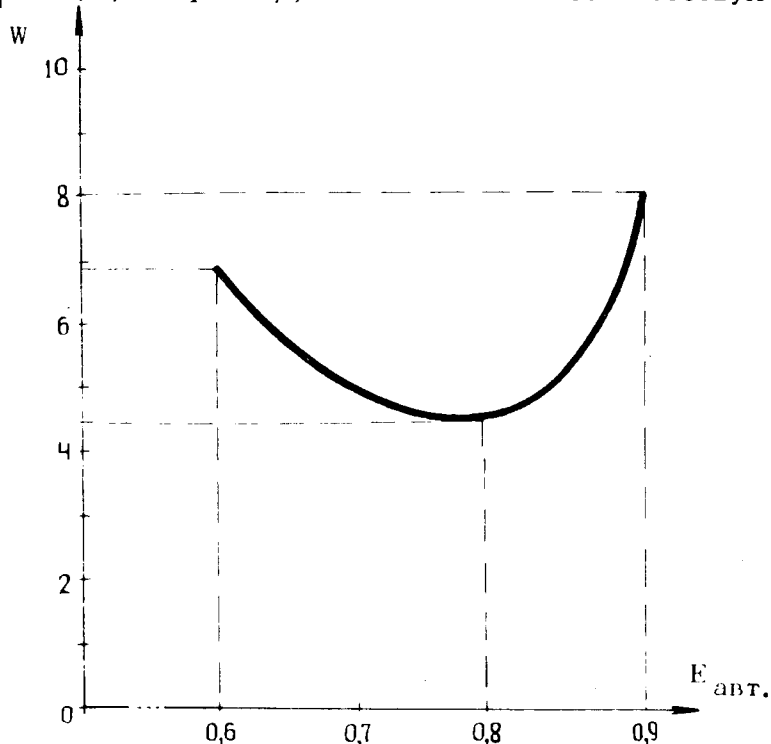
Требуется спроектировать систему обработки с производительностью 70 тысяч событий в год и с ориентацией на наименьшую численность обслуживающего персонала.

#### Решение задачи

Используя уравнение баланса системы обработки /6/ и подставляя в него различные значения  $S_{\text{авт}}$  и  $E_{\text{авт}}$  /см. условия задачи/, получим в расчете на достижение равного количества обрабатываемых событий неодинаковые требования к времени работы автомата и количеству используемых полуавтоматов. Соответственно получим и неодинаковые показатели в требованиях к затратам на



обслуживание при эксплуатации разных вариантов системы обработки. При этом наилучшие показатели получаются при использовании в системе обработки наряду с автоматом также одного полуавтомата. Это достигается в варианте, когда измерения ведутся с эффективностью  $E_{авт} = 0,8$  /см. рис. /; этот показатель и соответствующую



*Зависимость численности персонала (W), обслуживающего систему обработки с реальной производительностью 70 тысяч событий в год, от коэффициента эффективности  $E_{авт}$  входящего в состав системы обработки сканирующего автомата АЭЛТ-1.*

щая производительность в расчете на один час работы задаются оператору на автомате. Остающиеся при этом необработанными события в количестве ≈ 20% от общего числа поступивших на обработку передаются затем на повторные измерения на ПУОС /эти события отличаются пониженной контрастностью треков, что ведет к не-

большому снижению производительности ПУОС при их измерениях; в данном расчете ввиду незначительности эта поправка не учтена/. Построенная с использованием приведенного анализа система обработки с производительностью до 70 тысяч событий в год эксплуатируется в ОИЯИ с 1973 года; по результатам обработки 60 тысяч, а затем 100 тысяч событий на ней получены новые физические данные /8,9/.

