

*Е. И. Воробьев, А. И. Китов*

# **МЕДИЦИНСКАЯ КИБЕРНЕТИКА**

*Е. И. ВОРОБЬЕВ, А. И. КИТОВ*

# МЕДИЦИНСКАЯ КИБЕРНЕТИКА



Москва  
«Радио и связь»  
1983

УДК 002.513.5:681.322

**Воробьев Е. И., Китов А. И.** Медицинская кибернетика. — М.: Радио и связь, 1983. — 240 с, ил.

Описываются основные методы и технические средства прикладной кибернетики и возможности их применения в медицине и здравоохранении. Рассматриваются структура и функции больничной автоматизированной информационной системы, автоматизация обработки данных по учету выписанных из больничных стационаров, по слежению за инфекционной заболеваемостью, в области диагностики и терапии, а также для управления научно-исследовательскими работами. Подробно излагается автоматизированная система накопления и поиска текстовой информации, представленной на нормализованном русском языке (система НОРМИН).

Для научных работников. Может быть полезна специалистам, связанным с применением ЭВМ в медицине.

Табл. 9, рис. 14, библиограф. 41 назв.

Рецензенты: д-р техн. наук профессор **К. В. Тараканов**, д-р мед. наук профессор **А. А. Попов**

#### Редакция литературы по кибернетике и вычислительной технике

ЕВГЕНИИ ИВАНОВИЧ ВОРОБЬЕВ, АНАТОЛИЙ ИВАНОВИЧ КИТОВ

#### МЕДИЦИНСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

Редактор Т. М. Любимова

Художественный редактор Л. Н. Сильянов

Художник В. И. Столяров

Технический редактор К. Г. Игумнова

Корректор Т. Л. Кускова

**ИБ № 529**

Сдано в набор 09.12.82. Подписано в печать 31.03.83. Т-07729  
Формат 60X90/16. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая  
Усл. печ. л. 15,0. Усл. кр.-отг. 15,0. Уч.-изд. л. 19,3. Тираж 4000 экз.  
Изд. № 19640 Зак. № 1320. Цена 2 р. 80 к.  
Издательство «Радио и связь». 101000 Москва, Главпочтамт, а/я 693

Московская типография № 4 Союзполиграфпрома при  
Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.  
Москва, 129041, Б. Переяславская, 46.

4101000000-084  
В ----- 85-83  
046(01)-83

© Издательство «Радио и связь», 1983

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	4
<i>ГЛАВА 1. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ</i> .....	5
1.1. Основные понятия.....	5
1.2. Некоторые примеры применения теории информации.....	10
<i>ГЛАВА 2. КИБЕРНЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ В МЕДИЦИНЕ</i> .....	16
2.1. Научный подход к принятию решений на основе исследования операций и системного анализа.....	17
2.2. Принятие решений в условиях неполной информации, неопределенности и риска .....	19
2.3. Нахождение оптимальных решений методами математического программирования .....	26
2.4. Методы прикладной математической логики .....	30
<i>ГЛАВА 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА МЕДИЦИНСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ</i> .....	34
3.1. Принципы устройства ЭВМ.....	35
3.2. Основные понятия программирования .....	45
3.3. Применение универсальных баз данных .....	51
3.4. Специализированная система обработки медицинской информации МАМПС.....	57
<i>ГЛАВА 4. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ФАКТОГРАФИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННО- ЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НОРМИН</i> .....	62
4.1. Нормализованный язык текстовой информации НОРМИН .....	62
4.2. Основные алгоритмы обработки нормализованных текстов.....	76
4.3. Возможности применения языка НОРМИН.....	87
<i>ГЛАВА 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ</i> .....	93
5.1. Автоматизация сбора и обработки данных в больничном стационаре .....	94
5.2. Автоматизация процессов управления в здравоохранении .....	103
5.3. Автоматизация сбора и обработки данных о лечебной деятельности больничных стационаров .....	106
5.4. Автоматизация управления противоэпидемическим обслуживанием населения .....	115
5.5. Автоматизированный онкологический регистр.....	120
<i>ГЛАВА 6. КИБЕРНЕТИКА В ДИАГНОСТИКЕ И ТЕРАПИИ</i> .....	125
6.1. Возможности применения ЭВМ в диагностике .....	125
6.2. Применение ЭВМ в области лучевой терапии.....	129
6.3. Применение ЭВМ при медикаментозной терапии .....	134
<i>ГЛАВА 7. КИБЕРНЕТИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ МЕДИЦИНСКОЙ НАУКИ</i> .....	144
7.1. Общий подход .....	144
7.2. Вопросы построения автоматизированной системы управления для научно-исследовательского института (АСУ НИИ).....	149
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	152
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	153

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Научно-техническая революция, связанная с внедрением методов кибернетики и электронной вычислительной техники во все отрасли народного хозяйства, в полной мере относится и к медицине и здравоохранению. Резкое повышение технической оснащенности современных лечебно-профилактических учреждений, применение новой диагностической и лечебной аппаратуры приводят к значительному увеличению объемов и качества медицинской информации, связанной с лечебным процессом и с процессом управления деятельностью медицинских учреждений. Своевременное и эффективное использование этой информации невозможно без применения методов кибернетики и современных электронных вычислительных машин.

XXVI съезд КПСС уделил большое внимание вопросам автоматизации управления технологическими процессами, предприятиями и отраслями народного хозяйства. Применительно к медицине это означает автоматизацию процессов сбора и переработки информации в различных медицинских учреждениях, выработку оптимальных решений по диагностике и лечению больных, эффективному использованию имеющихся ресурсов, оптимальному планированию развития сети лечебно-профилактических учреждений. Без автоматизации невозможно выполнить решения XXVI съезда КПСС по повышению уровня медицинского обслуживания населения и рациональному использованию выделяемых для этих целей средств. Здравоохранение является одной из важных отраслей народного хозяйства, поэтому автоматизация процессов управления в этой отрасли имеет большое государственное значение.

В Отчетном докладе ЦК КПСС XXVI съезду КПСС подчеркнута важность дальнейшего совершенствования управления экономикой, повышения эффективности использования материальных, финансовых и трудовых ресурсов. «Ведь именно в области экономики закладывается фундамент решения социальных задач, укрепления обороноспособности страны, фундамент активной внешней политики» [1]. В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981 — 1985 гг., и на период до 1990 года», принятых XXVI съездом КПСС, отмечается необходимость обеспечить дальнейшее развитие и повышение эффективности автоматизированных систем управления и вычислительных центров экономического назначения, выполняющих функции сбора и обработки информации для учета, планирования и управления.

Здравоохранение является не только важной, но и сложной отраслью народного хозяйства, в которой расходуются большие ресурсы. Хотя здравоохранение не выпускает материальной продукции, от качества и уровня его функционирования зависят производительность труда и уровень работы всех других отраслей народного хозяйства. В системе здравоохранения действует большое количество медицинских и вспомогательных учреждений, трудятся большое число врачей, средний медицинский и обслуживающий персонал и специалисты инженерных и других специальностей. Эти люди в той или иной степени связаны с использованием кибернетики и ЭВМ в научной и практической работе, в учебном процессе.

Настоящая книга предназначена для указанного широкого круга специалистов, а также для студентов высших учебных заведений и аспирантов соответствующих специальностей. В ней излагаются основные сведения из кибернетики и описываются основные направления и методы ее применения в медицине и здравоохранении, что составляет предмет медицинской кибернетики.

Приводятся практические примеры применения кибернетических методов в больнице при создании больничных автоматизированных информационных систем. Рассматриваются конкретные задачи автоматизации процессов обработки информации и управления лечебно-профилактическими учреждениями. Обсуждаются вопросы рациональной организации научных исследований и работы научных учреждений.

В связи с тем, что важную роль во внедрении ЭВМ в медицину играют процессы взаимодействия врачей и ЭВМ, а также с учетом того, что медицинская информация носит в основном описательный характер, в книге достаточно подробно освещены вопросы автоматизации обработки текстовой информации, в частности сущность нормализованного языка медицинской текстовой информации НОРМИН и принципы построения комплексной информационной системы на базе этого языка.

Современная медицинская кибернетика представляет собой сложную и бурно развивающуюся научную дисциплину, охватывающую большое количество различных направлений. Естественно, что в одной сравнительно небольшой книге невозможно охватить все эти направления с достаточной степенью полноты.

Авторы стремились изложить в данной книге разделы и вопросы медицинской кибернетики, представляющие интерес с точки зрения возможностей практического использования методов кибернетики в медицине и здравоохранении в настоящее время и в ближайшем будущем.

Авторы выражают благодарность рецензентам: д-ру мед. наук проф. А. А. Попову и д-ру техн. наук проф. К.В. Тараканову за тщательное рецензирование рукописи книги и ценные замечания и рекомендации, которые были учтены авторами при окончательной доработке книги.

Глава 4 написана на основе разработок и публикаций канд. техн. наук М. А. Самедовой, Н. Н. Будько, Е. И. Дубининой, В. А. Литвиновой, Ю. Д. Орловой, В. Н. Тараловой.

Глава 5 написана на основе разработок и публикаций канд. техн. наук Г. В. Романовского, канд. мед. наук Л. Г. Леонтьевой, А. Г. Твердохлеба, О. В. Кривенко.

Авторы выражают перечисленным товарищам свою благодарность.

## ВВЕДЕНИЕ

Медицинская кибернетика представляет собой приложение общих методов и средств кибернетики к задачам обработки медицинской информации и принятия решений в медицине и здравоохранении. При этом кибернетический подход сочетается с языком медицины и общей медицинской методологией наблюдений, исследований и выработки решений. Кибернетику определяют сейчас как науку об общих законах получения, хранения, передачи и преобразования информации в сложных управляющих системах [11].

Появление кибернетики было подготовлено развитием целого комплекса наук, изучающих процессы переработки информации и управления в сложных системах различной физической природы. К таким системам относятся организмы животных, автоматические управляющие или регулирующие системы в технике, экономические и административные управляющие системы.

Изучение указанных систем показало наличие аналогий в организации процессов управления и переработки информации в разных системах, что позволило подойти к их истолкованию с единых материалистических позиций и сформулировать общие закономерности строения и функционирования сложных управляющих систем. Впервые изложение основ кибернетики было дано американским ученым Норбертом Винером в 1948 г. в книге «Кибернетика или управление и связь в животном и машине» (М.: Сов. радио, 1958).

Кибернетика изучает информационную сущность процессов управления в тесной связи с возможностями практической реализации тех или иных управляющих систем, вопросами их надежного эффективного функционирования. Однако техническая сторона дела, конструирование и техническая проработка вопросов создания управляющих систем выходят за рамки кибернетики. Эти вопросы относятся к различным конкретным техническим наукам.

Имеется ряд научных дисциплин, тесно связанных с кибернетикой. Сюда относятся исследование операций, системный анализ, информатика.

