

УДК 681.327.11:629.13.001.57

Авксентьева О.А.
Башков Е.А.
Иванов А.В.

ОТОБРАЖЕНИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДВИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ
ОБЪЕКТОВ

Рассматриваются вопросы организации вычислительных процессов в АЦВС при отображении непрерывного движения динамических объектов в реальном масштабе времени. Обосновываются принципы построения программно-аппаратных средств подсистемы ввода, преобразования и отображения графической информации.

Приводятся результаты экспериментальных исследований.

В обеспечении эффективного использования средств аналого-цифровой техники важное место принадлежит отображению графической информации, что дает возможность пользователю принимать активное участие в процессе моделирования. Метод разработки аппаратно-программных средств визуализации, являющийся одним из способов повышения производительности аналого-цифровых вычисли-

тельных систем
возможностей
посредственно
моделью (АЦМ)
вания каждого
ции должна при
витно-цифровой
графических сис
рекомендаций по
логового процес
должна удовлетв
моделирования.
отображение неп
ном масштабе в
Пусть в неп
ческий объект А
прямых $\{b_j(x$
ме перемещается
зультат решения
уравнений, моде
 V, β, φ координ
Задача сист
проецировании об
оси визирования,
его на экран гра
При решении
между аналоговой
из точностных х
времени, вносим
Длительность об
рассчитывалась с
визуализации в об
движения объекта
использовать для
действующие унив
отечественных АЦ
скомпонована стр
реализация програ
Математическ
графической инфо
позволяющее форм
над изображением,
бенностей модели
система визуализ
преобразований: о
изображения. Для
пространстве, в с
выполнить следуо

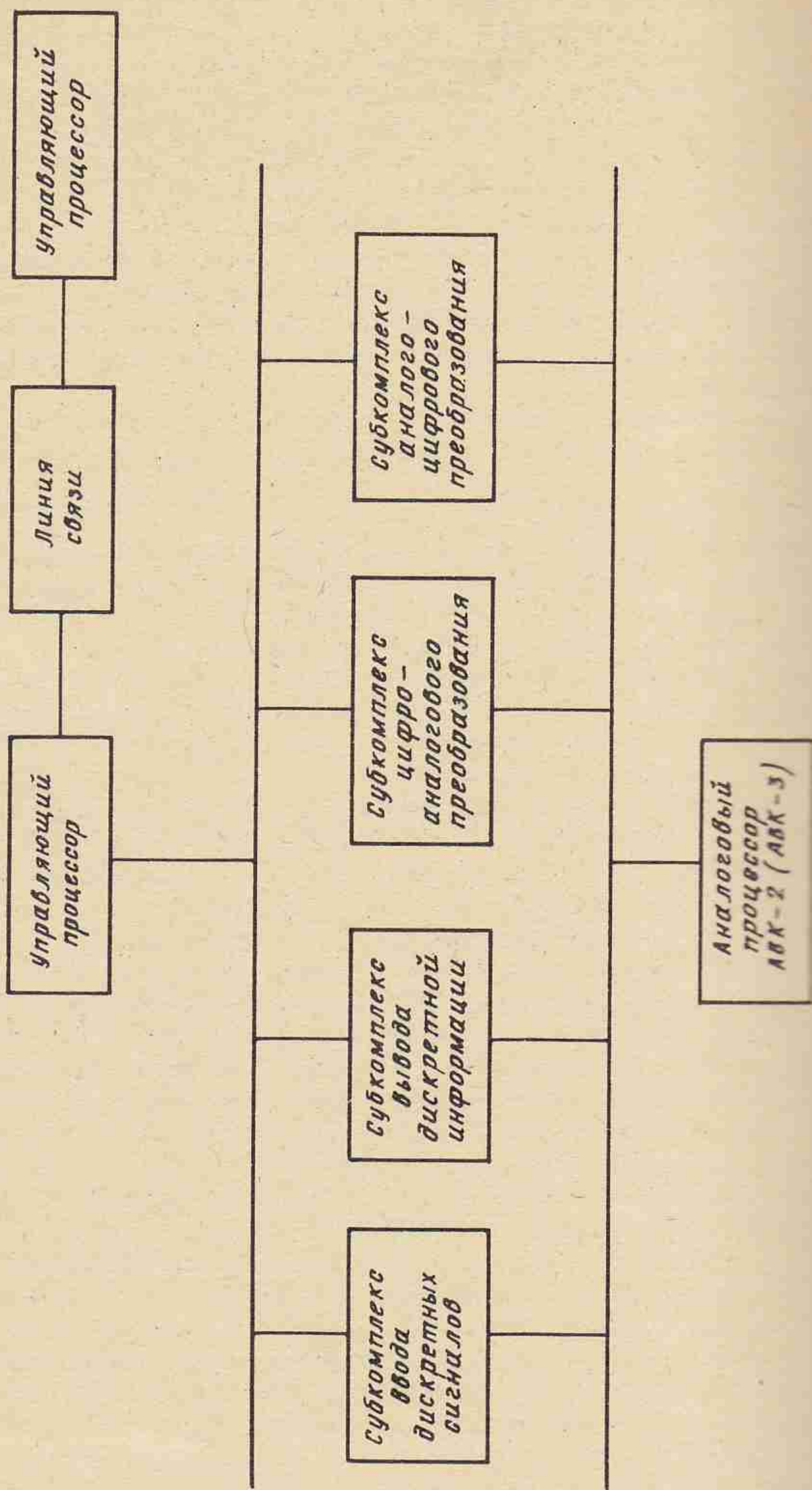
1
ика
тельных систем (АЦВС), состоит в расширении и придании новых возможностей моделирующей системе, а именно, в обеспечении непосредственного взаимодействия пользователя с аналого-цифровой моделью (АЦМ) на всех этапах постановки, подготовки и исследования каждого варианта задачи моделирования. Система визуализации должна при этом обеспечивать функции ввода и вывода алфавитно-цифровой и графической информации. Анализ существующих графических систем на основе средств цифровой техники, а также рекомендаций по реализации функций ввода-вывода данных из аналогового процессора выявил среди основных требований, которым должна удовлетворять система, требование "квазифизического" [1] моделирования. Одной из задач такого моделирования является отображение непрерывного движения динамических объектов в реальном масштабе времени.