Моделированию при поиске оптимально построенной системы обработки легко поддаются: количество используемых полуавтоматов и затраты времени на диалог оператора с ЭВМ. Что же касается математического обеспечения, то оно, как правило, в силу больших затрат на его создание не моделируется, а просто развивается до некоторого уровня, после которого существенного увеличения эффективности или производительности автомата, влияющих на снижение стоимости обработки снимков или сокращение сроков обработки данного эксперимента, уже не ожидается. Следствием этого является тот факт, что для разного уровня развития математического обеспечения могут существовать различные друг от друга и в то же время являющиеся оптимальными для своих уровней системы обработки. При этом преимущества вновь оказываются на стороне сканирующих автоматов, имеющих развитые средства диалога оператора с ЭВМ, так как они позволяют легче "отслеживать" уровень развития математического обеспечения благодаря возможности оперативно проводить аналогичное приведенному в примере моделирование вариантов системы обработки и создавать достаточно эффективно, хотя и не с самой высокой производительностью, работающие системы обработки на ранних стадиях создания математического обеспечения. В результате существенно сокращаются срок ввода в эксплуатацию создаваемой системы обработки и общие затраты времени на обработку данного эксперимента.

### СТОИМОСТЬ ОБРАБОТКИ СНИМКОВ

Оценивая снижение стоимости обработки снимков за счет внедрения в систему обработки сканирующего

автомата, для задач первого типа можем провести расчет из условия

$$q = \frac{B_{(авт+п/а)}}{B_{п/а}}, \quad /8/$$

где  $B_{(авт+п/а)}$  - стоимость создания и обслуживания в течение  $z$  лет системы, включающей автомат и полуавтоматы;  $B_{п/а}$  - стоимость создания и обслуживания в течение тех же  $z$  лет системы, включающей одни полуавтоматы и имеющей ту же суммарную производительность.

При полной загрузке обеих систем и с учетом равенства сроков их эксплуатации выражение /7/ можно представить в виде

$$q = \frac{b_{авт}(M) + m_{п/а} \cdot b_{п/а}}{n_{п/а} \cdot b_{п/а}}, \quad /9/$$

где  $b_{авт}(M)$  - стоимость создания и обслуживания автомата, зависящая от уровня развития математического обеспечения  $M$ ;  $b_{п/а}$  - стоимость создания и обслуживания одного полуавтомата, включая сравнительно небольшие затраты на создание для него математического обеспечения;  $m_{п/а}$  - число полуавтоматов в системе, включающей автомат, определяется по выражению /7/;  $n_{п/а}$  - число полуавтоматов в системе без автомата, но с той же производительностью.

Очевидно:

$$n_{п/а} = \frac{S_{авт} \left( \frac{1}{D}, M', \frac{1}{M''} \right)}{S_{п/а}}, \quad /10/$$

где  $S_{авт} \left( \frac{1}{D}, M', \frac{1}{M''} \right)$  - производительность автомата, соответствующая производительности системы обработки;  $S_{п/а}$  - производительность одного полуавтомата.

Подставив /7/ и /10/ в /9/, получим

$$q = \frac{b_{авт}(M) + \frac{S_{авт} \left( \frac{1}{D}, M', \frac{1}{M''} \right) \cdot [1 - E_{авт}(D, M)]}{S_{п/а}} \cdot b_{п/а}}{\frac{S_{авт} \left( \frac{1}{D}, M', \frac{1}{M''} \right)}{S_{п/а}} \cdot b_{п/а}} =$$

$$= \frac{b_{авт}(M)}{S_{авт} \left( \frac{1}{D}, M', \frac{1}{M''} \right)} : \frac{b_{п/а}}{S_{п/а}} + [1 - E_{авт}(D, M)],$$

где  $\frac{b_{авт}(M)}{S_{авт} \left( \frac{1}{D}, M', \frac{1}{M''} \right)}$  и  $\frac{b_{п/а}}{S_{п/а}}$  - показатели стоимости об-

работки одного снимка на автомате и полуавтомате при коэффициенте эффективности того и другого равном единице.

При недогруженности сканирующего автомата в выражении /11/ должна использоваться реальная производительность автомата. При этом снижение стоимости за счет использования автомата из-за сравнительно больших затрат на него уменьшится, что приведет к возрастанию /ухудшению/ показателя  $q$ . Некоторая компенсация при этом получается за счет соответствующего сокращения затрат на обслуживание автомата.

Рассмотрим пример, иллюстрирующий расчет снижения стоимости обработки снимков за счет использования сканирующего автомата.

Исходные данные:\* пусть стоимость сканирующего автомата типа АЭЛТ-1 и математического обеспечения для него - 200 тысяч рублей; стоимость

\*Данные о стоимости и других затратах приближительные. При подсчете затрат на обслуживание накладные расходы на зарплату, расходы на социальное обеспечение и пр. в сумме считались как двукратные по отношению к зарплате.