Исследование операций — это прикладная математическая дисциплина, направленная на изыскание методов оптимального (наилучшего) использования имеющихся ресурсов (людей, машин, материалов энергии, денег) в целях достижения поставленной задачи. Конечно, при решении подобных задач часто вырабатываются рекомендации и для построения новых управляющих систем экономического или технического характера.

Системный анализ представляет собой общий научно-технический подход к изучению сложных систем, процессов и ситуаций. При этом предполагаются всесторонний учет различных факторов, применение метода математического моделирования для выявления основных зависимостей между изучаемыми явлениями и применение методов оптимизации для выработки управленческих решений.

Информатика представляет собой прикладную научную дисциплину, занимающуюся методами обработки информации, построением алгоритмов и программ такой обработки и применением этих методов в различных конкретных областях. Информатику можно определить, как технологию обработки информации с учетом конкретных целей ее использования. Теоретические вопросы аналогий в строении управляющих систем разной природы относятся к общей теории кибернетики. Естественно, что методологической основой кибернетики, как и других естественно-научных дисциплин, является философия марксизма-ленинизма — диалектический материализм, охватывающий общие закономерности развития природы и общества, теорию познания, проблемы первичности материи и вторичности сознания, взаимоотношения материи и духа.

Для любых процессов управления характерны: наличие организованной системы, состоящей из управляющих и управляемых (исполнительных) органов, связанных каналами прямой и обратной связи; взаимодействие данной организованной системы с внешней средой, являющейся источником внешней информации, а также случайных и систематических помех; осуществление управления по принципу обратной связи на основе приема и передачи информации; наличие цели и алгоритма (набора правил или законов) управления.

Кибернетика придает весьма широкий смысл понятию цели управления, включая сюда и задачу поддержания устойчивости определенных состояний организмов (гомеостазис).

Кибернетика изучает процессы управления с информационной стороны, отвлекаясь от энергетических или конструктивных характеристик реальных управляющих систем или установок. В задачу кибернетики входит также

изучение структуры и принципов функционирования различных управляющих систем с точки зрения их способности воспринимать и использовать информацию.

Наиболее важные принципы кибернетики и ее методы могут быть изложены и использованы без сложного математического аппарата, что делает кибернетику доступной широким кругам специалистов в самых различных областях в качестве общей методологической базы и конкретных способов организации процессов переработки информации и выбора оптимальных решений в сложных ситуациях.

Кибернетику принято делить на три основных раздела: теорию информации, теорию методов управления и теорию управляющих систем. Управляющие системы включают в себя различного рода исполнительные органы и устройства, и вопросы их построения относятся к различным техническим дисциплинам. Такое деление до некоторой степени условно, так как указанные разделы тесно связаны друг с другом и взаимно дополняют друг друга. Кроме того, каждый из этих общих разделов содержит более конкретные разделы и направления. Так, например, раздел теории управляющих систем включает в себя теорию автоматов, теорию нейронных сетей, теорию вычислительных машин, теорию автоматизированных систем управления и т. д. Некоторые из них имеют сложившийся законченный характер, другие находятся в стадии становления и формирования.

## *Глава 1* **ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ**

### **1.1. Основные понятия**

Понятие информации весьма широкое. Сообщения, публикуемые в газетах, передаваемые по радио, получаемые из разговора с другими людьми, являются информацией. Сигналы о внешней среде и ее изменениях, поступающие в мозг человека или животного от органов чувств, несут информацию. «Указания», получаемые мускулатурой тела человека или животного от мозга, о том, какие движения должны быть произведены, также представляют собой информацию. Исходные данные задачи, подлежащей решению, вводимые в электронную программно-управляемую машину, равно как и промежуточные или окончательные результаты решения задачи, также ни что иное, как информация. Из сообщения, содержание которого уже известно получателю, последний не извлекает информации. Таким образом, под информацией принято понимать новые сведения, получаемые некоторым лицом или системой. Эти сведения изменяют состояние системы (запас знаний или опыт человека, степень устойчивости или траекторию движения системы и т. п.). Информация может быть представлена в виде последовательности дискретных символов (знаков) или в виде непрерывных значений некоторой величины. Символы — это реально различимые приемником (пользователем) объекты (буквы, цифры и т. п.) из заданного набора, называемого алфавитом.

Для передачи информации используются сигналы — динамические процессы изменения состояния некоторой передающей среды, называемой каналом связи. Для хранения информации служат как динамические, так и статические изменения некоторой запоминающей среды.

Обязательным условием приема информации получателем является однозначное распознавание им принятых сигналов и отождествление их с соответствующими символами, переданными источником информации.

Различают четыре основных вида информации: статистическую, семантическую, синтаксическую и прагматическую.

*Статистической* называется информация, характеризующая изменение степени статистической неопределенности изучаемой системы в результате проведения некоторого опыта. При статистическом подходе любая изучаемая система до опыта характеризуется некоторым распределением вероятностей ее отдельных состояний. После проведения опыта (и получения информации о его результате) это распределение вероятностей изменяется, т. е. изменяется степень неопределенности в наших знаниях о данной системе, что позволяет количественно оценивать полученную информацию. Этот вид информации подробно будет рассмотрен в дальнейшем.

*Семантической* (или смысловой) называется информация, основанная на однозначной связи знаков (или сигналов) с объектами или процессами внешнего мира. Эта связь может быть по общей договоренности («дом», «река» и т. д.), а может быть на основе естественных законов природы (ЭДС термопары при нагреве).

Пока еще не найдена мера для количественной оценки семантической информации.

*Синтаксической* называется информация, заключенная в характере (порядок и взаимосвязи) следования знаков или сигналов в сообщении. Например, число состоит из цифр, слово — из букв, фраза — из слов, оператор — из элементов и т. п. Часто семантическая информация выражается через синтаксическую.

*Прагматическая* информация определяет ценность информации для получателя, она связана с семантической, но не совпадает с ней. Одно и то же сообщение может иметь одинаковый смысл для разных лиц, но разные ценность и значение. Еще нет меры измерения прагматической информации.

Академик А.А.Харкевич предложил измерять количество прагматической (или семантической) информации степенью изменения вероятности достижения некоторой конкретной цели под влиянием получения данной прагматической информации. В связи с этим следует остановиться на часто применяемом на практике разделении двух понятий: данные и информация.

Под данными принято понимать все первичные сообщения, поступающие в систему из некоторых источников за определенное время. При этом под информацией в узком смысле этого слова принято понимать обработанные и систематизированные сведения, полученные из данных и предназначенные для решения определенной задачи или достижения некоторой цели.

С точки зрения общей теории информации такое разделение двух понятий (данные и информация) является условным. И то, и другое представляют собой информацию, только с различной степенью обработки.

Процесс передачи информации может быть весьма сложным. Например, при передаче по радио информация сначала передается в виде звуковых сигналов диктором, говорящим перед микрофоном. В микрофоне звуковые сигналы преобразуются в электрические сигналы. В передатчике радиостанции электрические сигналы преобразуются в электромагнитные колебания — радиоволны. Радиоволны радиоприемником опять превращаются в электрические сигналы, которые динамическим громкоговорителем или телефоном преобразуются снова в звуковые сигналы.

Наряду с передачей информации имеет место и хранение ее. Мозг человека обладает способностью запоминать информацию. Речь, произносимую оператором, можно записать на магнитофонную пленку. Орган или прибор, служащий для хранения информации, называют запоминающим устройством, или коротко — памятью. В памяти информация хранится тоже в виде сигналов.

Чаще всего сигналы, применяемые для «запоминания» информации, представляют собой более или менее устойчивые изменения среды, образующей запоминающее устройство. Так, при использовании в качестве запоминающего устройства ферромагнитной пленки сигналами являются группы намагниченных участков этой пленки. Запоминание информации человеческим мозгом происходит в результате возникновения устойчивых изменений в определенных его клетках или группах.

Можно сказать, что каналы связи служат для передачи информации в пространстве, а запоминающие устройства для передачи ее во времени — из прошлого в настоящее и из прошлого и настоящего в будущее. Однако нужно заметить, что передача информации по каналу сопровождается некоторой потерей времени (от момента посылки сигнала до момента его приема), а запись информации в память или считывание ее из памяти не могут быть произведены без некоторого переноса ее в пространстве (на расстояния, определяемые физическими размерами запоминающего устройства).

Интересно отметить, что иногда передача информации осуществляется транспортировкой запоминающего устройства, хранящего эту информацию. Каналом связи при этом является совокупность транспортируемого запоминающего устройства и оборудования, с помощью которого осуществляется транспортировка. Примером такой передачи информации может служить почтовая связь.

Возможны также случаи хранения информации путем многократной передачи ее по некоторому каналу связи из одного конца его в другой и обратно (или циркуляции сигналов в замкнутом канале связи). Такой канал связи вместе с устройствами приема и обратной отправки («отражения») сигналов, несущих информацию, представляет собой динамическое запоминающее устройство.

Из сказанного видно, что информация может находиться как в состоянии передачи (по каналу связи), так и в состоянии хранения (в памяти). Информация может также подвергаться преобразованиям, на чем мы остановимся в дальнейшем.

Подчеркнем сразу же, что передача и прием информации есть лишь один из видов связи между объектами, так как не всякая связь между объектами является обменом информацией (сигналами) и не между всякими объектами существует связь, состоящая в обмене информацией. Такая связь имеет место лишь между частями одной и той же кибернетической системы; эти части должны воспринимать и



«понимать» информацию. Обмен информацией между кибернетическими системами происходит лишь тогда, когда они являются частями более сложной кибернетической системы.

Мы знаем, что все явления и объекты мира существуют во взаимосвязи. Эта связь бесконечно многообразна. Кибернетика, изучающая лишь один из видов связи (обмен информацией) между некоторыми объектами (частями кибернетических систем), не может претендовать и не претендует на то, чтобы быть наукой о всеобщей связи.

Теория информации изучает информацию с количественной стороны. Это стало возможным благодаря тому, что удалось ввести понятие количества информации и меру количества информации, определяемую как изменение степени неопределенности в ожидании некоторого события, о котором говорится в сообщении до и после его получения. Эта мера позволяет измерять количество информации в сообщениях подобно тому, как в физике измеряется количество энергии или количество вещества; смысл и ценность передаваемой информации для получателя при этом не учитывается.

Рассмотрим систему событий  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , обладающую тем свойством, что одно и только одно из событий этой системы должно произойти. Пусть  $p_1, p_2, \dots, p_n$  — соответственно вероятности<sup>1</sup> наступления событий  $A_1, A_2, \dots, A_n$  (очевидно,  $p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1$ ). Система событий  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , рассматриваемых в совокупности с их вероятностями, называется конечной схемой. Конечную схему обозначают символом

$$A = \begin{pmatrix} A_1, A_2, \dots, A_n \\ p_1, p_2, \dots, p_n \end{pmatrix} \quad (1.1)$$

Наступление одного из событий конечной схемы называется результатом ее испытания. Обычно различают результат и исход испытаний. Результат испытания может объединять несколько исходов с заданными признаками.<sup>2</sup>

Всякая конечная схема содержит некоторую неопределенность, которую принято называть энтропией конечной схемы. Известны перечень возможных событий и вероятность каждого события, но какое из событий в действительности произойдет, неизвестно.

