

О ПРИНЦИПАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
МАЛЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН

В.В. Присялковский

В работе формулируются основные принципы проектирования малых электронных вычислительных машин (ЭВМ) с учетом особенностей этапов технического проектирования, серийного производства и эксплуатации.

I. Этапы технического проектирования, серийного
производства, эксплуатации ЭВМ и требования
к её конструкции

Проектирование малых ЭВМ существенно отличается от проектирования больших. Если при проектировании последних основной целью является увеличение производительности, то при проектировании малых основную роль играют повышение надежности, технологичности (при серийном производстве), удобства эксплуатации, снижение стоимости. Это объясняется тем, что в отличие от больших, малые ЭВМ выпускаются крупными сериями [1]. Их эксплуатация обычно ведется в небольших организациях, где обслуживающий персонал, как правило, имеет невысокую квалификацию. В этих условиях большое значение приобретает не максимальное увеличение производительности, а рентабельность использования ЭВМ.

Особенности проектирования малых ЭВМ можно установить, анализируя три основных этапа их создания: собственно проектирование, серийное изготовление и эксплуатация ЭВМ. Рассмотрим кратко специфику этих этапов и требования, предъявляемые ими к проектированию малых ЭВМ.

Этап технического проектирования. Под техническим проектированием будем понимать разработку технической документации серийного образца ЭВМ по материалам технического задания и эскизного проекта.

На этом этапе основной целью является разработка документации ЭВМ с заданными параметрами в минимальные сроки при минимальных затратах. В этап технического проектирования входят:

1. Разработка системы элементов (или выбор их из числа имеющихся).
2. Разработка логической структуры машины и уточнение системы команд.
3. Разработка функциональных и принципиальных схем устройств и узлов.
4. Разработка конструкции узлов.
5. Разработка монтажной документации.
6. Изготовление, наладка и испытание опытного образца.
7. Корректировка документации по результатам испытаний опытного образца.
8. Корректировка документации после изготовления установочной партии.
9. Разработка средств математического обеспечения.

Выбор системы элементов является отправным пунктом для всех дальнейших работ: система элементов определяет логическую структуру, принципы построения электрических схем узлов и устройств, конструкцию устройств. Выбор системы элементов также во многом определяет основные параметры проектируемой машины: надежность, стоимость, быстродействие.

С точки зрения сокращения сроков проектирования ЭВМ большое значение имеет выбор минимального числа различных элементов машины, стандартизация их входных и выходных сигналов, а также режимов работы.

При разработке логической структуры требуется определить временные соотношения в работе устройств, потоки информации и функции устройств.

Система команд машин, определенная в основном на этапе технического задания, как правило, уточняется в течение всего

процесса проектирования. Уточнение системы команд приводит к переработке документации и изменениям опытного образца. В связи с этим при разработке логической структуры важно обеспечить возможность коррекции отдельных команд и добавления новых команд.

При разработке функциональных и принципиальных схем устройств машины большое значение имеет возможность параллельной работы групп специалистов, разрабатывающих различные устройства. Это может быть достигнуто в том случае, если устройства машины достаточно автономны, связи между ними минимальны и стандартизованы по функциональному назначению. Большое значение имеет стандартизация информационных и управляющих связей между вычислительными устройствами и всеми внешними устройствами машины.

На стадии разработки принципиальных схем устройств важную роль играет стандартизация схемных решений — использование типовых вариантов регистров, сумматоров, счетчиков и т.д. Это позволяет ускорить изготовление документации, сократить время наладки опытного образца, упростить корректировку документации.

На стадии разработки конструкции устройств машины основной целью является унификация конструктивных решений различных устройств. Это приводит к уменьшению времени разработки документации и сокращению её количества. Разумное заимствование конструктивных элементов ранее разработанных машин также сокращает сроки проектирования.

Разработка монтажной документации является весьма трудоемким процессом. Результаты работ [2], [5], появившихся в последние годы, позволяют значительно ускорить составление монтажной документации с помощью ЭВМ.

