

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫМИ РАЗРАБОТКАМИ

В.Л. Дятлов, Л.С. Мещанинов

Проблема создания вычислительных систем (ВС) высокой производительности [1] требует особого внимания к методам управления и планирования научно-исследовательских работ.

Разработка ВС включает в себя большое число самых разнообразных технических и научных проблем, которые теснейшим образом связаны между собой. В этом отношении разработка ВС принадлежит к разряду сложных систем (СС) [2].

Задержка в разработке одной из проблем сверх установленного срока вызывает задержку в разработке системы в целом. Поэтому планы разработки как всей проблемы, так и отдельных её разделов должны быть строго согласованы во времени.

Существующие ныне методы управления и планирования научными разработками не удовлетворяют указанным выше требованиям, так как они сводятся в основном к составлению плана и к разработке обычного временного графика выполнения этого плана (графика Ганта) и обладают следующими недостатками:

- 1) практически не используют эффективных приемов для согласования работ отдельных подразделений;
- 2) не позволяют заблаговременно выделить напряженные участки работ, а тем более участки с потенциальными затруднениями;
- 3) не дают каких-либо более или менее объективных расчё-

тов и нормативов для установления сроков окончания разработок.

Все эти недостатки в планировании приводят к отрицательным последствиям в работе: дублированию, открытым и скрытым резервам на наиболее сложных и ответственных участках, излишним штатам научных сотрудников и т.д. Трудности в согласовании и в корректировке планов работ отдельных лабораторий, групп и т.д. неизбежно приводят к утере оперативности в работе обслуживающих подразделений, работа не носит ритмичного характера, окончание работ в срок зачастую достигается ценой больших излишних затрат. Действующие методы управления и планирования, наконец, не создают у руководителей уверенности в том, что данная научная разработка при достигнутом темпе работ может быть закончена в приемлемые сроки.

Все это приводит к тому, что сложные научные разработки практически становятся малоуправляемыми. Этот недостаток на практике пытаются решить усилением централизации руководства разработками, что, конечно, не является выходом из положения.

Планирование научных разработок в настоящее время далеко от того, чтобы называть его научным. Научное планирование связано прежде всего с научным предвидением, которое по природе своей содержит элемент неопределенности. Поэтому в планировании должны широко использоваться вероятностные оценки. Между тем сейчас при планировании научных разработок вероятностные методы вообще не используются.

Непригодность существующих приемов для управления и планирования крупных современных научных разработок заставляет искать новые методы, использующие математический подход к ЭВМ. Новые методы усиленно разрабатываются, особенно в последнее время, как в Советском Союзе, так и за рубежом. В США находят широкое распространение методы, которые известны под названием системы "PERT" и её разновидностей.

Первоначально система "PERT" была создана как система "PERT-TIME", т.е. она учитывала только время и не касалась ресурсов. Далее появилась система "PERT-COST", которая наряду со временем учитывала и затраты. Затем появился целый ряд разновидностей этих систем в основном для каких-либо специальных целей (например, для расчёта надёжности).

В США и Англии автоматизированные системы применяются в большей степени как системы именно управления. Следует сказать, что в социалистических странах автоматизированные системы управления и планирования могут использоваться не только

для отдельных разработок, но также для мероприятий, проводимых в общегосударственном масштабе. В СССР имеются широкие возможности применить эти системы в планировании народного хозяйства и тесно соединить их с методами оптимизации развития хозяйства.

В Советском Союзе автоматизированные системы управления и планирования представляют интерес прежде всего как системы оптимального управления и оптимального планирования.

В Институте математики СО АН СССР с помощью лабораторий экономико-математических исследований (ЛЭМИ) Института экономики СО АН СССР и Новосибирского университета с середины 1963 года начата работа по внедрению автоматизированной системы управления и планирования научными разработками, аналогичной системе "PERT-TIME"

Поскольку эта работа является одной из первых попыток применения указанной системы в научных разработках у нас в стране и, учитывая большой интерес к этой проблеме, авторы считают необходимым поделиться некоторым опытом, обратив особое внимание на некоторые практические детали, не нашедшие отражения в литературе.