Сообщение о результате испытания конечной схемы снимает эту неопределенность. Естественно считать, что количество информации, содержащейся в сообщении о результатах испытания конечной схемы, равно неопределенности (энтропии), содержащейся в этой конечной схеме. Энтропию условились измерять

$$H = -(p_1 \log_a p_1 + p_2 \log_a p_2 + \dots + p_n \log_a p_n). \quad (1.2)$$

Здесь  $a$  — некоторое положительное число, большее единицы. Ниже будет показано, что выбор числа  $a$  равноценен выбору единицы измерения.

Кроме того, принято, что если  $p = 0$ , то

$$p \log_a p = 0. \quad (1.3)$$

Знак минус в правой части формулы (1.2) взят потому, что все слагаемые  $p_i \log_a p_i$  неположительны. Вероятность  $p$ , если не равна нулю, является положительным числом не больше 1, т. е.  $\log_a p$  будет отрицательным числом или нулем, следовательно, и произведение  $p \log_a p$  будет отрицательным числом или нулем. Таким образом, этот знак делает правую часть формулы (1.2) положительной.

Рассмотрим внимательно формулу (1.2) и убедимся в целесообразности выбранного способа измерения количества информации.

Предположим, что одно из событий  $A_1, A_2, \dots, A_n$  достоверно. Например, событие  $A_1$ . Тогда его вероятность будет равна 1. Конечная схема примет вид

$$\begin{pmatrix} A_1, A_2, \dots, A_n \\ 1, 0, \dots, 0 \end{pmatrix} \quad (1.4)$$

Такая конечная схема не содержит никакой неопределенности, и сообщение о результате ее испытания не будет содержать никакой информации. Формула (1.2) дает именно этот результат:

<sup>1</sup> Вероятностью события называется отношение числа шансов, которые ему благоприятствуют, к общему числу равновозможных шансов (такое определение не претендует на строгость). Например, если в ящике находятся 7 черных и 3 белых шара, то вероятность того, что человек с завязанными глазами вынет из ящика черный (а не белый) шар, составит 0,7.

<sup>2</sup> Например, результатом испытания при бросании игрального кубика может быть выпадение четного числа очков. Этот результат объединяет три исхода: выпадение 2, 4, 6 очков.

$$H = -(1 \log_a 1 + 0 + \dots + 0) = 0.$$

Очевидно, наибольшую неопределенность содержит конечная схема, все события которой равновероятны. В случае такой конечной схемы (до ее испытания) труднее всего сделать сколько-нибудь обоснованное предположение о результатах испытания.

Исследуя на максимум величину  $H$  как функцию переменных  $p_1, p_2, \dots, p_n$ , (математические выкладки здесь не приводятся), легко получить, что своего наибольшего значения  $H$  достигает при  $p_1 = p_2 = \dots = p_n = 1/n$ , т. е. в случае равной вероятности событий, образующих конечную схему. При этом конечная схема принимает вид

$$\left( \begin{array}{c} A_1, A_2, \dots, A_n \\ \frac{1}{n}, \frac{1}{n}, \dots, \frac{1}{n} \end{array} \right). \quad (1.5)$$

Сообщение о ее испытании содержит количество информации, равное

$$H = -\left(\frac{1}{n} \log_a \frac{1}{n} + \frac{1}{n} \log_a \frac{1}{n} + \dots + \frac{1}{n} \log_a \frac{1}{n}\right) = \log_a n. \quad (1.6)$$

Обратим особое внимание на простейший частный случай конечной схемы (1.5), именно на случай, когда  $n = 2$ . При этом схема состоит из двух событий:  $A_1$  и  $A_2$ . Событие  $A_2$ , применяя обозначение математической логики, можно записать символом  $\bar{A}_1$  (это читается не  $A_1$ ). Конечная схема имеет вид

$$\left( \begin{array}{cc} A_1 & \bar{A}_1 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{array} \right). \quad (1.7)$$

Сообщение о результате ее испытания содержит количество информации, равное

$$H^* = \log_a 2.$$

Если мы положим  $a = 2$  (в последней и во всех предыдущих формулах), то будем иметь

$$H^* = \log_2 2 = 1.$$

Тем самым мы выбираем единицу измерения количества информации.

Таким образом, за единицу количества информации принято количество информации, содержащееся в сообщении об испытании конечной схемы, состоящей из двух равновероятных событий. Эта единица получила название «бит».

Выбранная мера количества информации обладает еще тем свойством, что при подсчете с ее помощью количества информации, содержащегося в сообщении об испытании двух независимых между собой конечных схем, получается число, равное сумме количеств информации, содержащихся в сообщениях об испытании каждой из конечных схем в отдельности, т. е., как говорят, мера количества информации обладает свойством аддитивности.

Ограничимся доказательством этого факта для простейшего случая, когда каждая из конечных схем состоит из двух событий.

Итак, рассмотрим две конечные схемы:

$$\left( \begin{array}{cc} A_1 & A_2 \\ p_1 & p_2 \end{array} \right), p_1 + p_2 = 1; \quad (1.8)$$

$$\left( \begin{array}{cc} B_1 & B_2 \\ q_1 & q_2 \end{array} \right), q_1 + q_2 = 1. \quad (1.9)$$

Сообщение о результатах испытания этих конечных схем содержит соответственно следующие количества информации:

$$H_1 = -(p_1 \log_2 p_1 + p_2 \log_2 p_2); \quad (1.10)$$

$$H_2 = -(q_1 \log_2 q_1 + q_2 \log_2 q_2). \quad (1.11)$$

Очевидно, испытание обеих конечных схем (1.8) и (1.9) эквивалентно испытанию новой конечной схемы

$$\left( \begin{array}{cccc} A_1 \text{ и } B_1, & A_1 \text{ и } B_2, & A_2 \text{ и } B_1, & A_2 \text{ и } B_2 \\ p_1 q_1, & p_1 q_2, & p_2 q_1, & p_2 q_2 \end{array} \right). \quad (1.12)$$

Каждое событие конечной схемы (1.12) представляет собой сочетание одного из событий, входящих в конечную схему (1.8), с одним из событий, входящих в конечную схему (1.9). Вероятность наступления такого комбинированного события, как известно, равна произведению вероятностей наступления событий, входящих в комбинацию.

Подсчитаем количество информации, содержащееся в сообщении об испытании конечной схемы (1.12):

$$H = -[p_1q_1 \log_2(p_1q_1) + p_1q_2 \log_2(p_1q_2) + p_2q_1 \log_2(p_2q_1) + p_2q_2 \log_2(p_2q_2)] \quad (1.13)$$

Представляя в этом выражении каждый логарифм произведения в виде суммы логарифмов сомножителей и выполняя затем несложные алгебраические преобразования, получаем

$$H = -[p_1q_1 \log_2 p_1 + p_1q_1 \log_2 q_1 + p_1q_2 \log_2 p_1 + p_1q_2 \log_2 q_2 + p_2q_1 \log_2 p_2 + p_2q_1 \log_2 q_1 + p_2q_2 \log_2 p_2 + p_2q_2 \log_2 q_2] = -(q_1 + q_2)(p_1 \log_2 p_1 + p_2 \log_2 p_2) - (p_1 + p_2)(q_1 \log_2 q_1 + q_2 \log_2 q_2).$$

Учитывая условия

$$p_1 + p_2 = 1, \quad q_1 + q_2 = 1,$$

а также формулы (1.10) и (1.11), получаем

$$H = H_1 + H_2, \quad (1.14)$$

что и требовалось доказать.

Все сказанное выше убеждает нас в том, что способ измерения количества информации выбран удачно.

Приведем два примера вычисления количества информации.

Во многие игры в качестве составного элемента входит бросание кубика, на гранях которого написаны цифры 1, 2, 3, 4, 5, 6.

Пусть конечная схема состоит из шести событий, каждое из которых представляет выпадение одного из указанных чисел при бросании кубика. Если кубик изготовлен из однородного материала с возможной степенью точности, то все события можно считать равновероятными. Конечная схема имеет вид

$$\left( \begin{array}{cccccc} A_1, & A_2, & A_3, & A_4, & A_5, & A_6 \\ \frac{1}{6}, & \frac{1}{6}, & \frac{1}{6}, & \frac{1}{6}, & \frac{1}{6}, & \frac{1}{6} \end{array} \right).$$

Сообщение о результате бросания кубика содержит следующее количество информации:

$$H = \log_2 6 = 2,585 \text{ бит.}$$

Теперь предположим, что на одной из граней кубика написана цифра 1, а на пяти остальных — цифра 2. Теперь конечная схема состоит из двух событий:  $A_1$  (выпадение цифры 1) с вероятностью  $1/6$  и  $A_2$  (выпадение цифры 2) с вероятностью  $5/6$ :

$$\left( \begin{array}{cc} A_1, & A_2 \\ 1/6, & 5/6 \end{array} \right).$$

Сообщение о результате метания кубика содержит меньше информации, чем в первом примере, а именно:

$$H = -\left( \frac{1}{6} \log_2 \frac{1}{6} + \frac{5}{6} \log_2 \frac{5}{6} \right) = 0,65 \text{ бита.}$$

В качестве примера медицинской задачи, в которой используется понятие энтропии, рассмотрим следующую ситуацию [26, с. 961].

Допустим, что некоторое заболевание встречается в среднем у двух человек из 100. Для диагностики применяют определенный тест  $A$ , который дает положительный исход ( $A_1$ ) всегда, если он применен к больному человеку, и в 50% случаев, если он применен к здоровому человеку. Отрицательный исход теста  $A$  обозначим через  $A_2$ . При такой постановке задачи можно, во-первых, определить энтропию испытания  $B$  ( $B_1, B_2$ ), заключающегося в выборе произвольного человека и проверке его на наличие данного заболевания (без предварительного теста  $A$ ). Обозначим исход  $B_1$  — человек болен; исход  $B_2$  — человек здоров. Во-вторых, можно определить энтропию данной конечной схемы событий при условии, что был проделан для данного человека предварительно тест  $A$ , который дал положительный ответ  $A_1$ . Вероятности исходов испытания  $B$  будут иметь значения:  $p(B_1) = 2/100$ ,  $p(B_2) = 98/100$ . Энтропия испытания  $B$  равна

$$H(B) = -\left(\frac{2}{100} \log_2 \frac{2}{100} + \frac{98}{100} \log_2 \frac{98}{100}\right) = 0,14.$$

Определим вероятность того, что тест  $A$  дает положительный ответ. Эта вероятность подсчитывается следующим образом:

$$p(A_1) = 1 \cdot \frac{2}{100} + 0,5 \cdot \frac{98}{100} = 0,51$$

Вероятность того, что опыт  $A$  дает отрицательный ответ  $A_2$ ,

$$p(A_2) = 1 - 0,51 = 0,49.$$

Определим теперь вероятность того, что человек, у которого тест  $A$  дал положительный ответ  $A_1$  является больным, т. е. исход испытания  $B$  будет  $B_1$ . Тест  $A$  будет давать положительный ответ  $A_1$  всегда у двух человек (больных) из 100 человек и у других 49 человек из 100 (у половины здоровых), т. е. в 51 случае из 100. Из этого 51 случая только в двух случаях человек будет истинным больным, т. е. условная вероятность  $p(B_1/A_1) = 2/51$ , и условная вероятность  $p(B_2/A_1) = 49/51$ .