Из остальных стадий технического проектирования наиболее трудоемкой является разработка средств математического обеспечения, включающего программы контроля, обслуживания внешних устройств и трансляторы различных типов.

Разработка средств математического обеспечения проектируемой машины, как правило, длится годами и значительно отстает от разработки самой машины. В связи с этим должен быть рассмотрен вопрос о необходимости введения для проектируемой машины новой системы команд. Максимальная степень программной совместимости новой ЭВМ с предыдущей экономит при

разработке значительные средства, исчисляемые сотнями тысяч рублей. Проектирование новых ЭВМ с учетом сохранения существующего математического обеспечения широко развито как за рубежом, так и в СССР.

Большое значение для сокращения сроков технического проектирования в целом имеет правильная организация и координация работ отдельных групп. Планирование работ с помощью системы "PERT" и разработка единой методики проектирования являются путями совершенствования процесса проектирования ЭВМ и сокращения его сроков и стоимости.

Этап серийного производства.
Этап серийного производства представляет собой производственный цикл, необходимый для изготовления, наладки и пуска ЭВМ в эксплуатацию.

Задачей этапа является изготовление ЭВМ в установленные сроки при минимальных затратах.

Процесс изготовления ЭВМ разбивается на следующие стадии:

1. Изготовление деталей.
2. Сборка (механическая) узлов.
3. Электрический монтаж устройств.
4. Наладка и регулировка машины в целом (включая пуск машины у потребителя).

Изготовление деталей при производстве ЭВМ малого класса производится партиями. Стоимость детали зависит от величины партии и снижается при увеличении партии. Технологические приспособления и автоматизация производства деталей оправдывается только при определенной величине партии. Практически при современном производстве ЭВМ автоматизируется производство только самых массовых деталей — крепежа, пластмассовых деталей, логических элементов. Между тем принципиально возможны автоматизация или конвейеризация первых трех стадий производства, включая электрический монтаж.

Основными предпосылками широкого применения механизированных и автоматизированных производственных процессов являются:

- 1) возможно большая применяемость деталей;
- 2) максимальная унификация и сокращение номенклатуры деталей;
- 3) соответствующая конструктивная проработка (отсутствие громоздких, тяжелых, нетехнологических деталей);

4) длительный срок пребывания машины в производстве при ручном изготовлении.

Четвертая стадия этапа производства — наладка, регулировка и контрольные испытания требуют участия большого количества специалистов высокой квалификации. Затраты труда на наладку машины "Минск-2" составляют около 20%, а для машины "Минск-22" — до 30% от общих затрат труда.

Для сокращения затрат труда на наладочные работы необходимо:

- 1) иметь элементы, схемы и устройства с параметрами лучшими тех, что заданы в технологических условиях;
- 2) свести к минимуму брак продукции, поступающей из сборочных цехов;
- 3) вести параллельную наладку и регулировку устройств;
- 4) устранить факторы (высокие напряжения, шумящие устройства), затрудняющие наладку;
- 5) тщательно проработать конструкцию (малые габариты, доступность и легкую заменяемость узлов), необходимую индикацию;
- 6) иметь тщательно продуманную и наглядную техническую документацию машины.

Большое значение для этапа серийного производства в целом имеет правильная организация планирования производства и диспетчеризация, позволяющие достичь ритмичности выпуска ЭВМ и тем самым снизить стоимость и повысить их качество. Существует несколько различных систем планирования, однако для нормального функционирования каждой из них необходима унификация деталей и узлов и сведение к минимуму количества изменений документации, находящейся в производстве. Это в свою очередь требует отработки документации во время проектирования.

Этап эксплуатации машины. Учет специфики эксплуатации имеет наиболее важное значение при выборе типа ЭВМ. Последний определяется производительностью, стоимостью, надежностью, составом внешнего оборудования и возможностью его наращивания, средствами математического обеспечения.

