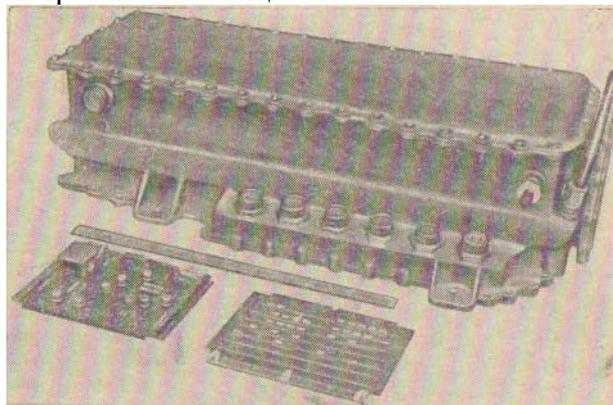


## Машина D37B

Значительные усилия по повышению надежности и других показателей системы наведения и управления улучшенного варианта межконтинентальной баллистической ракеты Minuteman были предприняты отделением Autonetics фирмы North American Aviation (США) на основе использования микроминиатюрной аэрокосмической цифровой вычислительной машины и микроэлектронного оборудования. Именно кремниевые монокристаллические интегральные микросхемы, широко применяемые в ракете Minuteman, обусловили высокий уровень надежности ее оборудования наряду со значительным снижением объема, веса и потребляемой мощности.



Разработка машин типа D37B для ракеты Minuteman является крупным шагом в развитии аэрокосмических цифровых вычислительных машин военного назначения. Достигнутые при этой разработке результаты обеспечат получение компактных, легких и надежных цифровых вычислительных машин, которые, очевидно, будут основными помощниками человека при исследовании солнечной системы. Разработка этой машины имеет особое значение в том смысле, что впервые во главу угла было поставлено массовое использование кремниевых монокристаллических интегральных микросхем в небывалых до этого масштабах. Наряду с этим впервые на практике была опробована новая техника межсхемных соединений, основанная на массовом использовании многослойных печатных плат и панелей.

Функциональное назначение машины D37B в системе наведения и управления ракетой Minuteman состоит в следующем: перед полетом машина воспринимает и дешифрует команды, заданные аэрокосмическим наземным оборудованием, выполняет определяемые этими командами задания. Машина управляет выравниванием инерциальной платформы, задает калибровки измерителя скорости и приборов управления, а также проверяет (с помощью операционных тестов) систему наведения и управления. Машина управляет внешним отсчетом времени и передает сигналы старта.

Во время полета машина воспринимает информацию об угловых положениях и скорости их изменений от инерциальной платформы, которая определяет положение ракеты по отношению к точке старта и точке цели. Уравнения наведения решаются машиной практически мгновенно и на блоки управления полетом ракеты передаются соответствующие выходные команды для удержания ракеты на действительной баллистической траектории. Кроме того, машина D37B вырабатывает такие команды, которые управляют отделением двигательной ступени, снятием с предохранителя ядерной боевой головки, возвратом носителя, отсоединением от третьей ступени двигателей, и оборудованием наведения, блоками удара и средствами проникновения.

Во время испытательных полетов ракеты машина выдает на все приборы необходимые синхронизирующие сигналы и те цифровые данные, которые должны быть переданы телеметрической системой на наземные станции.

Структура машины предусматривает решение в масштабе реального времени задач, выдвигаемых ракетной системой, частью которой является сама машина, представляющая собой последовательную цифровую вычислительную машину общего назначения с

хранимой программой. Система счисления, в которой работает машина, — двоичная. Длина полного слова составляет 27 двоичных разрядов, запятая фиксированная. Слово может иметь несколько форматов в зависимости от его использования (в качестве команды, полного или частичного слова). Запоминающее устройство машины использует двусторонний магнитный диск, вращающийся со скоростью 6000 об/мин. Вращение диска осуществляется от трехфазного синхронного двигателя, питаемого напряжением частотой 400 гц. Диск с обеих сторон имеет воздушные подшипники. На каждой стороне диска имеется по одной универсальной головке. Объем запоминающего устройства на диске составляет 6912 слов в адресах общего назначения со средним временем выборки около 5 мсек и 29 слов ускоренной выборки: 40 мсек (1 слово), 160 мсек (4 слова), 320 мсек (8 слов), 640 мсек (16 слов).

При дальнейшей модернизации машины D37B в течение ближайшего времени запоминающее устройство на вращающемся магнитном диске заменяется запоминающим устройством с произвольным доступом, что позволит удвоить емкость до 14 000 24-разрядных слов.