Энтропия схемы после положительного исхода теста  $A$ , т. е. условная энтропия, будет равна

$$H(B/A_1) = -[p(B_1/A_1) \log_2 p(B_1/A_1) + p(B_2/A_1) \log_2 p(B_2/A_1)] = -\left(\frac{2}{51} \log_2 \frac{2}{51} + \frac{49}{51} \log_2 \frac{49}{51}\right) = 0,24$$

Отсюда видно, что условная энтропия  $H(B/A_1)$  заметно больше безусловной энтропии  $H(B)$ . Если опыт (тест)  $A$  дал отрицательный ответ  $A_2$ , то человек здоров, т. е.  $H(B/A_2) = 0$ .

Определим теперь энтропию опыта  $B$  при учете результатов теста (опыта)  $A$ . Имеем два значения условной энтропии:  $H(B/A_1)$  и  $H(B/A_2)$  — и вероятности двух исходов теста  $A$ :

$$p(A_1) = 0,51 \text{ и } p(A_2) = 0,49.$$

Искомая энтропия определяется как математическое ожидание значений условных энтропий

$$H(B/A) = 0,51 \cdot 0,24 + 0,49 \cdot 0 = 0,1224 \text{ бита.}$$

Эта энтропия меньше, чем  $H(B) = 0,14$ , полученная без учета теста  $A$ .

Если в нашем распоряжении имеется несколько взаимно исключающих тестов, то подобные расчеты позволяют выбрать наиболее информативный тест.

## 1.2. Некоторые примеры применения теории информации

Теория информации применяется при изучении вопросов передачи информации по каналам связи, в частности при разработке способов кодирования передаваемой информации. Кодированием называется представление информации в форме, удобной для передачи (в пространстве или во времени). Обратное преобразование называется декодированием.

Общая схема передачи информации может быть описана следующим образом (рис. 1). На выходе источника информации (ИИ) выдается сообщение  $z$ , которое нужно преобразовать в сигнал — физический параметр процесса в линии связи ЛС (ЗУ). Дискретные сообщения состоят обычно из букв, принадлежащих определенному алфавиту.

При большом объеме исходного алфавита каждая буква заменяется группой символов в меньшем алфавите (нулей и единиц). Эти группы называются кодовыми комбинациями; число символов в кодовой комбинации называется ее значностью. Кодирование исходных символов двоичными кодовыми комбинациями имеет следующие преимущества:

1. Техническая простота и надежность аппаратуры для хранения и передачи двоичных символов.
2. Возможность изменения длины (значности) кодовых комбинаций с учетом частот встречаемости исходных символов.

Кодирование и декодирование осуществляются с помощью соответствующих устройств (кодеров и декодеров).

Кодек источника (КИ) служит для эффективного (оптимального) кодирования, т. е. для устранения избыточности и снижения среднего числа символов на букву сообщения. Это дает выигрыш во времени передачи или в объеме запоминающего устройства (ЗУ) (если нет помех). При наличии помех это позволяет подготовить (сжать) сообщение для дальнейших преобразований — для помехоустойчивого кодирования, что осуществляется кодером канала (КК), который вводит избыточность в сообщение. Если нет естественной избыточности источника и отсутствуют помехи в линии связи, то КИ и КК не

нужны (также ДК-декодер канала и ДИ-декодер источника). Если естественная избыточность источника мала и имеются помехи в линии связи, то нужен только КК (и ДК). Если естественная избыточность источника велика, а помех в линии связи нет, то нужен только КИ (и ДИ). Естественную избыточность ИИ нельзя использовать непосредственно для повышения помехоустойчивости, так как она не согласована со свойствами канала и вообще носит сложный характер. На схеме показаны так же модулятор (М) — устройство преобразования символов в сигналы и демодулятор (ДМ) — устройство преобразования сигналов в символы. Источник помех (ИП) воздействует на сигналы в ЛС (ЗУ). В конечном счете символы сообщений поступают в приемник информации (ПИ).

Указанная общая схема передачи информации в технике допускает различные модификации. Кроме технических средств, созданных человеком, передача информации осуществляется также в живых организмах, в частности исключительный интерес с точки зрения кибернетики представляет изучение созданных природой естественных способов кодирования наследственной информации, обеспечивающих сохранение в ничтожных объемах наследственного вещества огромных количеств информации, содержащих уже в зародышевой клетке признаки взрослого организма.

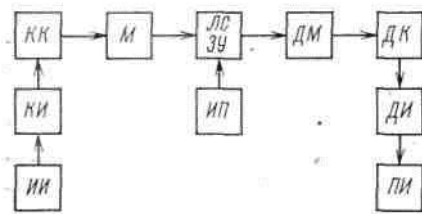


Рис. 1. Общая схема передачи сообщений

Количество информации, передаваемой за единицу времени по некоторому каналу связи, называется скоростью передачи информации. Информация передается по каналу связи, как уже говорилось путем передачи сигналов. Но канал связи не может быть полностью изолирован от воздействия внешней среды. Посторонние явления, протекающие в каналах связи и искажающие сигналы, получили название шумов или помех.

Итак, передача информации происходит в условиях наличия шумов, искажающих полезные сигналы. Шумы могут быть настолько сильными, что искажается информация содержащаяся в сигналах, а иногда и сигналы становятся для приемника совершенно неразличимыми.

Надежность передачи определяется вероятностью приема неискаженной информации. Весьма важна доказанная в теории информации теорема, гласящая, что с увеличением скорости передачи ее надежность уменьшается и, наоборот, за счет уменьшения скорости передачи можно повысить ее надежность. Простейшим способом повышения надежности передачи информации является многократное повторение передачи одного и того же сообщения. Ясно, что при этом снижается общая скорость передачи информации. Более сложные способы повышения надежности передачи и хранения информации предусматривают включение в состав сообщений дополнительных контрольных символов или применение специальных избыточных кодов.

Следует подчеркнуть, что для «понимания» передаваемой информации приемник должен заранее располагать определенными сведениями, «знать», из каких событий состоит конечная схема и как будет закодировано сообщение о результате ее испытания.

Сигналы, хранящиеся в «памяти», также подвержены действиям помех, которые могут исказить их, причем в ряде случаев может исказиться представленная ими информация. Например, записи, произведенные в записной книжке, могут стираться и становиться неразборчивыми. В случае полного стирания отдельных слов смысл записи может изменяться. Судьям и следователям, допрашивающим свидетелей, хорошо известно, как сильно может отличаться то, что запомнил очевидец, от того, что он видел в действительности. Значит, человеческая память тоже подвержена влиянию помех.

Немалый интерес представляет также следующая теорема, доказанная в теории информации: скорость передачи информации по каждому каналу связи имеет максимум, при достижении которого она уже никаким способом кодирования не может быть повышена. Поясним это. Пусть по каналу связи передаются сообщения, составленные из букв некоторого алфавита (например, русского, имеющего 32 буквы, или латинского, имеющего 26 букв).

Для передачи по каналу связи каждая из букв исходного алфавита кодируется определенной комбинацией двоичных символов (нулей и единиц). Эти двоичные символы представляют собой элементарные сигналы, передаваемые по каналу связи. Например, передача единицы может осуществляться посылкой электрического импульса определенных уровня и длительности, а передача нуля — отсутствием посылки такого импульса в соответствующий отрезок времени. В зависимости от физических свойств конкретного канала связи устанавливается некоторая физическая скорость передачи элементарных сигналов, определяемая количеством двоичных символов  $L$ , передаваемых в единицу времени. Этой постоянной физической скорости передачи элементарных сигналов может

соответствовать различной скорости передачи сообщений, состоящих из букв исходного алфавита. Скорость передачи сообщений измеряется средним числом букв исходного алфавита, передаваемых по каналу связи за единицу времени. Эта скорость (при фиксированной скорости передачи элементарных сигналов) зависит от способа кодирования букв исходного алфавита двоичными символами. Как видно из предыдущего изложения, минимальная длина двоичной кодовой комбинации (в среднем) равна энтропии источника сообщений ( $H$ ). Таким образом, максимальная скорость передачи информации по каналу связи будет равна

$$v_{\max} = L/H \text{ [букв/ед. времени].}$$

Эта скорость не может быть превышена никакими способами кодирования; реальная скорость может быть приближена к максимальной скорости сколько угодно близко за счет перехода от кодирования отдельных букв к кодированию блоков из двух, трех и большего количества букв.

Основным способом повышения скорости передачи информации является применение оптимальных способов кодирования, при которых наиболее часто встречающиеся символы (буквы) кодируются короткими кодовыми комбинациями, а редкие символы — длинными.

Сообщение передается на расстояние с помощью канала связи; аналогичным образом можно сказать, что «передача» информации во времени осуществляется с помощью запоминающего устройства.

При передаче информации по каналу связи часто возникают помехи, приводящие к искажению информации. При хранении информации возможны также ее искажения вследствие различных «сбоев». В обоих случаях мы имеем дело с объединением двух и более взаимозависимых конечных схем событий. Одна схема — до передачи и другая — после  $I$  передачи. Часто вместо названия «конечная схема» используют название «ансамбль» сообщений (событий).

Рассмотрим методику определения количества информации в сообщении при наличии помех.