Наилучшей с точки зрения потребителя является машина, имеющая производительность, достаточную для решения предполагаемых задач при минимальных эксплуатационных расходах. Поскольку в эксплуатационные расходы помимо амортизационных отчислений от стоимости машины входит заработная плата обслуживающего персонала, то они в известной мере отражают надежность

машины и качество средств математического обеспечения. Эксплуатационные расходы, затрачиваемые в течение всего срока эксплуатации, намного превышают первоначальную стоимость ЭВМ. Следовательно, при проектировании ЭВМ необходимы учет и минимизация всего комплекса эксплуатационных расходов.

Важной характеристикой ЭВМ является её эксплуатационная надежность. Если ЭВМ используем для непосредственного управления производственными процессами, то наиболее важную роль играет надежность машины, так как выход её из строя приводит к нарушению производственного процесса и к издержкам производства или, по меньшей мере, к невозвратимой потере поступающей в машину информации. Эти издержки иногда могут намного превышать стоимость ЭВМ. В случае использования ЭВМ для обработки информации научно-технического и экономического характера, когда кратковременный выход машины из строя обычно требует повторного решения задачи или её части, надежность ЭВМ будет играть меньшую роль, поскольку выход машины из строя приводит лишь к некоторому снижению экономического эффекта от решаемых задач и повышению эксплуатационных расходов.

Чем менее надежна машина, тем выше расходы на содержание обслуживающего персонала и на ремонт оборудования. Следовательно, повышение надежности машины — путь к снижению расходов при её эксплуатации. Определение экономически обоснованного уровня надежности возможно с помощью минимизации затрат, необходимых на разработку, изготовление и эксплуатацию ЭВМ в течение её срока службы [6].

Важными, с точки зрения потребителя, свойствами ЭВМ являются возможность агрегатирования машины (т.е. произвольной компоновки её из отдельных устройств) и способность увеличивать её производительность при подключении дополнительных устройств. Каждое предприятие или учреждение к моменту покупки машины имеет готовым определенный комплекс задач, который и определяет класс машины, приобретаемой для его решения. Однако за несколько лет эксплуатации машины объем задач, решаемых на ней, как правило, значительно увеличивается, и этот рост далеко не всегда может быть оценен заранее с достаточной точностью. Экономически невыгодно выбирать машину, ориентируясь на объем задач, который предстоит решать через несколько лет. Такая купленная с "запасом" машина в течение первых лет, когда загрузка её неполная, может даже приносить убытки, во всяком

случае эксплуатационные расходы могут быть неоправданно велики. С другой стороны, при выборе машины потребитель должен учитывать, что если она со временем станет для него мала, то её замена снова потребует больших затрат и увеличение периода освоения, т.е. перерыва в решении задач.

Агрегатирование машины обеспечивает потребителю выбор наиболее экономичного начального комплекта и возможность его дополнения в дальнейшем при возрастании комплекса решаемых задач по количеству и объему.

Способность машины в какой-то степени расти вместе с ростом объема задач даёт потребителю большую экономическую выгоду, так как позволяет сократить расходы на покупку новой, более производительной машины и на перепрограммирование задач.

Важными требованиями, которые потребитель предъявляет к машине, являются: небольшие габариты машины, отсутствие шумов, радиопомех, сложной системы вентиляции, удобства манипулирования на пультах устройств, заправки и смены перфолент, магнитных лент, перфокарт и бумаги печатающих устройств.

Существенное значение для потребителя имеет внешний вид машины, который должен отвечать современным требованиям промышленной эстетики.

В основу проектирования серийных машин малого класса должны быть положены принципы: 1) однородность, 2) доступность, 3) автономность, 4) преемственность, 5) наращиваемость. Соблюдение этих принципов позволяет сократить затраты труда при проектировании, получить технологичную в производстве конструкцию машины, снизить эксплуатационные затраты.

Указанные принципы были практически проверены на опыте проектирования машин "Минск-2" и "Минск-22".