его обслуживания в течение  $z = 10$  лет эксплуатации /время морального старения аппаратуры/ при односменной работе - 165 тысяч рублей, т.е.  $b_{авт} = 200 + 165 = 365$  тысяч рублей. Реальная производительность автомата при односменной работе - 70 тысяч событий в год при коэффициенте эффективности, близком к  $E_{авт} = 0,8$ . Стоимость одного полуавтомата типа ПУОС, работающего в составе системы из одного-двух десятков таких полуавтоматов, подключенных к управляющей ЭВМ среднего класса, - 35 тысяч рублей; стоимость обслуживания одного такого полуавтомата в течение  $z = 10$  лет эксплуатации - 75 тысяч рублей, т.е.  $b_{п/а} = 35 + 75 = 110$  тысяч рублей. Производительность, показанная полуавтоматом, соответствует обработке 12 000 событий в год. Требуется оценить снижение стоимости обработки снимков для данной задачи за счет использования в системе обработки сканирующего автомата.

Решение задачи.

Согласно /11/:

$$q = \frac{365000}{70000} : \frac{110000}{12000} + [1 - 0,8] = 0,56 + 0,2 = 0,76.$$

Таким образом, использование автомата в составе системы обработки снижает стоимость обработки снимков до уровня  $q = 0,76$  по отношению к стоимости их обработки на полуавтоматах. Для этого же примера в варианте полной загрузки автомата /переход от односменной к трехсменной работе/ с учетом поправки на соответствующее увеличение затрат на эксплуатацию показатель снижения стоимости обработки может быть доведен /улучшен/ до уровня  $q \approx 0,5$ .

Собственно стоимость обработки одного снимка /события/ с помощью системы обработки, включающей сканирующий автомат и полуавтоматы, может быть найдена из условия:

$$p = \frac{B_{(авт + п/а)}}{S_{авт} \cdot z},$$

или /см. вывод формулы /11//:

$$p = \frac{b_{авт}(M) + \frac{S_{авт} \left( \frac{1}{D}, M', \frac{1}{M''} \right) \cdot [1 - E_{авт}(D, M)]}{S_{п/а}} \cdot b_{п/а}}{S_{авт} \left( \frac{1}{D}, M', \frac{1}{M''} \right) \cdot z} =$$

$$= \frac{b_{авт}(M)}{S_{авт} \left( \frac{1}{D}, M', \frac{1}{M''} \right) \cdot z} + \frac{b_{п/а}}{S_{п/а} \cdot z} \cdot [1 - E_{авт}(D, M)].$$

/12/

Для рассматриваемого примера с использованием автомата АЭЛТ-1 согласно /12/ получим стоимость обработки одного снимка /события/:

$$p = \frac{365000}{70000 \cdot 10} + \frac{110000}{12000 \cdot 10} \cdot [1 - 0,8] = 0,52 + 0,18 = 0,7 \text{ руб.}$$

Выражения /11/ и /12/ могут быть использованы для анализа затрат и их снижения по различным частным характеристикам, которые могут интересовать разработчиков системы обработки. К таким характеристикам могут относиться, например, отдельные затраты на капитальное строительство или одну только зарплату штата обслуживающего персонала, количество обслуживающего персонала и др. Эти характеристики для автомата и полуавтомата ставятся в выражения /11/ или /12/ на место показателей  $b_{авт}$  и  $b_{п/а}$ .

Анализу снижения стоимости обработки в расчете на одно событие при проектировании той или иной системы, ориентированной на массовую обработку снимков конкретной задачи, в ряде исследовательских центров /например, в ЦЕРНе/ уделяют большое внимание.

## ГРАНИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Приняв в выражении /11/ значение  $q=1$ , получим граничное значение коэффициента эффективности сканирующего автомата, начиная с которого и выше использование автомата в системе обработки является рентабельным:

$$E_{\text{авт min}} = \frac{b_{\text{авт}} (M)}{S_{\text{авт}} \left( \frac{1}{D}, M; \frac{1}{M''} \right)} : \frac{b_{\text{п/а}}}{S_{\text{п/а}}} \quad /13/$$

Для условий предыдущего примера:

$$E_{\text{авт min}} = \frac{365000}{70000} : \frac{110000}{12000} = 0,56.$$

Безусловно, проектировать и строить системы обработки, в состав которых входит сканирующий автомат, работающий с эффективностью, близкой к  $E_{\text{авт min}}$ , неправильно. Однако использование автомата для повторного измерения снимков в конкретных условиях /недогруженность автомата и др./ - этим пользуются на практике - при  $E_{\text{авт}} = E_{\text{авт min}}$  является экономически оправданным. При этом надо пользоваться показателями  $E_{\text{авт}}$  и  $E_{\text{авт min}}$ , найденными для режима повторной обработки, для которого, как правило,  $E_{\text{авт}}$  понижается /обработка наиболее трудных снимков, не прошедших обработку с первого раза/, а граничное допустимое значение  $E_{\text{авт min}}$ , наоборот, возрастает /снижение производительности обработки из-за уменьшения числа подлежащих обработке снимков на рулоне фотопленки и др./.

## СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ЗАДАЧ ВТОРОГО ТИПА

Для задач второго типа, обработка которых может вестись с использованием одних только сканирующих автоматов /см. выше/, существует единственный пока-

затель - стоимость обработки одного снимка /события/. Исключив из выражения /12/ составляющую, которая определяется применением в системе обработки полуавтоматов /т.е. в данном случае  $b_{\text{п/а}}=0$  /, получим:

$$P = \frac{b_{\text{авт}} (M)}{S_{\text{авт}} \left( \frac{1}{D}, M; \frac{1}{M''} \right)} \quad /14/$$

Рассмотрим пример.

Исходные данные: сканирующий автомат АЭЛТ-1 использован для обработки графиков полетной информации /графики скорости, высоты и перегрузки, записанные на кинопленку в процессе полетов самолетов//10/. Стоимость автомата и создание соответствующего математического обеспечения, а также стоимость обслуживания автомата в течение  $z = 10$  лет эксплуатации равна, как и в предыдущем примере,  $b_{\text{авт}} = 365$  тысяч рублей. Производительность автомата при двухсменной работе, а также существующем уровне развития математического обеспечения и организации диалога, обеспечивающих некоторый достаточно высокий коэффициент эффективности, соответствует обработке графиков 14000 полетов в год. Требуется определить стоимость обработки одного графика.

Решение задачи.

Согласно /14/ стоимость обработки графиков одного полета на сканирующем автомате:

$$P = \frac{365000}{14000 \cdot 10} = 2,6 \text{ руб.}$$

Для задач второго типа снижение стоимости обработки снимков /или событий/ может вестись за счет совершенствования и оптимизации работы сканирующего автомата в соответствии с выражением /14/. При этом должно соблюдаться требование обеспечения заданного достаточно высокого коэффициента эффективности автомата за счет соответствующего развития математического обеспечения или организации диалога оператора с ЭВМ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алмазов В.Я. и др. ОИЯИ, 1352, Дубна, 1963.
2. Franck J.V., Hough P.V.C., Powell B.W. *Nucl. Instr. and Meth.*, 1963, 20.
3. Barr R. e.a. POLLY I. In: *Proc. of International Colloquium on PEPR. Nijmegen, 1968, Netherlands.*
4. Gouache J.C. *Description and Status Report of the Erasme System.* In: *Proc. of Oxford Conference on Computer Scanning, 1974.*
5. Burov A.S. e.a. *AELT-1 and AELT-2 CRT Scanning Devices.* In: *Proc. of Oxford Conference on Computer Scanning, 1974.*
6. Баранчук М.К. и др. ОИЯИ, P10-8861, Дубна, 1975; в кн.: *Труды семинара по обработке физической информации, Ереван, 1975.*
7. Anykeyev V.B. e.a. *CRT Analyser "MELAS" and its System of on-Line Programs.* In: *Proc. of Conference on Computer Ussisted Scanning. Padova, 1976, Italia.*
8. Ализаде В.В. и др. ОИЯИ, P1-9478, Дубна, 1976.
9. Бережнев С.Ф. и др. ОИЯИ, P1-10311, Дубна, 1976.
10. Алакоз А.В. и др. ОИЯИ, P10-10317, Дубна, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел  
27 июня 1977 года.