Пусть имеем два ансамбля  $X$  и  $Y$  дискретных измеряемых величин, связанных между собой вероятностной зависимостью.

$$\begin{aligned} \text{Ансамбль } X: & x_1, \quad x_2, \quad \dots, x_n; \\ & p(x_1), \quad p(x_2), \quad \dots, p(x_n). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ансамбль } Y: & y_1, \quad y_2, \quad \dots, y_m; \\ & p(y_1), \quad p(y_2), \quad \dots, p(y_m). \end{aligned}$$

Ансамбль объединения  $X \cup Y$  будет характеризоваться следующей матрицей вероятностей совместного появления значений  $x_i, y_j$ :

$$\begin{array}{cccc} & x_1, & x_2, & \dots & x_n; \\ y_1 p(x_1, y_1) & p(x_2, y_1) & \dots & p(x_n, y_1); \\ y_2 p(x_1, y_2) & p(x_2, y_2) & \dots & p(x_n, y_2); \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_m p(x_1, y_m) & p(x_2, y_m) & \dots & p(x_n, y_m); \end{array}$$

Вероятность  $p(x, y)$  совместного появления двух зависимых событий равна произведению безусловной вероятности  $p(x)$  на условную вероятность  $p(y/x)$  или безусловной вероятности  $p(y)$  на условную вероятность  $p(x/y)$ :

$$p(x, y) = p(x) p(y/x) = p(y) p(x/y).$$

Отсюда условные вероятности будут равны

$$p(y/x) = \frac{p(x, y)}{p(x)}; \quad p(x/y) = \frac{p(x, y)}{p(y)}.$$

Для определения количества информации в сообщениях при наличии помех рассмотрим следующую общую схему передачи сообщений.

Пусть на передающем конце некоторый источник сообщений выдает ансамбль сигналов  $Y$

$$\begin{aligned} & y_1, \quad y_2, \quad \dots, y_m; \\ & p(y_1), p(y_2), \quad \dots, p(y_m); \end{aligned}$$

На приемном конце некоторый приемник принимает ансамбль сигналов  $X$

$$\begin{aligned} & x_1, \quad x_2, \quad \dots, x_n; \\ & p(x_1), p(x_2), \quad \dots, p(x_n). \end{aligned}$$

Если бы помех не было, то эти два ансамбля были бы однозначно связаны друг с другом, т. е. каждому переданному сигналу  $y_i$  соответствовал бы один и только один принятый сигнал  $x_i$  т. е. принимался бы тот же сигнал, который был передан. При наличии помех возможны искажения, при этом переданный сигнал  $y_j$  может быть воспринят на приемном конце как некоторый другой сигнал  $x_i$

Условную вероятность того, что был передан сигнал  $y_j$ , если принят был сигнал  $x_i$  обозначим через  $p(y_j/x_i)$ . Безусловная вероятность, того что был послан сигнал  $y_j$ , будет равна этой условной вероятности, усредненной по всем значениям  $x_i$  принимаемого сигнала:

$$p(y_j) = \sum_{i=1}^n p(x_i)p(y_j/x_i).$$

Произведение вероятностей  $p(x_i)p(y_j/x_i)$  называется совместной вероятностью сложного события  $(x_i, y_j)$  и обозначается  $p(x_i, y_j)$ .

Неопределенность (энтропия) в самом исходном сигнале источника  $Y$  равна:

$$H(Y) = - \sum_{j=1}^m p(y_j) \log_2 p(y_j).$$

Если бы помех не было и принятый сигнал был бы однозначно связан с посланным, то после его приема эта неопределенность была бы снята и мы бы получили количество информации, равное этой энтропии. Если же имеются помехи, то и после получения сигнала  $x_i$  остается некоторая неопределенность в посланном сигнале:

$$H(Y/x_i) = - \sum_{j=1}^m p(y_j/x_i) \log_2 p(y_j/x_i).$$

Эта неопределенность будет иметь место, поскольку мы будем знать не сам посланный сигнал, а только условные вероятности различных значений  $y_j$  т. е.  $p(y_j/x_i)$ .

Определим математическое ожидание или среднюю неопределенность (энтропию), которая будет иметь место при всех возможных значениях принятого сигнала  $x_i$   $i = 1, 2, \dots, n$ ;

$$H(Y/x_i) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \sum_{j=1}^m p(y_j/x_i) \log_2 p(y_j/x_i) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(x_i) \times p(y_j/x_i) \log_2 p(y_j/x_i).$$

Величина  $H(Y/X)$  будет представлять собой условную энтропию случайной величины  $Y$  при заданной случайной величине  $X$ . Чтобы ее подсчитать, нужно знать вероятности  $p(x_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , и матрицу условных вероятностей

$$p(y_j/x_i), \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m.$$

Условная энтропия всегда будет меньше или равна безусловной энтропии:  $H(Y/X) \leq H(Y)$ . Равенство будет иметь место только, когда случайные величины  $X$  и  $Y$  независимы и знание значения сигнала  $X$  (принятого) не несет никакой информации о значении сигнала  $Y$  (посланного).

Количество информации в случайной величине  $X$  о случайной величине  $Y$  равно изменению (уменьшению) энтропии величины  $Y$  после приема сигнала  $X$ , т. е. в среднем

$$I(X, Y) = H(Y) - H(Y/X).$$

Для расчетов более удобной оказывается следующая формула:

$$I(X, Y) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(x_i, y_j) \log_2 \frac{p(x_i, y_j)}{p(x_i)p(y_j)}.$$

С помощью этой формулы можно подсчитывать количество информации в сообщениях при наличии помех и оценивать эффективность и надежность передачи информации.

Одно из важных применений теории информации в медицине связано с ее использованием в системах автоматической классификации объектов и распознавания образов. Эти системы создаются для решения задач машинной диагностики заболеваний, для анализа эпидемических процессов, для оптимизации процессов лечения. Задача автоматической классификации объектов заключается в разделении заданного множества каких-то объектов, описанных определенным набором признаков, на некоторые группы или классы, характеризующиеся определенными свойствами (признаками). Задача распознавания образов

заключается в идентификации новых объектов, т. е. в отнесении каждого нового объекта (заданного набором признаков) к определенному типу (группе или классу) с выделением совокупности его индивидуальных признаков (свойств). Объекты в общем случае могут иметь любую природу и характеризоваться различными признаками. В любом реальном объекте в принципе можно выделить неограниченное количество различных признаков, однако практически каждый конкретный объект рассматривается с учетом определенного набора признаков, зависящего от существа решаемой задачи. Так, врач рассматривает больного как объект, характеризуемый его клиническими и физиологическими данными; работник отдела кадров будет рассматривать того же человека на основе его социальных и профессиональных данных; инспектор ГАИ будет интересоваться его знаниями правил дорожного движения и водительскими навыками и т. д.

При изучении определенного класса объектов обычно представляется возможным выбрать для их классификации и распознавания различные наборы признаков. При этом возникает задача выбора минимально необходимого набора наиболее значимых (весомых) признаков. Одним из эффективных методов решения этой задачи является метод, основанный на использовании теории информации.

Теория информации позволяет производить оценку качества признаков  $x_l$  и  $x_s$ ,  $l, s = 1, 2, \dots, N$ , на основе определения количества информации, которое получает распознающая система в процессе распознавания данного объекта в результате измерения каждого из этих признаков.

Пусть распознаваемый объект может принадлежать лишь одному из  $m$  классов; априорные вероятности отнесения этого объекта к определенному классу обозначим через

$$p(\Omega_j), \quad j = 1, 2, \dots, m.$$

До проведения опыта исходная априорная энтропия системы  $D$  будет равна

$$H_A(D) = - \sum_{j=1}^m p(\Omega_j) \log_2 p(\Omega_j).$$

(Буква  $A$  означает, что мы рассматриваем априорную энтропию.) Определим, какое количество информации получает система распознавания при использовании (измерении) признака  $x_l$ . Пусть признак  $x_l$  может принимать  $n_l$  различных значений:

$$x_{l_1}, x_{l_2}, \dots, x_{l_k}, \dots, x_{l_{n_l}},$$

т. е.  $k = 1, 2, \dots, n_l$ .

Полные вероятности каждого из этих значений (с учетом того, что объекты с этим значением признака  $x_l$  могут принадлежат разным классам  $\Omega_j$ )

$$p(x_{l_k}) = \sum_{j=1}^m p(\Omega_j) p(x_{l_k}/\Omega_j).$$

Если в результате измерения признака  $x_l$  мы получили некоторое его значение  $x_{l_k}$ , то степень неопределенности (энтропия), которая еще останется в системе распознавания,

$$H_B(D/x_{l_k}) = - \sum_{i=1}^m p(\Omega_i/x_{l_k}) \log_2 p(\Omega_i/x_{l_k}).$$

(Буква  $B$  означает, что мы рассматриваем апостериорную энтропию). Средняя апостериорная условная энтропия, которая останется в системе при получении любого значения признака  $x_l$ , будет равна математическому ожиданию величины  $H_B(D/x_{l_k})$ :

$$\begin{aligned} H_B(D/x_l) &= \sum_{k=1}^{n_l} p(x_{l_k}) H_B(D/x_{l_k}) = - \sum_{k=1}^{n_l} \left[ \sum_{j=1}^m p(\Omega_j) p(\Omega_i/x_{l_k}) \times \sum_{i=1}^m p(\Omega_i/x_{l_k}) \log_2 p(\Omega_i/x_{l_k}) \right] = \\ &= - \sum_{k=1}^{n_l} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m p(\Omega_j) p(x_{l_k}/\Omega_j) \times p(\Omega_i/x_{l_k}) \log_2 p(\Omega_i/x_{l_k}) = - \sum_{j=1}^m p(\Omega_j) \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{n_l} p(x_{l_k}/\Omega_j) \times \\ &\times p(\Omega_i/x_{l_k}) \log_2 p(\Omega_i/x_{l_k}). \end{aligned}$$

Таким образом, если проведены эксперименты, связанные с определением признака  $x_l$  (т. е. получено его некоторое значение  $x_{l_k}$ ), и рассчитаны апостериорные вероятности отнесения объекта к



соответствующим классам, то в среднем количество информации, которое получит система распознавания в результате проведения этих экспериментов, будет равно уменьшению энтропии системы (т. е. разности исходной априорной энтропии и энтропии, которая останется в среднем после получения некоторого значения признака  $x_l$ ):

$$I(x_l) = H_A(D) - H_B(D/x_l).$$

Таким же образом может быть рассчитано количество информации, получаемое при использовании (измерении) признака  $x_s$ . Считается, что качество признака  $x_l$  выше (т. е. он более информативен), чем качество признака  $x_s$ , если количество информации, получаемое при использовании признака  $x_l$ , больше, чем количество информации, получаемое при использовании признака  $x_s$ , т. е. если  $I(x_l) > I(x_s)$ .

Проводя подобные расчеты для ряда возможных классификационных признаков, можно выстроить эти признаки в порядке убывания их информативности и отобрать необходимое количество наиболее информативных признаков.

Следует заметить, что изложенный подход является одним из возможных подходов к отбору классификационных признаков. Теория распознавания образов и классификации объектов представляет собой сложную развивающуюся научную дисциплину, в которой разрабатывается ряд направлений, в том числе и направление, связанное с использованием теории информации.

В заключение настоящей главы рассмотрим методику расчета количества информации в сообщениях при наличии зависимости между элементами сообщений (символами). Эта методика представляет самостоятельный интерес и в то же время дает понятие о подходе к описанию определенного класса сложных систем.