327.11:629.13.001.57
Авксентьева О.А.
Башков Е.А.
Иванов А.В.
Пусть в неподвижной системе координат X, Y, Z задан статический объект A в виде набора точек $a_i(x_i, y_i, z_i)$ и отрезков прямых $\{b_j(x_j, y_j, z_j), c_j(x_j, y_j, z_j)\}$. В этой же системе перемещается объект F , фазовые переменные которого есть результат решения некоторой системы нелинейных дифференциальных уравнений, моделируемых на АЦВС. Линейные X, Y, Z и угловые ψ, θ, φ координаты объекта F задают ось визирования.

Задача системы отображения заключается в непрерывном проецировании объекта A на некоторую плоскость, перпендикулярную оси визирования, с учетом ограниченности углов зрения и выводе его на экран графического дисплея.

ОРМАЦИИ
НАМИЧЕСКИХ
анизации вычислительных средств подсистемы визуализации графической информации динамических объектов в реальном времени. При этом используются принципы построения графических программных средств.
Экспериментальных исследований
При решении задачи моделирования распределение загрузки между аналоговой и цифровой частью АЦВС определялось исходя из точностных характеристик и минимального запаздывания по времени, вносимого цифровой частью в гибридный контур АЦМ. Длительность обобщенной эквивалентной операции [2] при этом рассчитывалась с учетом включения программ и команд системы визуализации в общую программу задачи моделирования. Скорость движения объекта F относительно объекта A ($M_t=1$) не позволяет использовать для отображения перемещения объектов медленно действующие универсальные графические программы цифровой части отечественных АЦВС. Для устранения отмеченного недостатка была скомпонована структура технических средств (рис. 1) и выполнена реализация программного обеспечения системы визуализации АЦВС.

Математической основой разработанной системы отображения графической информации является алгоритмическое обеспечение, позволяющее формировать и выполнять различные преобразования над изображением. Анализ графических средств [3], а также особенностей моделирования динамических объектов показывает, что система визуализации АЦВС должна обеспечивать полный набор преобразований: отсечение, масштабирование, сдвиг, поворот изображения. Для объектов F , движущихся в двух- или трехмерном пространстве, в случае аналого-цифрового моделирования можно выполнить следующие преобразования:



где $\alpha_i(x_i, y_i)$

$\alpha'_i(x'_i, y'_i)$

Матрица α последователь

Матрица A шееся над точ

где $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ объекта F .

При движе матрицы прост ских элементо

где φ - угол

При отобра зворот выпо координатных матрицы пово Матрица P оп

С помощь рования изобр

K_x, K_y, K_z

$$a_i' = a_i M, \quad i = 1 \div n,$$

где M - матрица совмещенного преобразования;
 $a_i(x_i, y_i, z_i)$ - вектор координат точки изображения (характеристического параметра) в исходном описании объекта A ;

$a_i'(x_i', y_i', z_i')$ - вектор координат точки после преобразования.

Матрица совмещенного преобразования получается посредством последовательных простых преобразований

$$M = C \cdot P \cdot K.$$

Матрица C характеризует преобразование сдвига, выполняющееся над точкой изображения объекта A , следующим образом:

$$x' = x + \Delta x; \quad y' = y + \Delta y; \quad z' = z + \Delta z;$$

где $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ - приращения по соответствующим координатам объекта F .

При движении объекта F вокруг собственных осей элементы матрицы простого преобразования P служат для поворота графических элементов изображения в соответствии с формулами:

$$\begin{aligned} x' &= x \cos \varphi + y \sin \varphi; \\ y' &= y \cos \varphi - x \sin \varphi, \end{aligned}$$

где φ - угол поворота радиуса-вектора точки (x_i, y_i) .

При отображении движения объекта в трехмерном пространстве поворот выполняется последовательным вращением точки вокруг координатных осей X, Y, Z . Каждому вращению соответствуют матрицы поворота P_x, P_y, P_z , аналогичные двумерному случаю. Матрица P определяется как произведение матриц поворота

$$P = P_z \cdot P_y \cdot P_x.$$

С помощью матрицы K выполняется преобразование масштабирования изображения

$$x' = x \cdot K_x; \quad y' = y \cdot K_y; \quad z' = z \cdot K_z,$$

где K_x, K_y, K_z - масштабы по соответствующим координатам.