Сущность новой автоматизированной системы заключается в следующем. Весь процесс создания разработки разбивается на отдельные работы, объединяемые какими-то общими признаками. Определяется длительность каждой работы и составляется сетевой график работ, которые располагаются в той последовательности, в какой их предстоит выполнять. Работы отделяются друг от друга определенными событиями. Событие фиксирует завершение предшествующей работы и начало последующей работы. Само событие длительности во времени не имеет. Например, работа "испытание образцов" заканчивается событием "образцы испытаны".

Все события определенным образом кодируются и вводятся в электронную машину. ЭВМ прежде всего определяет ту последовательность работ, которая характеризуется наибольшей длительностью. Такая последовательность работ называется "критическим путем". Понятно, что длительность критического пути означает длительность всей разработки.

Определив работы, лежащие на критическом пути, руководство разработкой принимает меры к сокращению длительности этих работ. После известного сокращения длительности работ данная последовательность работ перестаёт быть критической, т.е. она

становится менее продолжительной, чем какие-то другие. Тогда снова отыскивают на ЭВМ критический путь и снова принимают меры по сокращению сроков работ на этом пути. И так весь процесс повторяется.

Кроме этого, ЭВМ отыскивает также подкритические и неапрямые последовательности работ, с которых на определенное время могут быть отвлечены люди и средства для ускорения работ, лежащих на критическом пути. ЭВМ рассчитывает также вероятностные оценки завершения всей разработки в заданный срок. Таким образом, автоматизированная система позволяет каждый раз находить те участки, от которых зависит длительность всей разработки.

Весь процесс разработки и внедрения автоматизированной системы управления и планирования разделяется на два цикла: цикл планирования системы и цикл управления.

Цикл планирования системы охватывает все работы до момента ввода системы в действие. Он состоит из ряда элементов:

- а) определения структуры разработки;
- б) разработки сетевых графиков отдельных частей системы;
- в) временной оценки работ;
- г) разработки форм входящей и исходящей информации для

ЭВМ;

- д) составления ("сшивания") общей сети.

Цикл управления охватывает все работы с момента ввода системы в действие и состоит из следующих элементов:

- а) расчёта критического пути;
- б) анализа сети;
- в) разработки мероприятий по сокращению критического пути;
- г) "проигрывания" на ЭВМ предлагаемых мероприятий по сокращению критического пути;
- д) обеспечения периодической отчетности ответственных исполнителей.

Автоматизированная система позволяет значительно ускорить сроки разработок. Руководство разработкой получает возможность сконцентрировать свое внимание на критическом пути, т.е. там, где это в каждый момент более необходимо.

Весь огромный поток первичной информации обрабатывается на ЭВМ и руководство разработкой получает возможность каждый раз принимать решения, основываясь на мнении всех ответственных исполнителей, а не ограниченного круга руководящих работников.

Подробнее о применении метода критического пути в управлении сложными разработками сказано в статье Ю.А. Авдеева и А.П. Николаевой, помещенной в настоящем сборнике.

Следует иметь в виду, что до сих пор в СССР нет сколько-нибудь значительного опыта по внедрению подобных систем. В то же время в американской литературе описание подобных систем носит больше рекламный характер, чем научный, не освещая целого ряда существенных моментов, без которых практическое внедрение автоматизированной системы управления и планирования невозможно.

Поэтому работа по этой проблеме, начатая в ИМ, проводится в порядке научного эксперимента с одновременной разработкой и уточнением целого ряда элементов автоматизированной системы управления и планирования.

Работа началась с того, что силами сотрудников ЛЭМИ ИЭ для руководителей отделов, лабораторий и тематических групп в ИМ было проведено несколько лекций и практических занятий, на которых слушатели познакомились с общими принципами автоматизированной системы управления и с разработкой сети на условных примерах. Затем была создана комиссия по внедрению новой системы в работу отделения. В эту комиссию вошли представители руководства и общественности отделения, а также представители ЛЭМИ ИЭ. Комиссия возглавила всю работу по разработке и внедрению автоматизированной системы управления и планирования.

Первоначально новую систему предполагалось внедрить для одной из ведущих тем отделения. В процессе работы над автоматизированной системой управления по исследуемой проблеме становилось всё более очевидным необходимость внедрения системы во всем отделении, так как эта тема тесно связана с другими темами отделения. Было выделено небольшое число крупных тем. Взаимосвязь же тем, которая осуществляется в основном по обслуживающим подразделениям, устанавливается путем собрания и анализа информации в последних (обслуживающие группы по частям участвуют в ряде тем).