В реальных условиях появление элемента (символа)  $x_i$  зависит от того, какой элемент  $x_j$  был предшествующим.

Матрица  $M$  условных вероятностей  $p(x_i/x_j) = p(i/j)$  в развернутом виде выглядит так:

$$\begin{matrix} p(1|1) & p(1|2) & \dots & p(1|m); \\ p(2|1) & p(2|2) & \dots & p(2|m); \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p(m|1) & p(m|2) & \dots & p(m|m). \end{matrix}$$

При отсутствии взаимосвязи символов  $x_i$  и  $x_j$   $p(x_i/x_j) = p(x_i)$ . При наличии зависимости между соседними символами в сообщении сначала на основе матрицы условных вероятностей вычисляется условная энтропия для каждого случая возможного предшествующего символа  $x_j$ :

$$H(x|x_j) = - \sum_{i=1}^m p(i|j) \log_2 p(i|j).$$

Эта условная энтропия сама будет случайной величиной, так как случайной величиной является предшествующий символ  $x_j$ , и вероятности ее равны вероятностям  $p(x_j)$ , т. е. безусловным вероятностям.

Для получения безусловной энтропии источника необходимо произвести подсчет математического ожидания. Это энтропия системы, если известен предшествующий символ

$$H(x) = \sum_{j=1}^m \left[ - \sum_{i=1}^m P(i|j) \log_2 p(i|j) \right] p(j).$$

Эта формула служит для определения энтропии так называемых цепей Маркова. Последовательности символов (элементов), у которых статистическая связь распространяется только на два соседних элемента, называются марковскими последовательностями или цепями. В общем случае эта связь определяется вероятностью перехода системы из состояния  $x(t_{i-1})$  в момент времени  $t_{i-1}$  в состояние  $x(t_i)$  в момент  $t_i$ .

Матрица перехода — это квадратная матрица вероятностей переходов для множества состояний  $m$  (символов). Она будет отличаться от матрицы условных вероятностей  $M$  тем, что первый индекс будет указывать исходное состояние, а второй — последующее состояние. Очевидно, что элементы каждой строки матрицы перехода будут представлять полную схему событий, т. е.

$$\sum_{j=1}^m p(i|j) = 1.$$

Это свойство обусловлено тем обстоятельством, что из любого исходного состояния  $i$  обязательно будет переход в какое-то  $j$ -е состояние. В случае матрицы  $M$ , наоборот, элементы каждого столбца образуют полную схему событий, т. е.

$$\sum_{i=1}^m p(i|j) = 1.$$

Это обусловлено тем, что после некоторого символа  $x_j$  всегда будет идти какой-то символ  $x_i$ . Указанное различие в двух матрицах относится к их интерпретации, оно не является существенным с точки зрения описания процессов передачи сообщений или переходов системы из одного состояния в другое.

На основе указанной матрицы перехода

$$p_{j-1,i} = \begin{vmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \dots & p_{1,m} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \dots & p_{2,m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{m,1} & p_{m,2} & \dots & p_{m,m} \end{vmatrix}$$

могут быть рассчитаны вероятности перехода из любого состояния  $x_k$  в состояние  $x_l$  за  $r$  шагов. Эти вероятности представляют собой элементы матрицы  $p_{i-1,i}^r$ , являющейся  $r$ -й степенью матрицы  $p_{i-1,i}$ .

Если взаимозависимость символов в сообщении распространяется больше чем на два соседних элемента, то определение среднего количества информации на символ требует расчета более сложных условных вероятностей. Для практических инженерных расчетов пользуются подходом (приемом), основанным на применении вероятностей  $n$ -грамм, т. е. сочетаний из  $n$  элементов (диаграмм, триграмм, тетраграмм и т. д.). Тогда количество информации (среднее на символ)

$$I = -\frac{1}{n} \sum_{i,j,\dots,n} p(i,j,\dots,n) \log_2 p(i,j,\dots,n).$$

Делить на  $n$  нужно, так как получаемое по этой формуле количество информации относится к комбинации из  $n$  символов. В частности, при диаграмме ( $m = 2$ ), учитывая, что

$$p(i,j) = p(j) p(i|j),$$

получается следующая расчетная формула:

$$I = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m p(i,j) \log_2 p(i,j)$$

Рассмотренные методы расчета количества информации в сообщениях при наличии статистических зависимостей между отдельными элементами сообщений имеют практическое применение при изучении сложных медико-биологических систем, при разработке различных диагностических машинных методов. На практике различные диагностические процедуры применяются не изолированно, а комплексно, в определенном порядке. При этом результаты отдельных диагностических тестов не являются независимыми величинами и наличие определенных статистических зависимостей между ними необходимо учитывать при выборе оптимального набора и порядка применения диагностических тестов. Аналогичная картина имеет место и во многих других медицинских задачах.

## Глава 2

### КИБЕРНЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ В МЕДИЦИНЕ

Развитие кибернетики, исследования операций, информатики привели к внедрению в медицину новых математических методов принятия решений в сложных ситуациях. В первую очередь это относится к вопросам машинной диагностики заболеваний, выбору оптимальных планов лечения, организации противоэпидемических мероприятий, планированию развития системы здравоохранения в отдельных районах и в масштабе всей страны. Новые математические методы дополняют и расширяют традиционно применяющиеся в медицине и здравоохранении статистические методы анализа

заболеваемости, оценки деятельности медицинских учреждений, определения эффективности применения различных медикаментов и т. д.

Арсенал математических методов, проникающих в настоящее время в медицину, чрезвычайно широк и разнообразен, однако большинство новых и сложных методов используется пока в экспериментальном порядке, при выполнении научных исследований узкими специалистами, в основном самими авторами или их учениками. По мере освоения и практической проверки эти методы и подходы постепенно проникают в практику.

В настоящей главе изложим основные понятия математических методов оптимальных решений. При этом будем концентрировать внимание на существе подходов и методов и их возможностях, оставляя в стороне математические доказательства и технические подробности.

Такое изложение ориентировано прежде всего на медиков и организаторов здравоохранения, использующих в своей работе кибернетику. Для решения вопроса об использовании того или иного кибернетического метода медику достаточно знать возможности этого метода и общий принцип постановки задачи. Математические подробности — это удел математиков, реализующих данный метод в виде алгоритма и программы работы ЭВМ.

## **2.1. Научный подход к принятию решений на основе исследования операций и системного анализа**

Начало широкому применению методов исследования операций (не хирургических, а административных) в здравоохранении относится к 1965 г., когда Всемирная организация здравоохранения на своей ассамблее провела ряд тематических дискуссий по этому вопросу и приняла решение о включении в состав работников ВОЗ и региональных бюро специалистов по исследованию операций.

К числу актуальных задач здравоохранения, которые решаются методами исследования операций, относятся:

- 1) организации массовых профилактических обследований населения;
- 2) организация эффективного использования больничных коек и рациональное использование финансовых, людских ресурсов, помещений и оборудования;
- 3) оптимальное использование сети лечебно-профилактических учреждений данного района, города или страны;
- 4) организация эффективной медицинской службы скорой помощи при минимизации затрат на создание и эксплуатацию этой службы.

Исследование операций применяется, как правило, при руководстве деятельностью коллективов людей, использующих существующую технику. Характерной чертой задач, решаемых методами исследования операций, является выработка решений в условиях неполной информации.

Ясно, что выводы, полученные в процессе исследования операций, могут быть использованы и для лучшей организации новых коллективов людей и разработки новых или совершенствования существующих технических средств.

Системный анализ — это комплексный научный подход к изучению сложных динамических систем в биологии, медицине, технике, экономике, в социальных науках.

Под динамической системой понимают совокупность взаимодействующих объектов, обладающих способностью воспринимать и обмениваться информацией и участвующих в общем целенаправленном процессе. Понятие динамической системы по определению является рекурсивным (многоступенчатым). Объекты, являющиеся элементами данной динамической системы, при более детальном рассмотрении сами могут оказаться целыми динамическими системами, состоящими из объектов более мелкого масштаба и т. д.

Системный анализ охватывает широкий круг явлений (не только деятельность коллективов людей, использующих технику) и имеет целью выяснение закономерностей этих явлений как для лучшего использования существующих систем, так и для проектирования новых систем.

Системный анализ и исследование операций — два взаимосвязанных научных направления. Различие между ними состоит в том, что в системном анализе упор делается на методологию изучения сложных структур, на раскрытие внутренних связей и закономерностей явлений, в том числе явлений живой природы, а в исследовании операций — на анализ организационных форм деятельности коллективов людей и выработку оптимальных решений по руководству этой деятельностью. В

медицине и здравоохранении все более широкое применение получают и системный анализ, и исследования операций. Типичными областями применения системного анализа являются задачи комплексного изучения состояния здоровья человека в норме и патологии, разработка систем автоматизации управления медицинскими учреждениями, оценка эффективности и разработка различных диагностических и лечебных методов и средств, изучение вопросов охраны внешней среды и разработка мероприятий по ее защите от загрязнения и т. д.

При решении всех этих задач необходим всесторонний учет как внутренних закономерностей изучаемого явления или процесса, так и внешних связей и зависимостей данного явления от окружающей среды. Характерными для указанных задач являются также необходимость экономических оценок и анализ возможностей реального осуществления тех или иных мероприятий. Например, при решении вопроса о приобретении дополнительного диагностического оборудования нужно оценить расходы на его покупку, ожидаемую степень его загрузки, необходимые размеры помещений и численность обслуживающего персонала, а также влияние, которое окажет наличие этой аппаратуры на поток и структуру больных, средние сроки их обследования и лечения, возможности комплексного использования нового оборудования совместно со старым.

Характерной особенностью организации работ по системному анализу и исследованию операций является включение в состав рабочих групп представителей разных специальностей, способных оценить различные стороны изучаемого явления, — врачей, математиков, инженеров, экономистов, юристов и др. Перечисленные представители должны обладать общим языком (т. е. быть знакомы со смежными областями), знать методологию исследования операций и в то же время иметь высокую профессиональную подготовку. Важным моментом в организации работы подобных групп является также установление правильных взаимоотношений между группой исследования операций и ответственным руководителем учреждения, имеющим право принимать окончательные решения.

Группа исследования операций должна представлять руководителю объективные данные, обосновывающие оптимальное решение, но не навязывать это решение. Руководитель, ставя задачу перед группой исследования операций, должен четко формулировать исходные условия и цели исследования, при этом он не должен предрешать желаемый вариант решения и ориентировать группу на обоснование такого решения.

В работе групп по исследованию операций выделяется ряд типовых этапов.

1. Постановка задачи и сбор исходных данных.
2. Выяснение взаимосвязей между различными величинами, т. е. построение модели исследуемого явления.
3. Выбор метода решения и выполнение необходимых расчетов вариантов.
4. Анализ полученных вариантов и выбор оптимального варианта.
5. Представление решения руководителю, обеспечение мероприятий по доведению решения до исполнителей, контроль за правильностью понимания этого решения заинтересованными лицами.