Рассмотрим подробнее содержание каждого принципа и значение его на различных стадиях проектирования, производства и эксплуатации ЭВМ.

О д н о р о д н о с т ь. Практически однородность машины может быть достигнута следующими путями:

- 1) максимальной унификацией конструктивных узлов машины и сведением к минимуму их разновидностей;
- 2) сведением к минимуму количества различных типов комплектующих изделий, проводов, материалов;
- 3) максимальным применением в электрических схемах типовых решений;

4) максимальным единообразием временных диаграмм выполнения различных операций;

5) максимальной унификацией величин электрических сигналов и номиналов источников питания;

6) унификацией и стандартизацией графического начертания схем и терминологии в текстовой технической документации;

7) сведением к минимуму действий оператора при работе за пультом управления;

8) однотипным использованием команд и приёмов программирования в программах математического обеспечения.

Соблюдение принципа однородности приводит к сокращению труда и экономии средств в процессе разработки. Действительно, минимальное количество типов покупных изделий и конструктивных решений (шкафов, панелей, блоков питания, ячеек и т.д.) сокращает сроки и средства на разработку документации и изготовление опытного образца. Сокращение количества типов элементов ЭВМ и унификация их входных, выходных сигналов, нагрузочных характеристик дает возможность более тщательно вести разработку элементов и типовых схемных решений. Это повышает надежность, сокращает время изготовления документации, уменьшает количество логических, электрических и монтажных ошибок.

Соблюдение принципа однородности приводит к сокращению времени наладки и испытаний опытного образца. Однородность математического обеспечения приводит к снижению затрат, необходимых для его разработки как за счет уменьшения числа разработчиков, так и за счет снижения требований к их квалификации.

Соблюдение принципа однородности в проектировании для производства означает:

1) более благоприятные условия снабжения вследствие малого количества типов комплектующих изделий;

2) более благоприятные условия хранения, коррекции и размножения документов;

3) повышение технологичности машины: уменьшение номенклатуры деталей требует уменьшения затрат на разработку и изготовление технических приспособлений (оснастки);

4) сокращение трудоемкости производственного планирования, учета, диспетчеризации, сокращение времени на наладку машины и повышение её качества за счет небольшой номенклатуры элементов и узлов ЭВМ;

5) благоприятные условия для внедрения поточных линий и конвейеров за счет уменьшения количества различных узлов

и их большой серийности.

6) сокращение стоимости и номенклатуры запасных изделий и приборов (ЗИП), благодаря унификации элементов и узлов.

Соблюдение принципа однородности при проектировании для потребителя означает:

1) высокую ремонтпригодность машины;

2) быстрое освоение машины обслуживающим персоналом;

3) уменьшение числа обслуживающего персонала и сокращения расходов на покупку ЗИП.

Имеются попытки оценить однородность ЭВМ количественным способом с помощью коэффициентов унификации. Количественная оценка конструктивной унификации широко используется в машиностроении в виде коэффициента применяемости, представляющего собой частное от деления количества унифицированных деталей на общее количество деталей в машине. Однако количественная оценка однородности ЭВМ в целом еще не имеет общепринятого выражения.

Следует отметить, что применение принципа однородности может приводить к некоторому увеличению количества оборудования в машине.

Доступность требует, чтобы в конструкции ЭВМ отсутствовали дефицитные комплектующие изделия, при изготовлении не применялись редкие и дорогостоящие технологические процессы.

Наличие в конструкции машины дефицитных компонентов не только срывает программу завода-изготовителя, но и вызывает длительные простои машины у потребителя.