Была принята специальная форма установления взаимосвязей по темам между группами. По каждой группе систематизируется информация по связям. Составляется документ, который передается в соответствующую соседнюю группу, где он обсуждается и в результате обсуждений принимаются или не принимаются те или иные предложения.

Затем работу по собиранию и систематизации информации по каждой теме взял один из членов комиссии.

Контроль за ведением переговоров осуществляет комиссия. Таким образом, роль комиссии стала заключаться не только в руководстве и координации работами по внедрению автоматизированной системы, но и в согласовании соответствующих вопросов с администрацией, а также контроле за ходом обсуждения вносимых предложений.

Была определена подробная структура темы, или "дерево" разработки. Здесь сразу возник вопрос о том, насколько подробно необходимо дробить тему. (В американской литературе об этом не упоминается). После подготовки и детального изучения нескольких вариантов структуры разработки был принят вариант, в котором крайние элементы структуры представляют собой относительно несложные элементы, каждый из которых разрабатывается сравнительно небольшой группой сотрудников (3-6 чел.). При этом над созданием каждого такого элемента может работать не одна группа, а несколько групп в определенной последовательности.

При разработке сетевых графиков для отдельных частей темы возник вопрос о том, что понимать под "работой". В американской литературе "работа" определена как процесс, обладающий определенным технологическим и организационным единством. Такое определение мало чем помогает практическому выделению отдельных работ.

Сначала подход к определению "работы" определялся чисто логически. Общий срок разработки темы предположительно должен был составить 2 - 2,5 года. Исходя из этого срока, было найдено, что наиболее целесообразной периодичностью в подаче отчетов должно быть 2 недели, а периодичностью пересмотра всей системы - три месяца.

Поэтому нецелесообразно иметь в сети работы, продолжительность которых меньше одной недели. Максимальная длительность "работы" была первоначально установлена в пределах генерального пересмотра сети, т.е. 10-12 недель.

Таким образом, "работа" была определена как более или менее однородный процесс, длительность которого не выходит за пределы 1 - 10 недель. Если процесс продолжается более 10 недель, его дробили на несколько работ, если - менее одной недели, их сливали в единую работу. Например, по одной из групп максимальная длительность планируемой работы - "изготов-

ление элемента с заранее заданными характеристиками" - 4 - 6 - 10 недель, минимальная длительность - "наладка установки" - 1-1,5-2 недели.

Событие формулировалось либо как момент окончания предшествующей работы, либо как момент начала последующей работы. Например: "проведены испытания полученных элементов" или "обсуждены результаты экспериментов и сделан выбор пути дальнейших работ".

Все события и работы заносились на карточки (формы карточек структуры разработки, работ и событий приведены на рис. 2,3 и 4). Для ускорения работы в группах были напечатаны в достаточном количестве бланки карточек работ и карточек событий.

Очень сложная работа - определить три временные оценки работ: минимальную, оптимальную и максимальную. Для работ, которые предстоит выполнять в ближайшее время, имеется какая-то определенность. Но очень трудно определить срок для работ, которые предстоит выполнить через полгода и более. Возник практический вопрос: как определить срок окончания работы, если группа осуществляя несколько работ параллельно, может выполнять их последовательно?

Было решено оценивать время выполнения работ так, как если бы каждую работу нужно было выполнять отдельно, независимо от выполнения других работ. В дальнейшем такая оценка требует известных уточнений.

В ходе разработки сетевых графиков по группам выявилось три вида сетей. Для групп, создающих элементы, графики имеют вид "пауков", т.е. имеют короткую сеть с очень большим количеством связей и разрывов (рис. 5). Для электронных групп графики имеют более простой вид с меньшим количеством промежуточных связей и разрывов (рис. 6). Наконец, для обслуживающих групп графики имеют вид разорванных цепей (рис. 7).

Необходимо также наглядное представление результатов работы по составлению схем работ - событий, которое осуществляется с помощью стендов. Стенд сделан из плотной фанеры и досок и обклеен плотной бумагой. Площадь стенда 1,5 x 3 кв.метра. События изображаются небольшими кружками разноцветной бумаги, работы - плоскими полихлорвиниловой изоляции, одна из поверхностей которых покрыта клеем. Поэтому без применения каких-либо дополнительных крепежных материалов можно прикреплять на стенде все компоненты и сравнительно быстро вносить

необходимые изменения. Вид стенда с незаконченными схемами событий — работ изображен на фото (рис. 8).