На практике при реализации описанного порядка исследований часто встречаются отклонения, возвраты к предшествующим этапам для уточнения или изменения построенной модели, изменения исходных данных или метода решения, выбора нового критерия оценки решения и т. д.

Таким образом, в исследовании операций можно выделить 1) уяснение задачи и сбор необходимых исходных данных; 2) определение оптимального решения и доведение его до заинтересованных лиц.

Следует заметить, что зачастую выполнение только первой части работы (уяснение постановки задачи, сбор и систематизация относящейся к задаче информации) уже позволяет получить полезные результаты, т. е. дает возможность руководителю принять целесообразное решение.

На основе систематизированной информации, представленной в компактной наглядной форме (например, в виде графиков или диаграмм на экране дисплея), опытный руководитель или специалист может оценить тенденции процесса и интуитивно правильно выбрать подходящий вариант решения. Поэтому не преуменьшая роли количественных математических методов нахождения оптимальных решений, следует не допускать недооценки роли и возможностей опыта и интеллекта человека и стремиться к оптимальному сочетанию возможностей ЭВМ и человека при решении сложных задач исследования операций.

Электронная вычислительная машина, снабженная дисплеем, может быстро и точно обработать огромный объем первичной информации и представить его в удобном для анализа виде. Человек способен быстро оценить общую обстановку и наметить стратегию поиска оптимальных решений, указав ЭВМ методы и исходные данные для расчетов. Результаты расчетов, т. е. различные варианты решений,

могут оцениваться и отбираться самой ЭВМ, если ей заданы критерии отбора, либо этот процесс возьмет на себя человек, когда для выбора вариантов еще нет полностью формализованных критериев. Выбор оптимального решения должен производиться из какого-то множества возможных решений, поэтому сначала нужно определить это множество либо простым перечислением всех решений (если это практически возможно), либо указанием способа получения этих решений. Оптимальное решение выбирается всегда для достижения какой-то цели, и поэтому необходимо четко сформулировать в количественной (математической) форме критерий оценки выбранного решения и показать, что оптимальное решение обеспечивает достижение максимального (или минимального) значения этого критерия. Такой количественный критерий при решении задач исследования операций принято называть целевой функцией.

Таким образом, в исследовании операций большую роль играют математические методы нахождения оптимальных решений или, как принято говорить, методы решения экстремальных задач. Но исследование операций не сводится только к применению этих методов. Помимо них в исследовании операций применяются методы моделирования, натуральных испытаний, эвристических решений, ситуационных игр. В задачах исследования операций зачастую бывает важно не только найти оптимальный вариант распределения материальных, денежных, людских и других ресурсов между участниками работы, но и определить необходимый (или оптимальный) порядок выполнения различных действий или работ.

Для решения первой задачи применяются методы поиска решений экстремальных задач (методы математического программирования). Для решения второй задачи используются методы теории расписаний и методы сетевого планирования и управления (СПУ).

Сущность некоторых из перечисленных методов будет рассмотрена ниже. Системный анализ и исследование операций относятся к прикладной кибернетике и, естественно, используются как в медицине и здравоохранении, так и в других областях человеческой деятельности. Эти научные направления являются новыми и развивающимися. В них нет иногда четко установившихся терминов и определений. Допускаются различные толкования и самих названий этих научных направлений: прикладная кибернетика, системный анализ, исследование операций. Несмотря на то, что эти три направления тесно связаны между собой, между ними имеются различия.

Прикладная кибернетика занимается применением общих идей и методов кибернетики к решению практических задач и, таким образом, представляет собой теоретическую базу для системного анализа и исследований операций.

## **2.2. Принятие решений в условиях неполной информации, неопределенности и риска**

Во всех сферах человеческой деятельности людям приходится принимать решения в условиях неопределенности, при неполной или неточной информации, при невозможности определенно предвидеть последствия тех или иных решений, при наличии риска.

Разработан ряд методов, облегчающих процессы выбора решений в подобных ситуациях, сущность которых сводится к рациональному использованию доступной информации и снижению влияния факторов неопределенности на процесс принятия решения. К ним могут быть отнесены следующие три группы методов:

- основанные на использовании известной теоремы Байеса об изменении вероятностей гипотез в результате проведения опыта;
- основанные на теории размытых множеств;
- основанные на использовании критерия «полезности».

Все эти методы имеют общую вероятностную природу и тесно связаны друг с другом; в ряде случаев они приводят к одинаковым результатам. Однако с методологической точки зрения они существенно различны и в связи с этим могут применяться в различных ситуациях.

Байесовский подход в чистом виде целесообразно использовать в тех случаях, когда имеются достаточные статистические данные, позволяющие рассчитать априорные вероятности различных гипотез и условные вероятности определенных событий при тех или иных гипотезах. Методы теории размытых множеств в сочетании с байесовским подходом можно применять при отсутствии четких определений и границ различных категорий, классов и групп (например, определений заболеваний, типов эпидемических процессов и т. п.). Методы использующие критерии полезности, могут применяться в тех случаях, когда имеется возможность ввести в рассмотрение различного рода

экспертные (и вообще субъективные) оценки тех или иных вариантов решений, действий и их последствий.

Рассмотрим существо перечисленных трех групп методов.

Теорема Байеса дает зависимость между вероятностями различных гипотез до и после проведения опыта. Гипотезами могут быть, например, суждения (мнения) руководителя о возможных путях развития того или иного процесса, и байесовский подход позволяет корректировать решения по мере накопления опыта, т. е. обеспечивает обучение руководителя в процессе управления.

Теорема Байеса вытекает из основной теоремы теории вероятностей о том, что вероятность совместного наступления двух событий  $A$  и  $B$  равна произведению условной вероятности наступления события  $A$  при условии, что событие  $B$  наступило, на безусловную вероятность наступления события  $B$  или равна условной вероятности наступления события  $B$  при условии, что событие  $A$  наступило, на безусловную вероятность наступления события  $A$ :

$$P(A \text{ и } B) = p(A|B)p(B) = p(B|A)p(A).$$

Из этих равенств можно получить выражение для условной вероятности, представляющее теорему Байеса:

$$p(A|B) = \frac{p(B|A)p(A)}{p(B)}.$$

Данная формула дает возможность вычислить  $p(A|B)$  вероятность события  $A$  при условии того, что событие  $B$  наступило; эта вероятность называется апостериорной, т. е. вероятностью после опыта.

Исходными данными являются:

безусловная вероятность  $p(A)$ , называемая априорной (т.е. вероятностью события  $A$  до проведения опыта);

безусловная (априорная) вероятность  $p(B)$ ;

условная вероятность  $p(B|A)$  наступления события  $B$  при условии, что событие  $A$  имеет место. Эта условная вероятность также является априорной, т. е. заданной до опыта. Она выражает вероятность события  $B$  при условии, что гипотеза  $A$  справедлива. Эта априорная условная вероятность называется правдоподобностью.

Теорема Байеса имеет следующую наглядную геометрическую интерпретацию.

Пусть мы имеем  $n$  гипотез (например, четыре,  $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4$ ), для которых заданы их априорные (безусловные) вероятности

$$p(\Gamma_1), p(\Gamma_2), p(\Gamma_3), p(\Gamma_4).$$

Для наглядности изобразим эти вероятности площадями соответствующих вертикальных полос квадрата с общей площадью, равной 1 (рис. 2). Последнее вытекает из того, что сумма вероятностей  $p(\Gamma_1), p(\Gamma_2), p(\Gamma_3), p(\Gamma_4)$  равна единице, так как из этих гипотез всегда одна оказывается справедливой.

Допустим, что проводится некоторый опыт  $s$ , который может дать один из двух исходов:  $s_1$  и  $s_2$ . Заранее известны правдоподобности этих исходов для различных гипотез, т. е. условные вероятности

$$p(s_1|\Gamma_1), p(s_1|\Gamma_2), p(s_1|\Gamma_3), p(s_1|\Gamma_4).$$

Очевидно, что  $p(s_2|\Gamma_1) = 1 - p(s_1|\Gamma_1)$  и т. д. Изобразим значения этих правдоподобностей в виде верхних частей  $q_i$  соответствующих полос квадрата рис. 2. Нижние части этих полос  $r_i$  будут изображать правдоподобности исхода  $s_2$  при соответствующих гипотезах. Очевидно, что будут справедливы следующие соотношения:

$$p(\Gamma_1) = q_1 + r_1, \quad p(\Gamma_2) = q_2 + r_2, \quad p(\Gamma_3) = q_3 + r_3, \quad p(\Gamma_4) = q_4 + r_4,$$

$$p(s_1|\Gamma_1) = \frac{q_1}{q_1 + r_1}, \quad p(s_1|\Gamma_2) = \frac{q_2}{q_2 + r_2},$$

$$p(s_1|\Gamma_3) = \frac{q_3}{q_3 + r_3}, \quad p(s_1|\Gamma_4) = \frac{q_4}{q_4 + r_4}.$$

Отсюда можно получить следующие выражения:

$$q_1 = p(\Gamma_1)p(s_1|\Gamma_1), \quad q_2 = p(\Gamma_2)p(s_1|\Gamma_2), \quad q_3 = p(\Gamma_3)p(s_1|\Gamma_3), \quad q_4 = p(\Gamma_4)p(s_1|\Gamma_4),$$

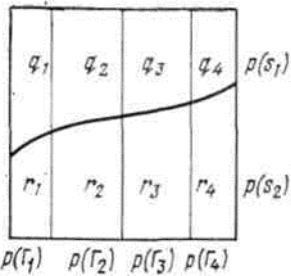


Рис.2. Геометрическая интерпретация теоремы Байеса

кроме того, очевидно, что

$$p(s_1) = q_1 + q_2 + q_3 + q_4.$$

Теперь можно написать выражения для апостериорных вероятностей гипотез после проведения опыта  $s$  и получения исхода  $s_1$ . Например, для гипотезы  $\Gamma_2$  будет иметь место выражение

$$p(\Gamma_2|s_1) = \frac{p(s_1|\Gamma_2)p(\Gamma_2)}{p(\Gamma_1)p(s_1|\Gamma_1) + p(\Gamma_2)p(s_1|\Gamma_2) + p(\Gamma_3)p(s_1|\Gamma_3) + p(\Gamma_4)p(s_1|\Gamma_4)}.$$