процессор
АВК-2 (АВК-3)

Затем над полученными данными выполняется операция экранирования, в результате которой рассчитываются проекции изображающих точек на плоскость, перпендикулярную оси визирования:

$$y' = \frac{y}{x}; \quad z' = \frac{z}{x}.$$

При выполнении таких операций часть изображения объекта может выйти за пределы экрана. Чтобы избежать этого, был разработан и реализован алгоритм отсечения, позволяющий отбрасывать линии, выходящие за пределы экрана. Работа алгоритма основана на проверке, попадает ли отрезок или его часть в пределы экрана, и отличается от алгоритма отсечения [2] операциями, которые выполняют обработку упорядоченной структуры данных. Алгоритмы отсечения совместно с алгоритмом экранирования предоставляет возможность выбирать различные размеры экрана. Это позволяет выводить на экране области визуализации, каждая из которых служит для вывода соответствующего изображения. Поскольку аппаратная реализация преобразований в серийно выпускаемых дисплеях не проводится, они выполняются в системе программным путем. Программное обеспечение системы визуализации включает в себя программы взаимодействия ЭВМ с устройствами ввода информации, устройствами отображения информации и аналитические программы, реализующие алгоритмы визуализации. Связь с программными средствами других подсистем АЦВС осуществляется через общее информационное поле. Программы, выполняющие алгоритмы преобразования, объединяются в пакет графических подпрограмм, который загружается пользователем совместно с программой либо автоматически из системной библиотеки. Из программ системы машинно-зависимой является программа - генератор дисплейного кода, осуществляющий перевод каждой преобразованной графической единицы в соответствующие команды дисплейного файла. Поскольку средства вывода графической информации могут быть частью подсистемы диалога АЦВС [4], последние были дополнены компонентами графического ввода. Учитывая, что диалог является аналого-цифровым, разработанные программы дают возможность пользователю изменять масштаб изображения, размеры областей визуализации, перемещать по экрану и сканировать изображение, используя элементы системы связи с аналогового процессора как на подготовительной стадии, так и на стадии исследования АЦМ.

Правильность принципов, положенных в основу построения системы отображения графической информации, экспериментально проверена в процессе испытаний при решении контрольных задач, одной из которых является отображение информации о движущемся объекте. Поведение объекта моделируется АЦВС с двухпроцессорной цифровой частью (УВК М-6000), в которой второй процессор (объем ОЗУ равен 8 Кбайт) с подключенной к нему станцией визуализации графических данных (СИГД) предназначен для визуализации.

Линия
регистра
словами
вым про
связи с
АСВТ-М.
зованных
показана

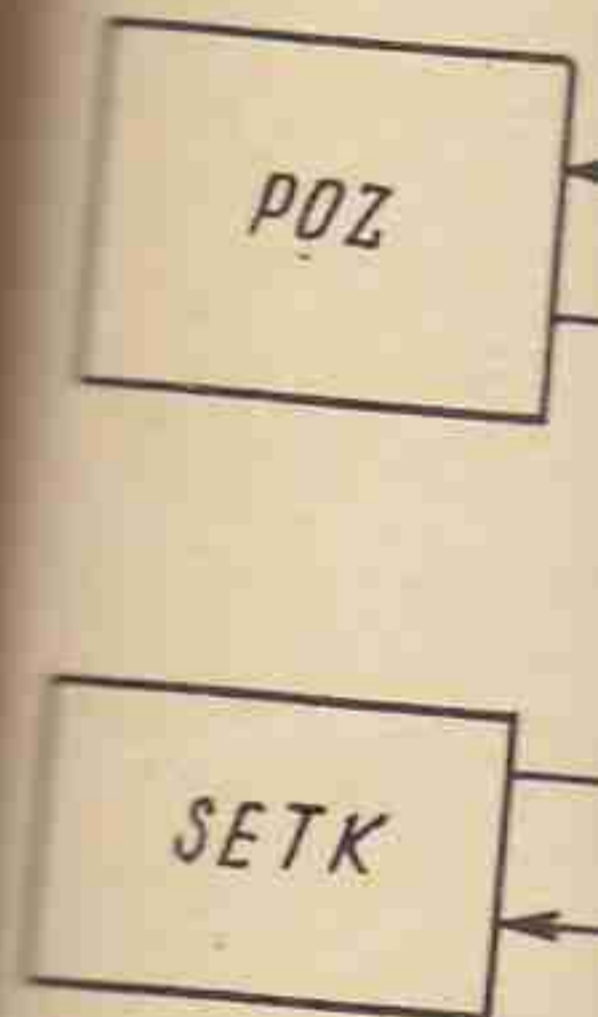


Рис. 2. Стр.

Линия связи (см. рис. 1), выполненная с помощью дуплексных регистров, служит для обмена информационными и управляющими словами между цифровыми процессорами. Взаимодействие с аналоговым процессором осуществляется через аппаратуру устройства связи с объектом, входящую в комплекс технических средств АСВТ-М. Структура соответствующих программных модулей, реализованных на дисплейном процессоре при исследовании данной модели, показана на рис. 2. При этом использовались следующие программы:

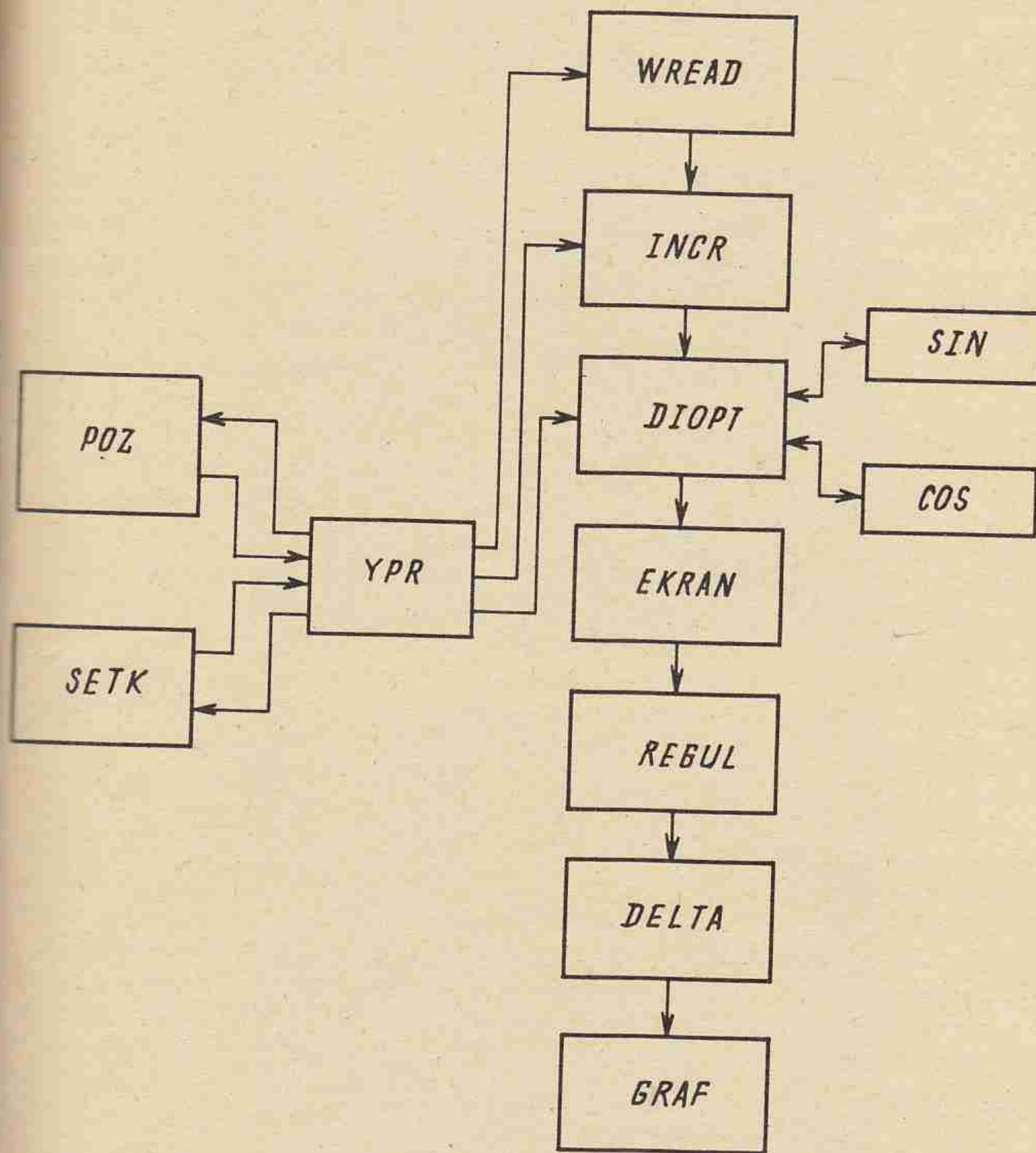


Рис. 2. Структура программных средств визуализации

POZ, SETK – программы ввода графической информации, применяемые на подготовительной стадии для построения геометрического образа отображаемого объекта *A* (взлетно-посадочной полосы);

YPR – программа, выполняющая функции таблично-управляемого диспетчера системы визуализации;

WREAD – программа, обслуживающая линию связи между основным цифровым и дисплейным процессорами АЦВС. Из основного процессора в дисплейный передаются координаты движущегося объекта $F(X, Y, Z, V, G, \varphi)$;

INCR – программа контроля системы визуализации, применяемая на подготовительной стадии для отладки АЦМ;

DIOPT, EKCRAN, REGUL, DELTA – программы, реализующие алгоритмы преобразования изображения: масштабирование, сдвиг, поворот, отсечение;

GRAF – программа – генератор дисплейного кода;