Особенно наглядна работа на стенде получается с помощью индикации выполненных и невыполненных работ, критического пути и т.д. Работа на стенде позволяет наглядно выявить различные формальные несоответствия, а также представить объем проделанной работы.

Уже сейчас можно отметить ряд положительных моментов по внедрению автоматизированной системы в отделении. Прежде всего в составлении модели для новой системы управления и планирования участвует по существу весь коллектив отделения. Несмотря на то, что ответственность за планы несут руководители групп, лабораторий и т.д., они широко используют опыт своих сотрудников при планировании. Это в значительной мере способствует как улучшению качества собираемой информации, так и определяет положительное отношение к внедряемой системе подавляющего большинства сотрудников. С другой стороны, каждый сотрудник отделения яснее начинает представлять свое место и свой вклад в процесс разработки.

При внедрении системы выявлен и выявляется ряд недостатков в соответствующей организации работ. Более того, уточняются функции групп, четко выявляется место и роль их в решении общих задач. В целом ряде случаев обнаруживается необходимость в тех или иных частичных перестановках.

В группах планы, как правило, составляются легко. Сложнее составление планов в лабораториях. Однако наибольшие трудности в планировании возникают на стыках лабораторий и групп.

Работа по внедрению системы требует исключительной четкости в постановке задач. При этом, как правило, недостатки в постановке общих задач выявляются в конкретной форме.

В целом работа по внедрению системы требует гораздо больших усилий, чем требовалось раньше при составлении планов. Однако естественность системы, её доступность и простота, понимание ценности проделываемой при её составлении работы способствует её внедрению.

Одной из самых важных особенностей новой системы является то, что она основывается на методике согласования отдельных работ, и эта сторона системы уже полностью окупает затраты на её внедрение.

Новая автоматизированная система управления и планирования может успешно применяться не только в научно-иссле-

тельской работе, но и в других областях. Причем области применения новой системы пока ещё недостаточно изучены. Но уже сейчас можно назвать ряд областей, где эту систему можно внедрить:

1) При разработке новых видов техники (самолетов, станков, тракторов и т.д.).

2) В планировании народного хозяйства, включая планирование материально-технического снабжения, распределение капиталовложений и т.д.

3) При проектировании (как на ранних стадиях формирования идей, так и на стадиях разработки рабочих чертежей и т.д.).

4) При запуске в производство новых видов изделий (как с остановкой производства, так и без остановки). Причем эти изделия не обязательно должны быть сложными и уникальными.

5) В строительстве промышленных объектов и жилых массивов.

6) В освоении проектной мощности новых промышленных предприятий.

7) При капитальном ремонте и реконструкции крупных объектов.

К областям, где применение автоматизированной системы ещё четко не выявлено можно отнести, например такие, как упорядочение зарплаты в общегосударственном масштабе, реорганизация аппарата управления, создание единой сети вычислительных устройств и т.д. Недостаточно выявлены возможности применения новых систем в производстве, особенно с коротким циклом, и вообще в циклически повторяющихся процессах. На первый взгляд в таких процессах как будто нельзя применять автоматизированные системы управления и планирования, но если представить их как оптимальные системы для выполнения годового (или пятилетнего) плана, то так категорически утверждать нельзя. Этот вопрос требует изучения.

Вместе с тем разработка и применение автоматизированных систем управления и планирования требуют решения целого ряда научных проблем. Коротко назовем их.

1. Изучение областей применения систем. Как было указано, эти области недостаточно изучены и дело науки определить их.

2. Учёт особенностей разных областей применения. Сейчас более или менее изучены лишь общие принципы автоматизированных систем и систем

типа "PERT-TIME". Но еще недостаточно изучены особенности применения автоматизированных систем в различных областях деятельности. Это, естественно, задерживает применение таких систем.

Здесь уместно провести аналогию с линейным программированием. В чистом виде задачи линейного программирования почти не применимы для практических нужд производства. В каждом конкретном случае требуются определенные модификации и дополнения другими методами применительно к конкретным условиям задачи. В результате получается очень сильный аппарат для практических расчетов.

Примерно такое же положение и с системами управления. Разные области требуют различных модификаций системы в соответствии с их особенностями.