Обычно дефицитными бывают новые, наиболее современные радиокомпоненты, не освоенные еще массовым производством. Дефицитность таких компонентов, как правило, сопровождается высокими ценами, и использование их приводит к увеличению стоимости машины. Принцип доступности требует, чтобы уже к моменту окончания разработки и началу серийного производства малой машины был проведен тщательный анализ степени дефицитности новых компонентов. Наиболее надежным в этом случае будет отказ от применения в малой ЭВМ новых компонентов, которые еще не освоены в массовом производстве. Хотя такой отказ от применения наиболее современных компонентов и приводит к некоторому ухудшению параметров машины, однако он позволяет создать наиболее удачную модель массовой машины. Примером реа-

лизации принципа доступности являются машины "Минск-2" и "Минск-22", не имеющие дефицитных компонентов и быстро осво-енные производством и потребителем.

Принцип доступности распространяется также и на техно-логические процессы. Соблюдение этого принципа не требует ред-ких и неосвоенных технологических процессов. Наиболее полно реализуется принцип доступности тогда, когда организация про-ектирует машину для определенного завода-изготовителя с уче-том технологического уровня и оборудования последнего. В этом случае можно согласовать реальные возможности завода-изготовителя со стремлением разработчика использовать новые технологические процессы. Тогда значительная часть новых тех-нологических процессов может быть освоена одновременно с разработкой машины и не будет представлять трудностей к нача-лу серийного производства.

Принцип доступности распространяется на конструкцию маши-ны и её техническую документацию. При этом требуется простота логики, четкость технического описания, хорошая постановка си-стемы обучения, что делает машину доступной для технической эксплуатации специалистами средней квалификации.

Простота системы команд и наличие средств математического обеспечения обуславливают доступность машины программистам средней квалификации и широкому кругу работников различных специальностей, использующих в работе вычислительную машину.

А в т о н о м н о с т ь. При агрегатной конструкции, вы-полненной с соблюдением принципа автономности, машина расчле-няется на ряд устройств, имеющих наибольшую самостоятельность и минимальное количество связей с другими устройствами, к каж-дому такому устройству прилагается отдельный закон-ный комплект технической документации. Принцип автономности поз-воляет наиболее четко сформулировать технические требования к отдельным устройствам и осуществить их параллельную разработку и наладку вплоть до этапа комплексной наладки опытного образца. На этапе проектирования машины это даёт следующие преимущества:

1) сокращаются сроки проектирования машины, изготовления, наладки и испытаний опытного образца, корректировки документа-ции;

2) упрощается координация работ по проектированию;

3) имеется возможность использования отдельных устройств в дальнейших разработках без изменения документации.

Соблюдение принципа автономности в разработке машины обес-печивает:

1. широкую маневренность при планировании выпуска машин (часть устройств может быть передана для производства на дру-гие предприятия);

2) возможность параллельной автономной наладки и испыта-ний устройств;

3) сокращение времени комплексной наладки, благодаря пре-дварительно проделанной автономной наладке;

4) возможность полной или частичной модернизации отдель-ных устройств, не изменяя документации машины в целом.

Необходимо отметить, что соблюдение принципа автономности приводит к некоторому возрастанию оборудования и соответствен-но затратам на него. Однако, как показал опыт проектирования машины "Минск- 2", это компенсируется снижением затрат труда на изготовление и наладку и практически не приводит к увели-чению стоимости машины.

Для потребителя соблюдение принципа автономности даёт следующие преимущества:

1. Возможен оптимальный выбор начального комплекта машины и его расширение по мере необходимости.

2. Сокращается время профилактических работ (профилактика может производиться параллельно на устройствах, имеющих авто-номный режим работы).

3. Возможна замена некоторых устройств (например, устрой-ства печати, ввода перфокарт и т.д.) на более совершенные.

П р е е м с т в е н н о с т ь. Конструктивная преимест-венность новой машины сокращает не только сроки разработок, но и сроки освоения машины в серийном производстве. Преимст-венность логической структуры машины облегчает освоение её в производстве и у потребителя.