Управление работой машины осуществляется от внутренне-хранимой программы, которая может быть введена с перфоленты. Устройство управления машины синхронного типа и предусматривает возможность поиска и чтения следующей команды во время выполнения текущей команды. Быстродействие машины характеризуется следующими показателями (исключая обращение к запоминающему устройству): сложение — 78 мсек, умножение — 1016 мсек, деление — 2030 мсек.

Широкое использование микросхем в машине D37B обусловило высокие показатели ее конструктивных характеристик. Действительно, размеры машины составляют 530x267x143 мм, объем 20,2 л, вес около 15 кг (без учета охладителя), потребляемая мощность 169 вт. Конструктивно машина разделена на три подсистемы: запоминающее устройство; логика, арифметика и устройство ввода/вывода; источник питания. Такая конструкция обеспечивает возможности производства и проверки подсистем независимо друг от друга до полной сборки и испытаний машины. Вся конструкция герметизируется, и отвод тепла производится с помощью прокачки через корпус машины охлаждающей жидкости.

Как видно из приведенных данных, машина D37B имеет достаточно высокие показатели. Однако следует отметить, что при разработке машины не было предъявлено каких-либо особых требований к получению предельно возможной плотности размещения элементов. На каждой схемной плате смонтирована всего лишь половина микросхем, которые могли бы быть размещены на площади платы, и расстояние между платами достаточно велико. Логические схемы машины используют в основном кремниевые монолитные интегральные микросхемы производства фирмы Texas Instruments. В частности, электроника запоминающего устройства выполнена на 10 типах интегральных микросхем. Четыре из них — общие для всей машины — являются логическими элементами арифметического устройства, остальные шесть типов специфичны для запоминающего устройства.

Для монтажа интегральных микросхем и необходимых дискретных компонентов разработаны многослойные печатные платы, каждая из которых состоит из 10 слоев. Внешние слои (их два) предусмотрены для размещения корпусов микросхем и отвода от них тепла. Один слой служит для подведения питающих напряжений и синхронизирующих сигналов, один слой отведен для заземляющих шин, остальные 6 слоев обеспечивают соединения сигнальных цепей. «Заземляющий» слой изолирует и защищает сигнальные слои от синхронизирующих цепей. На внешних слоях соединений не производят, за исключением присоединений к выводам корпусов интегральных микросхем.

Каждая секция машины имеет индивидуальную многослойную плату, соединяемую с остальными платами при помощи главной 14-слойной печатной панели. Многослойная

плата, детальное описание конструктивного выполнения которой изложено в четвертой главе, имеет размеры 105x132 мм и содержит 180 корпусов интегральных микросхем.

Наряду с широким использованием кремниевых монокристаллических интегральных микросхем дискретного типа в оборудовании ракеты Minuteman, непосредственно связанном с машиной D37B, использовано несколько типов интегральных микросхем линейного типа, главным образом для аппаратуры блока управления полетом и блока инерциальных измерений. В этой аппаратуре интегральные микросхемы составляют соответственно 68 и 45%.

Система наведения и управления для усовершенствованного варианта ракеты Minuteman использует около 3000 полупроводниковых интегральных микросхем во всей системе, из них около 2000 предназначены для использования в собственно цифровой вычислительной машине. Свыше 90% функциональных требований машины удовлетворяются микросхемами четырех основных типов. Около 250 полупроводниковых интегральных микросхем входят в систему управления полетом, на 2/3 удовлетворяя нужды этой системы, и свыше двухсот полупроводниковых интегральных микросхем соответствуют наполовину требованиям системы инерциальной навигации.

Фирмы Texas Instruments и Westinghouse являются поставщиками 19 из 20 типов схем, используемых по программе Minuteman. Фирма General Electric поставляет переключатели малых сигналов для преобразователей. Фирмы Texas Instruments и Westinghouse также поставляют подобного рода переключатели. Фирма RCA является единственным поставщиком мощных переключателей. В настоящее время по программе Minuteman используется свыше 160000 микросхем.

Широкое использование микроэлектроники позволило отделению Autonetics, по крайней мере, удвоить возможности цифровой вычислительной машины для ракеты Minuteman и в значительной степени упростить соответствующую наземную систему (сокращенную до одного выдвижного блока оборудования). Отделение Autonetics не проводило (хотя и планирует это) исчерпывающей программы по получению высокой надежности для микросхем, как это было, проведено с транзисторами для раннего варианта Minuteman. Однако перед размещением микросхем корпуса их испытывали на вибрацию, температуру, изгибы выводов, ударение и т. д. Затем проверяли 25 электрических параметров, после чего схемы подвергали 500-час значительному нагреву, и вновь повторяли механические и электрические испытания. Наиболее важные электрические параметры проверялись снова как перед заключением в корпус, так и после этого, и полученные данные сравнивались с заданными.

Проект Minuteman является наиболее важной программой, широко использующей микроэлектронику.