В научных разработках, например, приходится сталкиваться с такими особенностями, как возможность выбрать среди разных направлений исследования наиболее удачное решение, предвидеть различные исходы исследований, получать и использовать побочные результаты исследования с одной стороны, с другой значительной неопределенностью тех работ, которые предстоит выполнять в будущем, сильной зависимостью разрабатываемых проблем от наличия соответствующих научных кадров и т.д.

Например, для автоматизированной системы управления в строительстве существенное значение имеют следующие особенности: а) широкое использование нормативов для расчета временных оценок, б) ограниченность фронта работ для использования рабочих и механизмов, в) различные проявления целочисленности (формирование и перемещение бригад, наборы оборудования и т.д.), г) широкое использование типовых проектов и т.д.

Все вышеуказанные особенности накладывают отпечаток на конкретное содержание автоматизированной системы управления. Их надо изучать и соответственно модернизировать систему.

3. Д а л ь н е й ш е е с о в е р ш е н с т в о в а н и е а н а л и з а с е т и. Сейчас делаются только первые шаги в анализе сети. Анализировать нужно не только критический путь, но и все ближайшие к нему пути, а также пути, дальше всех отстоящие от критического. Анализ должен проводиться не только по ожидаемой временной оценке работ, но также и по минимальной, максимальной и по дисперсии, иначе невозможно будет определить участки потенциальных затруднений. Определить такие участки значит предупредить возможные срывы в работе.

Большая возможность заложена в сопоставлении изменений временных оценок работ на уже выполненных участках сети и на участках, которые ещё предстоит выполнять. Это сопоставление позволит предвидеть характер изменения временных оценок работ, которые предстоит выполнить.

Области анализа сети изучены недостаточно, здесь очень широкое поле для научных исследований. Например, можно рассчитывать трудоемкость выполнения отдельных тем и, наложив на них календарный график, использовать для планирования набора кадров, для распределения средств между подразделениями, участвующими в разработке и т.д.

4. С о в е р ш е н с т в о в а н и е п р о г р а м м ы д л я Э В М и с а м ы х Э В М. Программы для обработки сети с небольшим числом событий сейчас более или менее отработаны. Но для больших систем предстоит ещё очень много работы по совершенствованию программ. Здесь имеется очень много сложных и интересных научных проблем.

5. С о з д а н и е о п т и м а л ь н ы х с и с т е м у п р а в л е н и я и п л а н и р о в а н и я. Такая проблема является совершенно новой, не разработана в зарубежной, в том числе американской литературе.

Создание оптимальных систем является основным направлением научных исследований в области автоматизированных систем управления и планирования.

Принципиальная возможность создания оптимальных систем управления и планирования представляется вполне реальной.

На первом этапе можно попытаться соединить автоматизированную систему управления типа "PERT-TIME" с решением ряда оптимальных задач по использованию "узких" мест, например, в научно-исследовательской работе при многотемности исследований. Как правило, научно-исследовательские организации ведут работу по многим темам. При этом имеются подразделения (отдел снабжения, конструкторское бюро, экспериментальные мастерские и т.д.), через которые проходят все темы. Такие подразделения часто являются узким местом, и встает задача очередности выполнения отдельных работ. В этом случае можно все темы перевести на автоматизированные системы управления, а на стыках тем решать оптимальные задачи по использованию "узких" мест.