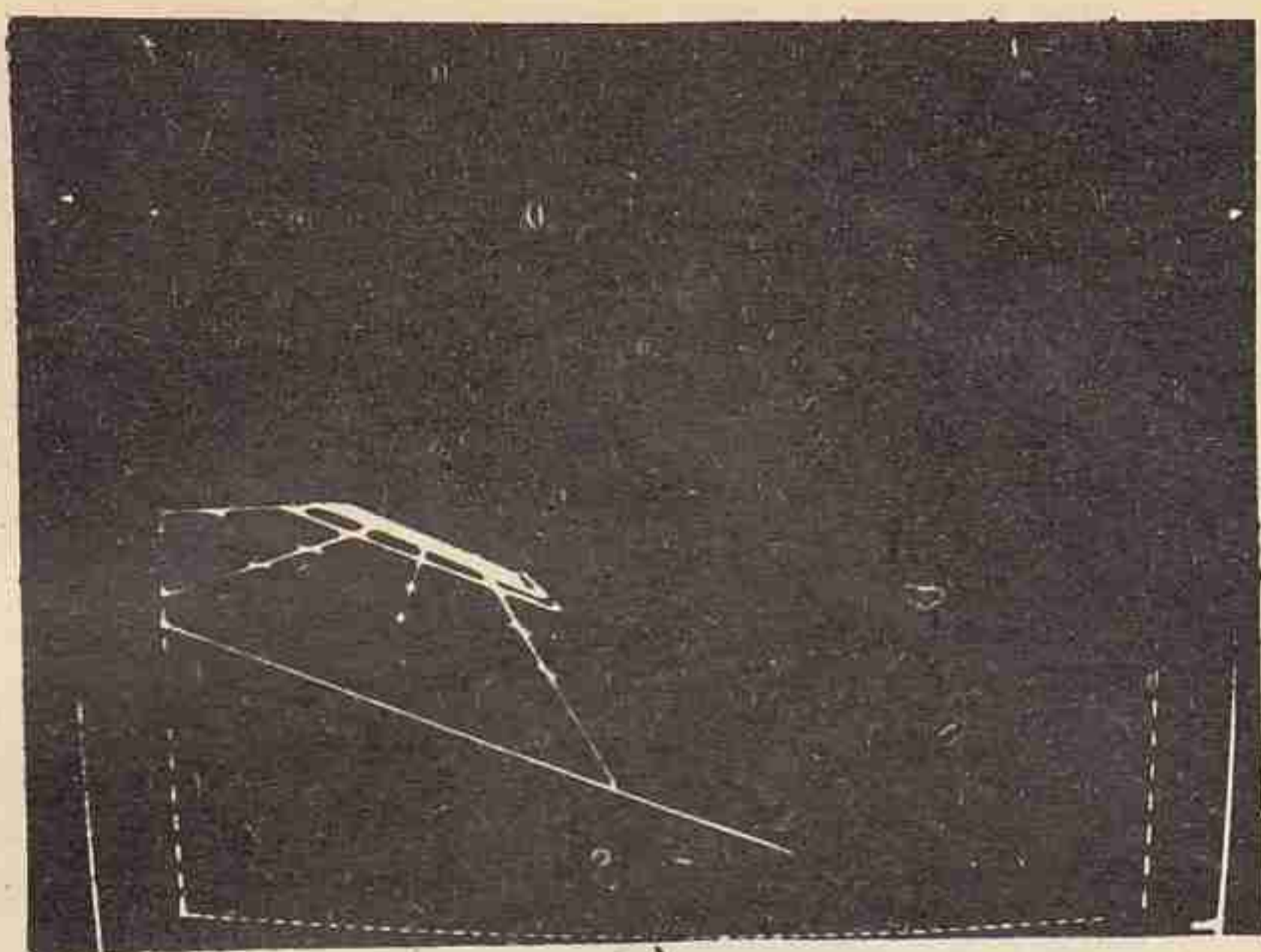
SIN, COS – программы, реализующие быстрые алгоритмы вычисления функций.

Над каждой точкой отображаемого объекта *A* при поступлении новых координат движущегося объекта *F* выполняются операции преобразования, в результате чего генератор дисплейного кода формирует в режиме векторов соответствующие информационные слова для вывода изображения на экран графического дисплея. На рис. 3 показаны изображения объекта *A* (взлетно-посадочной полосы) в различные моменты времени, полученные с экрана СИГД при исследовании поведения АЦМ движущегося объекта *F*. На рис. 4 дано изображение объекта *A* (усеченной призмы), полученное на подготовительной стадии с помощью программ ввода графической информации. Основные аппаратные и программные средства системы визуализации АЦВС успешно прошли испытания при решении задачи моделирования движущихся объектов и их структура была перенесена на АЦВС с двухпроцессорной цифровой частью СМ-2. Поскольку оба процессора СМ-2 работают с общим полем памяти, при исследовании АЦМ движущегося объекта устраняются временные затраты на передачу информации из основного процессора в дисплейный и управление визуализацией за счет разделения памяти между процессорами. Исследования АЦМ совместно с системой визуализации показали хорошую работоспособность и надежность системы. Недостаток СИГД – регенерация изображения от процессора при отображении сложных геометрических объектов – устраняется при использовании для исследования АЦМ иерархической АЦВС. В этом случае первый процессор СМ-2 предназначен для взаимодействия с аналоговым процессором, а второй – с дисплейным (рис. 5). Алгоритм решения задачи моделирования реализуется на центральном цифровом процессоре (ЦП), подключенном через блок связи (БС) к основному СМ-2. Анализ структуры разработанной системы визуализации показал, что она без переделок может быть включена в состав иерархической АЦВС. При этом в случае необходимости выполнение части программ системы визуализации может быть передано основному процессору.