Характерно, что наиболее мощные зарубежные фирмы широко используют принцип преемственности. Так, американская фирма IBM, выпустившая к настоящему времени 28 моделей машин, в ос-новном развивала несколько базовых логических структур, родо-начальниками которых являются машины IBM 650, IBM 704, IBM 705. Характерно также, что смена технологической базы при переходе на полупроводники проходила при сохранении логической струк-туры ранее выпускавшихся ламповых машин.

С точки зрения математического обеспечения принцип преем-ственности означает совместимость новой машины со старой. По-

скольку еще не найдены эффективные методы построения "многоязыковых" машин, т.е. машин, имеющих возможность работать с произвольной системой команд, логическая совместимость является единственным средством сохранения математического обеспечения. В этих условиях можно считать, что разработка логических структур машин является второстепенной задачей по сравнению с разработкой и широким внедрением средств математического обеспечения.

Н а р а щ и в а е м о с т ь. Этот принцип имеет основное значение для потребителя на этапе эксплуатации ЭМ. Частично рост производительности достигается увеличением ёмкости накопителей машины, особенно увеличением ёмкости оперативного накопителя. В сочетании с принципом автономности данный принцип предусматривает не только расширение состава устройств, но и замену некоторых из них более производительными. В некоторых моделях зарубежных машин наращивается быстродействие вычислителя. Так, в машине IBM-1401 можно подключать дополнительное оборудование для ускорения умножения, сравнения, редактирования, оборудования для индекс-регистров и т.д. Все это безусловно даёт возможность повышать производительность системы. В серии машин GE-400 фирмы "General Electric" при переходе от одной модели к другой производительность увеличивается на 80%. Здесь простым добавлением оборудования осуществляется принцип наращиваемости. В условиях аренды машины получение более производительной модели возможно не только подключением дополнительного оборудования, но и заменой более производительной машиной, совместимой по системе команд. На такой основе осуществляется принцип наращиваемости IBM-360 и Spectra-70. Характерно, что этот принцип уже давно стал за рубежом основным принципом проектирования.

Одним из способов обеспечения принципа наращиваемости для малых машин является включение в состав машин аппаратуры связи для двухстороннего обмена информацией с аналогичной машиной. Это даёт возможность потребителю с помощью второй машины и их параллельной работы [7] наращивать производительность системы. Как правило, организация вычислительной системы является более выгодной, чем приобретение более производительной машины другой марки. Действительно, в этом случае отпадает необходимость перепрограммирования задач и переподготовки обслуживающего персонала, а стоимость нескольких малых машин может быть существенно меньше, чем машины среднего класса.

В ы в о д ы

1. На основе анализа этапов технического проектирования, серийного производства и эксплуатации ЭМ сформулированы основные принципы технического проектирования малых машин.
2. Правильность принципов проектирования подтверждена опытом разработки серийных ЭМ "Минск-2" и "Минск-22".

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Computers and Automation. Jan. 1965, p.52-53.
2. Ю.Н. Глухов. Синтез соединений и составление таблиц проводов с помощью цифровых вычислительных машин. - Вопросы радиоэлектроники, 1965г, серия УП, вып.8, стр. 38-48.
3. Р.И. Олейник. Применение универсальной цифровой вычислительной машины для автоматизации составления принципиально-монтажных схем. - Вопросы радиоэлектроники, 1965, серия УП, вып.8, стр.17-37.
4. G. Funk, H. Cörling. Über Funktionssimulation und automatische Erstellung von Verdrahtungslisten von Schaltnetzwerken. "Elektronische Rechenanlagen", 1962, n.1, s.14-21.
5. G.W. Altman, L.A. De Campo, C.R. Warburton. Automation of Computer Panel Wiring. "Communication and Electronics" N 48, 1960, p.118-125.
6. Н.Ф. Воллернер. О технико-экономически целесообразном уровне надежности. - Радиотехника, 1965, т.20, № 5, стр. 60-65.
7. Э.В. Евреинов, Г.П. Лопато. Универсальная вычислительная система "Минск-222" (Данный сборник, стр.13-20).

Поступила в редакцию
22.IV.1966 г.