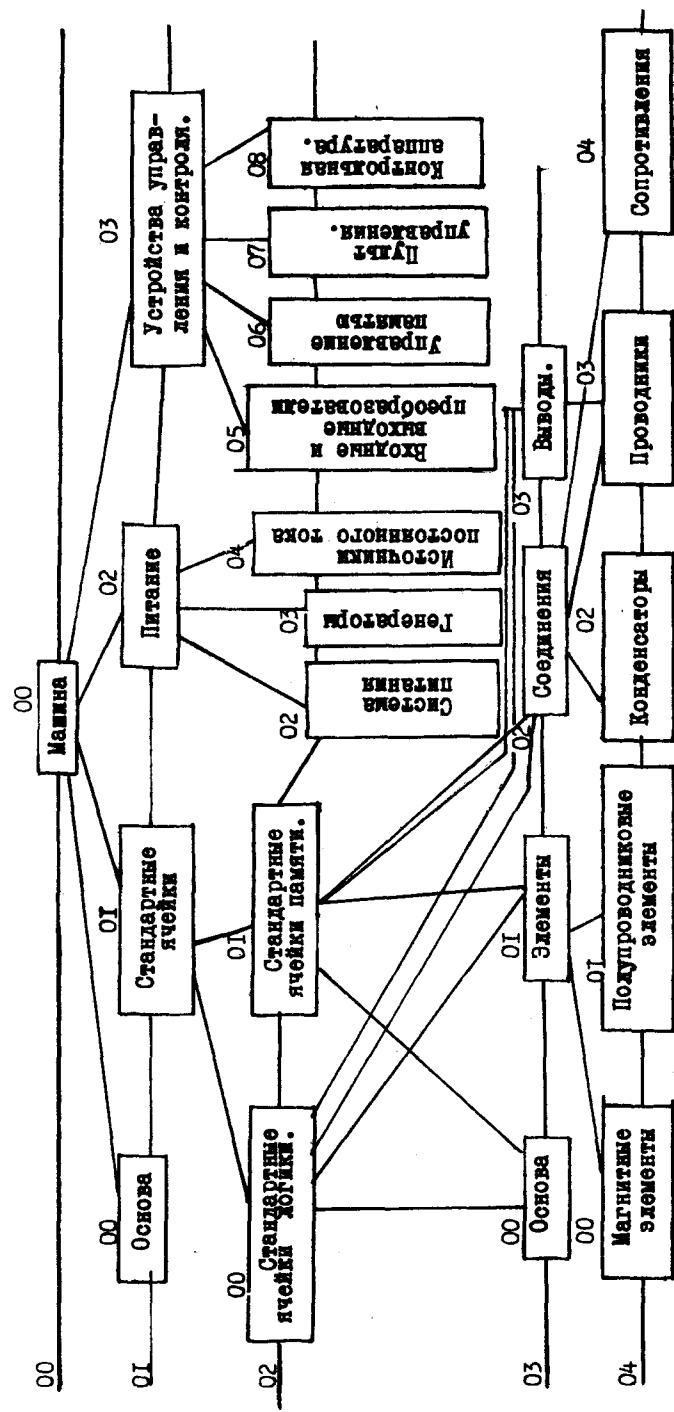
Но ещё больший интерес представляет такая система, где сама сеть должна разрабатываться оптимально.

Возможность разработки такой системы для научно-исследова-

тельских работ требует значительных дополнительных исследований. В таких же областях деятельность, как проектно-конструкторские работы, возможность автоматизации простирается довольно широко.

### Л и т е р а т у р а

1. Евреинов Э.В., Косарев Ю.Г. О возможности построения вычислительных систем высокой производительности. СО АН СССР. Новосибирск, второе издание, 1963.
2. Евреинов Э.В., Косарев Ю.Г. О методике разработки вычислительной системы. Сб. трудов ИМ СО АН СССР "Вычислительные системы", вып. 6, Новосибирск, 1963.
3. Библиография по системе " " (настоящий сборник).



Р и с. 1. Структура разработки темы.

Карта структуры разработки

№ ранга	№ части системы в пределах ранга	Описание части системы
0	00	(Краткое описание основных характеристик системы в целом)
I	00	
	01	
	02	
	03	
2	00	
	01	
	02	
	.....	.....
3	00	
	01	
	.....	.....

Рис. 2

КАРТОЧКА РАБОТ \*)