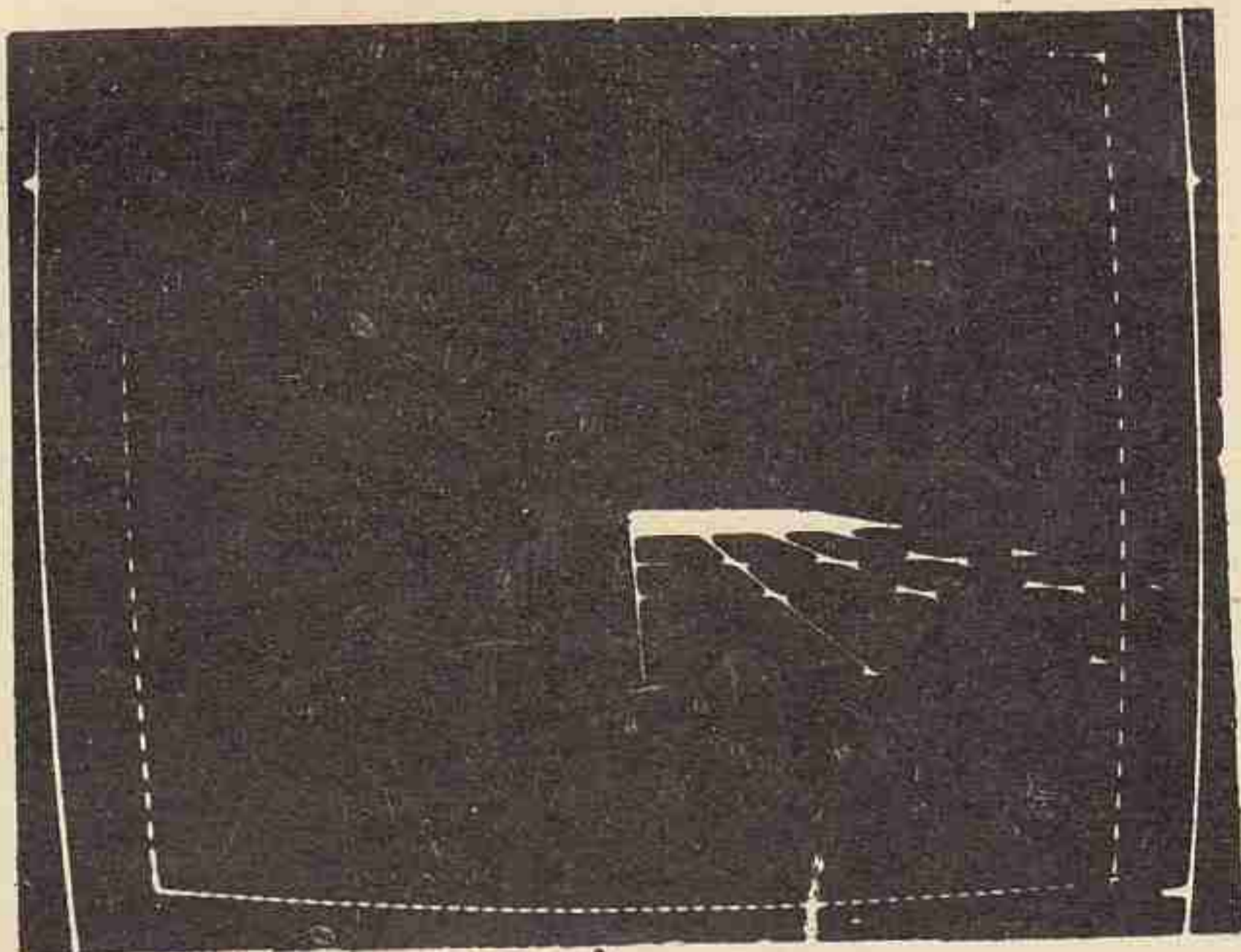
Рис. 3. Отображение объекта графического

рмации, приме-
геометрическо-
очной полосы);
вно-управляемого
ви между основ-
Из основного
движущегося объ-
зации, применяе-
; реализующие ал-
рование, сдвиг,

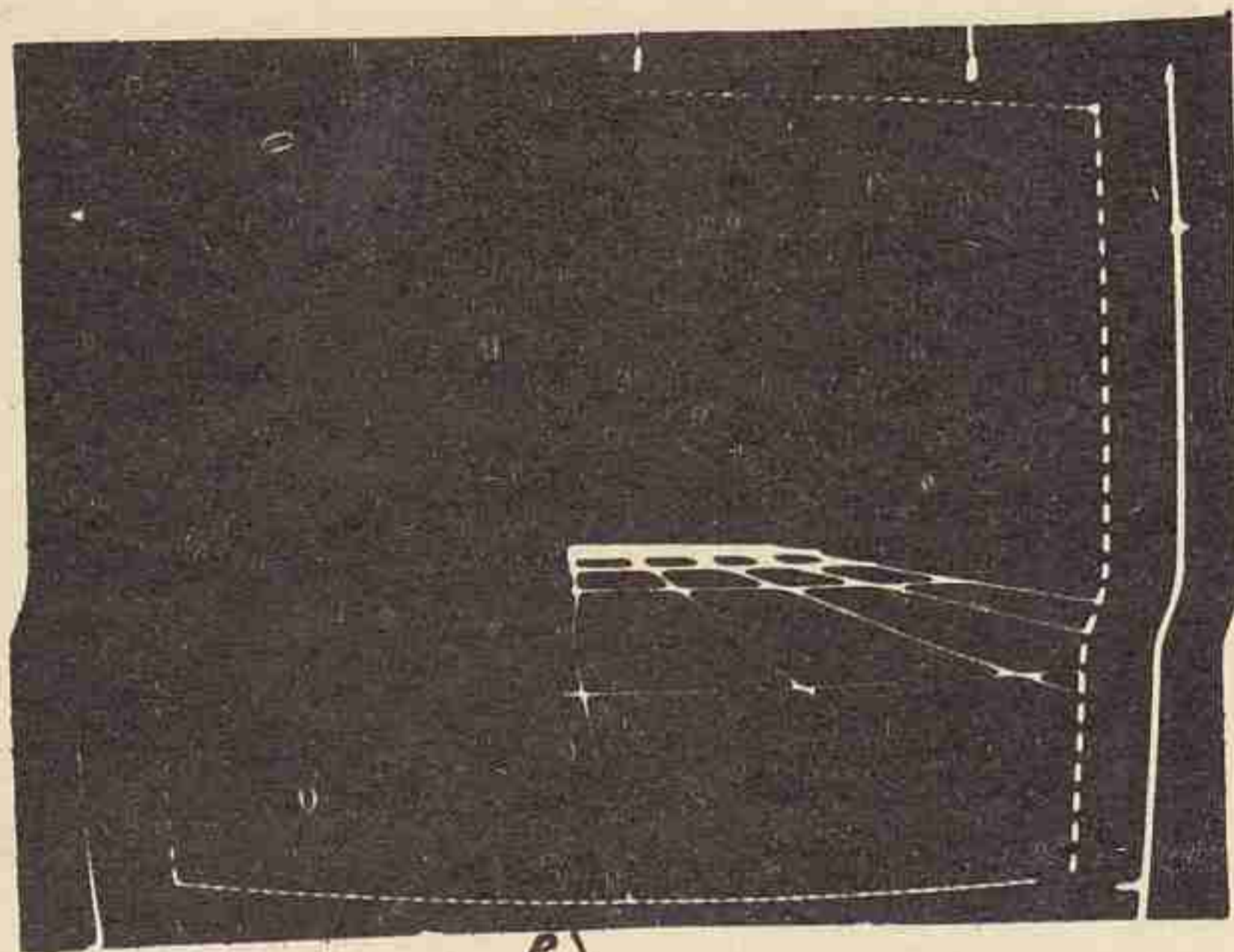
рда;
е алгоритмы вы-
А при поступлении
оляются операции
дисплейного кода
не информационные
еского дисплея. На
о-посадочной поло-
с экрана СИГД при
екта F . На рис. 4
ы), полученное на
и ввода графической
е средства системы
при решении задач
уктура была перене-
частью СМ-2. По-
бщим полем памяти,
устраняются времен-
сновного процессора
счет разделения па-
совместно с систе-
способность и надеж-
ация изображения от
рических объектов -
ания АЦМ иерархиче-
р СМ-2 предназначен
м, а второй является
адачи моделирования
ессоре (ЦП), подклю-
СМ-2. Анализ струк-
показал, что она без
иерархической АЦВС
ение части программы
основному процессору