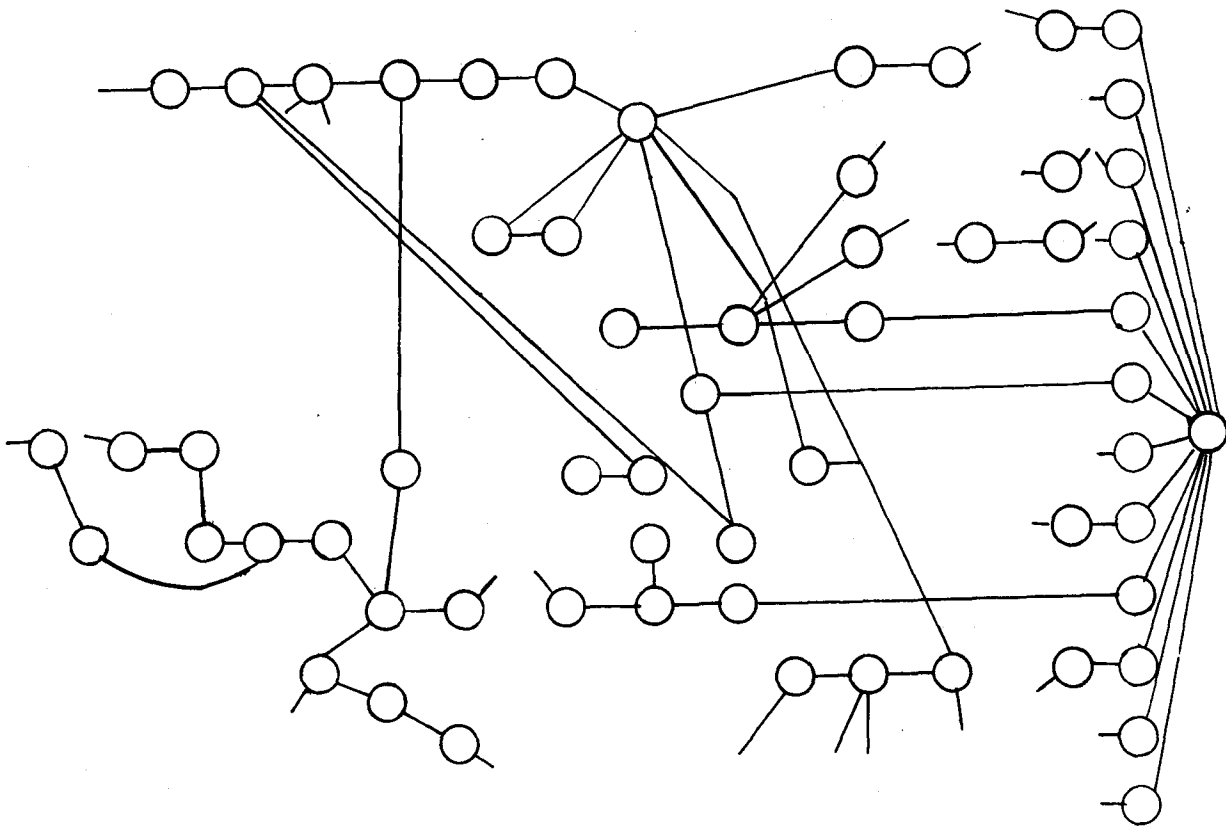
№ ранга - 3 № части системы - 07 (название части)

№ пп	№ предшествующего события	№ последующего события	Временные оценки			Описание работы	Кто исполняет работу (какая группа)
			минимальная	оптимальная	максимальная		
I	3-07-000	3-07-002	2	5	8		группа А
2	3-07-000	3-07-009	3	4	6		лаборатория Б
3	3-07-002	3-09-004	5	7	9		группа А
4	3-07-006	2-04-011	4	6	10		группа А
...	.....	.....	...	...	...	.....	.....

- \*)
1. Карточка составляется для каждой части системы каждого ранга, выделенной в структуре разработки.
  2. Минимальная оценка работы не должна быть менее 1 недели.
  3. Максимальная оценка работы не должна быть более 8-10 недель.

Рис. 3.





Р и с. 5. Схематический вид графика работ-событий технологической группы.

КАРТОЧКИ СОБЫТИЙ \*)

Ранг системы 3

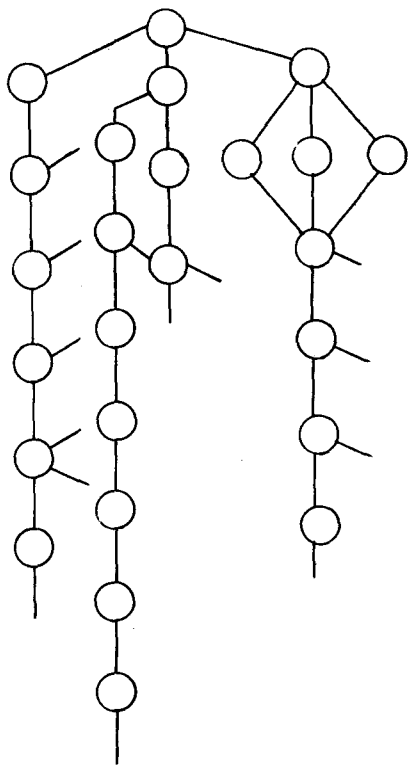
№ части системы 07 (название)

№ пп	№ события	Описание события
1	3-07-001	
2	3-07-002	
3	3-07-003	

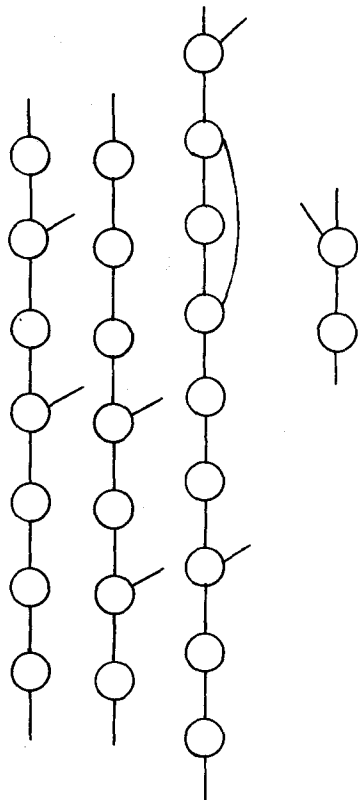
События должны отражать:

1. № ранга, к которому относится данная часть системы.
2. № части системы в пределах ранга.
3. № события в пределах части системы.

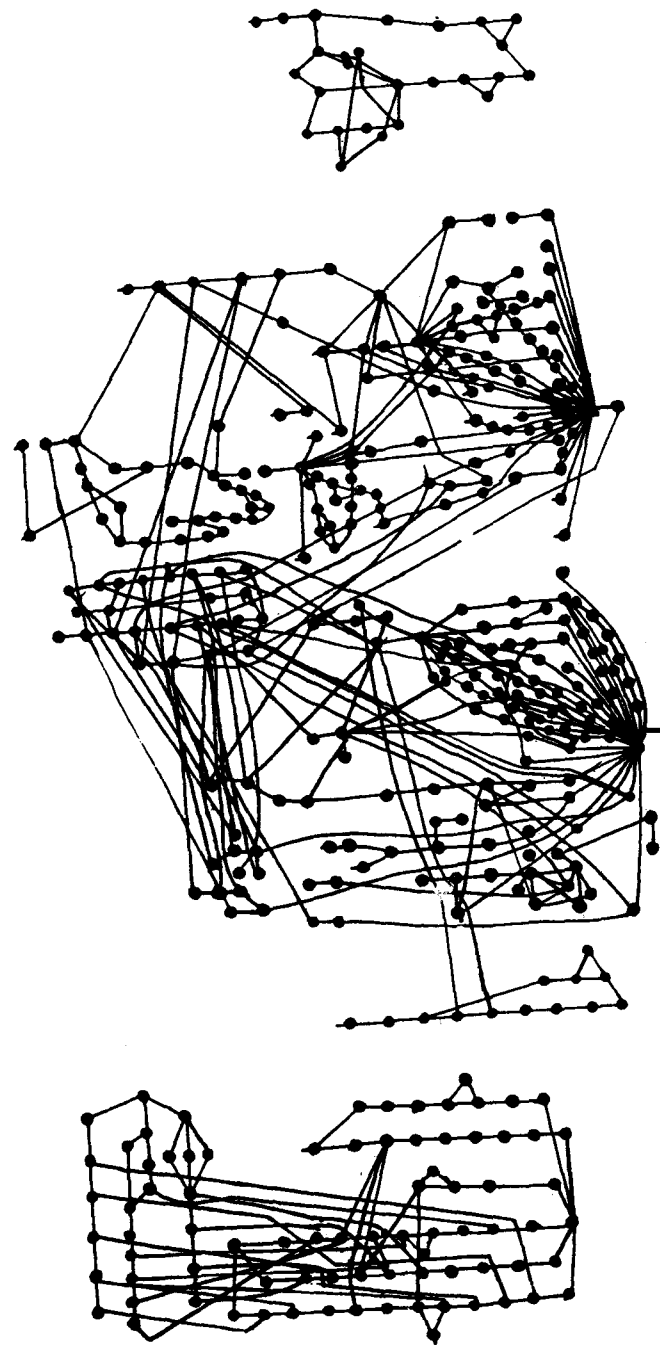
\*) Такая карточка события составляется для каждой части системы каждого ранга, выделенной в схеме структуры разработки.



Р и с.6. Схематический вид  
графика работ - события  
электронной группы.



Р и с.7. Схематический вид  
графиков работ обслужива-  
ющих групп.



Р и с.8.