а)



б)



в)

Рис. 3. Отображение взлетно-посадочной полосы на экране графического дисплея в моменты времени $t_1(a)$, $t_2(b)$, $t_3(b)$

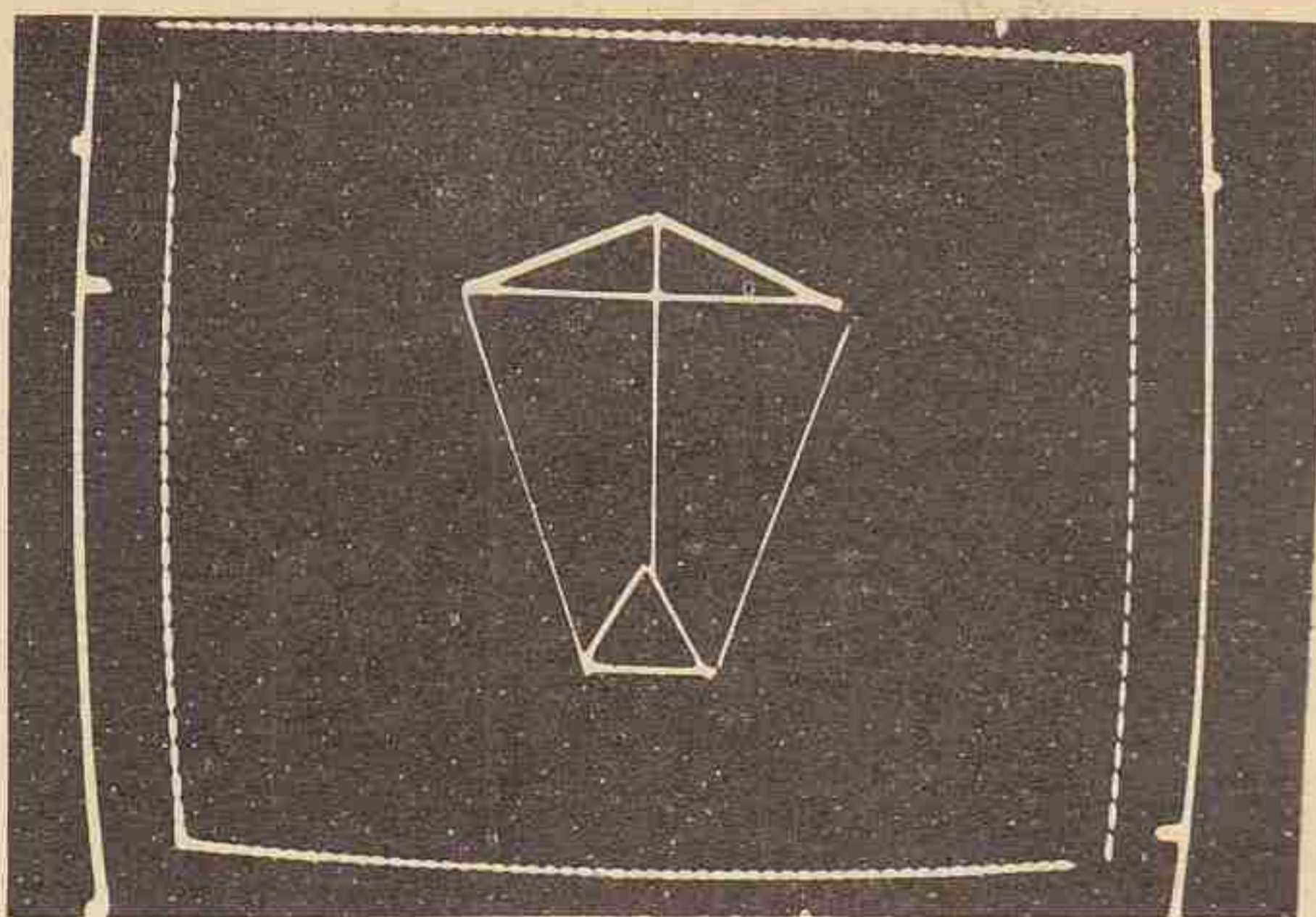


Рис. 4. Отображение призмы на экране графического дисплея

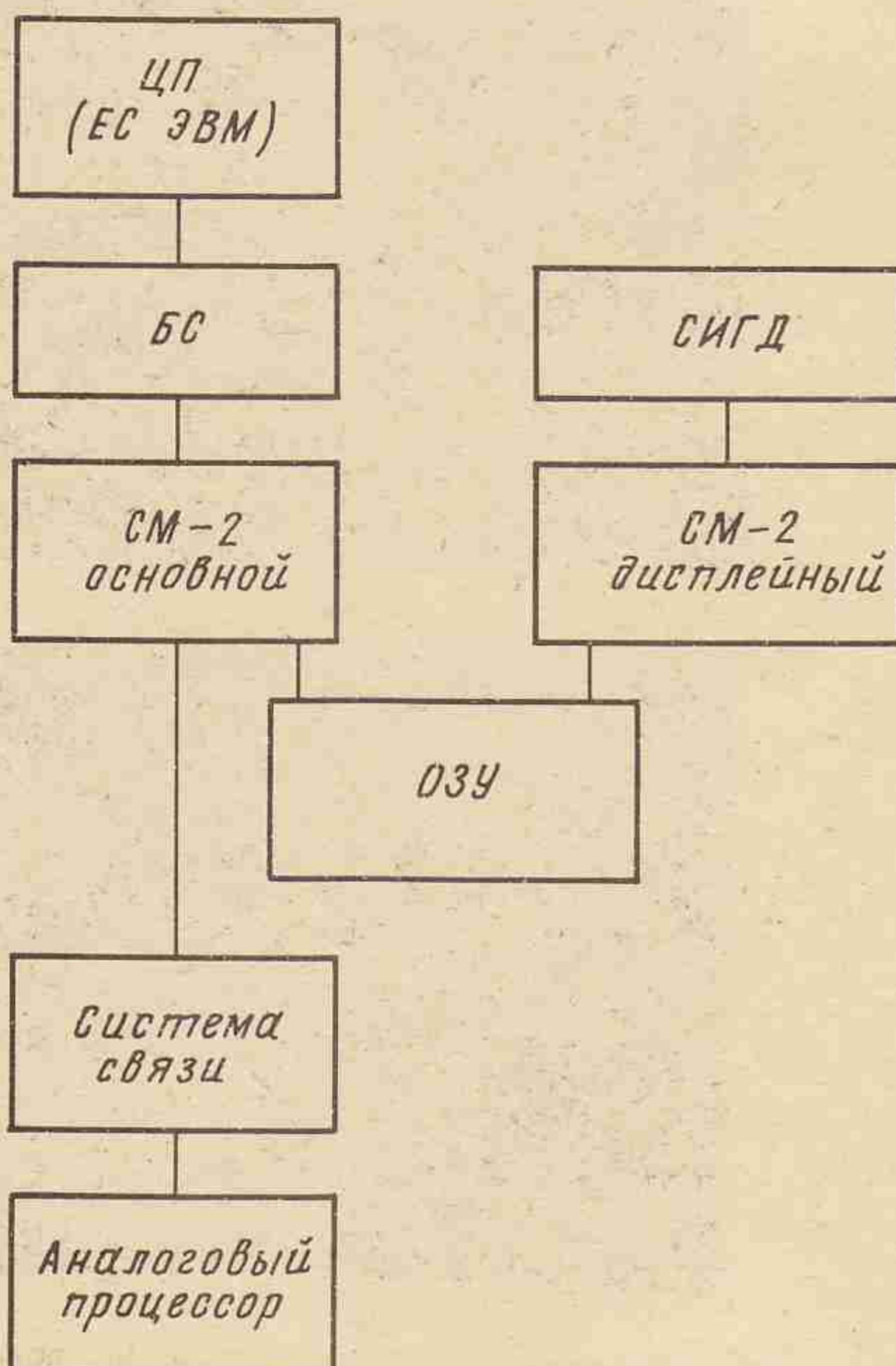


Рис. 5. Структура системы визуализации в составе иерархической АЦВС

чтобы устранить, например, мерцание изображения, возникающее при отображении очень сложных (с большим числом графических элементов) объектов.

На основании экспериментальных исследований можно сделать вывод, что наличие в составе технических средств управляющих процессоров архитектурной линии АСВТ-М, СМ ЭВМ устройств отображения информации на ЭЛТ, а также возможность компоновки структуры АЦВС проектным путем позволяют реализовать требованиям способную систему визуализации, удовлетворяющую требованиям исследования сложных АЦМ в реальном масштабе времени, за короткое время и без дополнительных аппаратных затрат.

Дальнейшее развитие системы визуализации, т. е. разработка второго уровня, будет идти в двух направлениях:

- создание аппаратных встроенных процессоров преобразования, а также алгоритмов перспективных преобразований и удаление невидимых линий и поверхностей;
- разработка графического языка высокого уровня. Использование возможностей микропрограммирования, имеющихся в СМ ЭВМ, для обеспечения соответствия структуры этих машин выбранной системе графических примитивов позволит организовать эффективное и быстрое взаимодействие исследователя с моделью.

Л и т е р а т у р а

1. Петров Г.М., Шубин Ю.А. Тенденции развития структур аналого-цифровых вычислительных систем реального времени. - Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ, 1974, вып. 2.
2. Беляков В.Г. Методика оценки эквивалентного быстродействия ЦВМ. - Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ, 1978, вып. 4.
3. Ньюменн У., Спрулл В. Основы интерактивной машинной графики. - М.: Мир, 1976.
4. Витенберг И.М., Иванов А.Ю., Святный В.А. Диалоговый режим работы аналого-цифровой вычислительной системы на базе управляющего процессора. - Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ, 1979, вып. 2.

Статья поступила в сентябре 1981 г.