Это вытекает из общей формулы

$$p(\Gamma_i|s_1)p(s_1) = p(s_1|\Gamma_i)p(\Gamma_i).$$

Рассмотрим следующий простой пример применения теоремы Байеса. Пусть заданы априорные вероятности трех гипотез:  $A_1$  — ребенку не делали прививку,  $A_2$  — ребенку сделали полную прививку,  $A_3$  — ребенку сделали частичную прививку. Подразумевается, что берется произвольный ребенок из заданного контингента:

$$p(A_1) = 0,1; \quad p(A_2) = 0,8; \quad p(A_3) = 0,1.$$

Допустим, что на основании исследований или обработки статистических данных установлены вероятности трех вариантов заболеваний ребенка в зависимости от его прививки: не заболеть совсем — исход  $b_1$  заболеть в слабой форме — исход  $b_2$ , заболеть в сильной форме — — исход  $b_3$ . Эти вероятности  $p(b_i|A_j)$  сведены в таблицу (матрицу условных априорных вероятностей-правдоподобностей):

	$b_1$	$b_2$	$b_3$
$A_1$	0,5	0,3	0,2
$A_2$	0,97	0,02	0,01
$A_3$	0,8	0,1	0,1

Пусть случайно взятый ребенок переболел данным заболеванием в слабой форме. Вероятность того, что этот ребенок получил в свое время полную прививку может быть подсчитана следующим образом:

$$p(A_2|B_2) = \frac{p(b_2|A_2)p(A_2)}{p(b_2|A_1)p(A_1) + p(b_2|A_2) + p(b_2|A_3)p(A_3)}.$$

Подставляя числовые значения, получаем

$$p(A_2|B_2) = \frac{0,02 \cdot 0,8}{0,3 \cdot 0,1 + 0,02 \cdot 0,8 + 0,1 \cdot 0,1} = 0,28.$$

Отсюда видно, что апостериорная вероятность гипотезы  $A_2$  (полная прививка) значительно ниже, чем априорная. По-видимому, полная прививка в данном случае сделана не была.

Аналогичным образом могут быть рассчитаны апостериорные вероятности всех гипотез при разных результатах опыта:

$$p(A_i|b_j) = \frac{p(b_j|A_i)pA_i}{\sum_{k=1}^3 p(b_i|A_k)pA_k}$$

Метод Байеса находит достаточно широкое применение при выборе медицинских решений для определенных видов заболеваний. Основным его недостатком является необходимость расчета большого количества условных вероятностей, что не всегда представляется возможным осуществить практически. Как уже говорилось ранее, в последние годы байесовский подход начинают сочетать с использованием понятий размытых множеств и критерия «полезность». В качестве примера приведем описание, данное Ф. Сметсом и др. [30], возможности сочетания байесовского подхода и понятий размытых множеств в медицинской диагностике.

Сущность диагностики заключается в классификации пациентов в соответствии с их патологическими данными. Если имеется полная информация о пациенте, то такая классификация может быть сделана однозначно по правилам математической логики. Однако такое положение складывается далеко не всегда; практически приходится часто проводить диагностику заболеваний и лечение пациентов в условиях неполной информации об их клиническом состоянии. При этом необходимо определить вероятность принадлежности пациента к различным классификационным группам. На основе вероятностей оценки степени принадлежности пациента к различным группам строится алгоритм

принятия решений, учитывающий значимость последствий выбора  $i$ -го варианта, в то время как в действительности имеет место  $j$ -й вариант.

Неопределенность в постановке диагноза обычно бывает связана с двумя обстоятельствами: а) недостаточностью информации о пациенте, б) недостаточно точным и полным определением классификационных групп (видов заболеваний), между которыми должен производиться выбор. Например, отсутствует четкое и полное описание даже такого распространенного заболевания, как артериосклероз, и во многих случаях возникают сомнения в определении данного вида заболевания даже при наличии исчерпывающей информации о больном. Обычно вводятся достаточно четкие разграничения диагностических групп даже в тех случаях, когда они имеют нечеткие границы. Такой подход диктуется больше соображениями удобства применения, чем фактическим положением дел.

Более правильным является подход, исходящий из того, что диагностические классификационные группировки не могут иметь четко определенных границ. Это положение соответствует основному допущению теории размытых множеств.

Размытые множества — это множества, для которых введена мера принадлежности каждого элемента некоторому множеству. Эта мера может изменяться от 0 до 1 в соответствии с заранее установленной шкалой. Классические множества являются частным случаем размытых множеств, если указанная мера принимает одно из двух значений: да или нет.

Практически врачи при обследовании больных и постановках диагнозов оперируют понятиями, подходящими под определения размытых множеств. Теория размытых множеств обеспечивает математическую основу для формализации гибких семантических способностей человеческого мышления.

Вероятностная оценка наличия тех или иных симптомов у больного отражает недостаток наших знаний о больном. Вероятностный подход к описанию классификаций в виде размытых множеств отражает недостаток наших знаний о диагностических категориях. Оба эти аспекта недостатка наших знаний объединяются в процессе диагностики в единый практически полезный подход.

Допустим, что мы имеем всю необходимую информацию о пациенте. Пусть вектор  $\mathbf{M}$  ( $m_i$ ),  $i = 1, 2, \dots, k$ , представляет собой меру принадлежности пациента к каждому из размытых множеств  $a_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$ . Задача медицинской диагностики заключается в определении вектора  $\mathbf{M}$  исходя из имеющейся в наличии информации ( $X = x$ ) о пациенте.

Для каждого  $i$  может быть построено распределение вероятностей того, что искомая мера  $m_i$  меньше или равна заданному значению

$$p(m_i \leq n_i | X = x).$$

Затем на основе теоремы Байеса рассчитываются условные вероятности, показывающие наиболее вероятное значение вектора  $\mathbf{M}$ , и, необходимые доверительные интервалы. Для оценки вектора  $\mathbf{M}$  вводится некоторая функция «полезности» (или функция «потерь»).

В качестве примера рассмотрим следующее утверждение: «мера принадлежности пациента к множеству больных артериосклерозом оценивается в 0,92 с вероятностью 0,95 того, что истинное значение находится в пределах 0,8—1,0».

Это утверждение означает, что мы имеем почти полную уверенность (95 %), что данный пациент принадлежит к группе больных, страдающих артериосклерозом (значение меры 0,92 внутри интервала 0,8—1,0). Если бы 95 %-ный доверительный интервал был от 0,1 до 0,3 с оценкой 0,22, мы должны были бы заключить, что пациент страдает атипичной формой артериосклероза. Если бы доверительный 95 %-ный интервал был от 0,1 до 0,9 с оценкой 0,66, то невозможно было бы сказать что-нибудь определенное о диагнозе. Доверительный интервал в этом случае был бы слишком велик для того, чтобы получить надежный вывод.

Указанный подход применялся в брюссельском университетском госпитале (в кардиологическом отделении). Рассматривались три возможности: нормальный статус (с точки зрения коронарной заболеваемости); ангина pectoris; инфаркт миокарда.

Клиницистам было предложено дать свои оценки указанным трем диагнозам путем простановки точек на трех линиях (длиной 5 см). Точка слева означала, что мера соответствия диагноза равна нулю; точка на правом конце линии означала полное соответствие диагноза (единица). Кроме того, врачи должны были ориентировочно указывать нижние и верхние границы положения этих точек, т. е. доверительных интервалов для оценок векторов  $\mathbf{M}$ .



Для большинства обследованных больных оценочные диагностические точки располагались на границах шкалы измерения размытых множеств, т. е. эти случаи соответствовали достаточно ясным клиническим состояниям больных. В этих случаях доверительные интервалы резко сокращались, так как врачи были уверены в своих мнениях. В остальных случаях врачи на основе описанной методики давали количественные оценки меры соответствия диагноза для каждой из трех групп и показывали, в какой степени они уверены в своих оценках. При использовании четко разграниченных диагнозов врачи во многих случаях затруднялись решить вопрос о принадлежности больного к одной определенной группе. Введение понятий размытых множеств и доверительных интервалов позволило врачам более точно выразить принадлежности пациентов к тем или иным диагностическим категориям.

Рассмотрим подход Ф. Греми [28] к применению понятия полезности в медицинских решениях. Этот подход позволяет оценить, в частности, целесообразность дополнительных обследований больных, а также более рационально построить процесс обучения диагностике. Ф. Греми приводит пример из неврологии. Возможные неврологические диагнозы группируются в 31 категорию с целью упрощения диагностики. На основе байесовского подхода вырабатывается вектор вероятностей  $p$ , в котором каждый диагноз  $D_i$  определяется апостериорной вероятностью  $p(D_i)$ . Авторы подчеркивают, что знание вектора  $p$  еще недостаточно для окончательного выбора диагноза и метода лечения. На практике врачи не всегда ориентируются на наиболее вероятные диагнозы. Например, при распределении вероятностей  $p_1 = 0,45$  для злокачественной опухоли;  $p_2 = 0,40$  для церебрального абсцесса,  $p_3 = 0,15$  для остальных диагнозов, большинство врачей будут ориентироваться на второй диагноз как наиболее операбельный. Отсюда видно, что только знание вектора вероятностей является недостаточным для медицинского решения. Необходимо также учитывать последствия, которые будут иметь пациенты в связи с выбором того или иного решения.

Таким образом, возникает понятие так называемого «утилитарного» диагноза, определяемого по максимальному значению функции ожидаемой полезности:

$$\Pi = \sum_{i=1}^n p(D_i)U(D_i|D_i)$$

где  $U(D_j|D_i)$  — мера полезности принятия диагноза  $D_j$  при условии, что фактический диагноз будет  $D_i$ .

Задача, простая теоретически и очень сложная практически, заключается в том, как оценить различные «полезности» с учетом многочисленных факторов, которые зачастую трудно представить в количественной форме. К числу таких вопросов относятся:

- как оценить эффективность лечения  $D_j$  в случае, если будет иметь место заболевание  $D_i$ ;
- как уменьшить произвол в определении  $D_i$ ;
- как оценить значимость таких факторов, как хирургический риск, ятрогенный эффект, функциональные расстройства, риск специальных тестов и т. д.;
- как учесть индивидуальные факторы (возраст и т. п.).

В работе Ф. Греми была рассчитана матрица размера  $31 \times 31$ , т. е. 961 значение функции полезности  $U(D_j|D_i)$ . Произвольно была выбрана шкала от 0 до 10, где 0 соответствует минимуму полезности, а 10 — максимуму. Было принято решение, что диагональные элементы матрицы должны иметь наибольшие значения, равные 10.

Методология определения недиагональных элементов основывается на следующих принципах:

- необходимо учитывать по возможности все факторы;
- матрица полезности по своему физическому смыслу является несимметричной  $U(D_j|D_i) \neq U(D_i|D_j)$ ;
- необходимо обеспечить получение однородной матрицы полезностей. Это значит, что если действия, связанные с  $D_i$ , имеют одинаковую эффективность в случаях  $D_j$  и  $D_k$ , то нужно обеспечить равенство  $U(D_i|D_j) = U(D_i|D_k)$ .

С использованием этой матрицы были произведены оценки диагнозов, полученных с учетом и без учета дополнительных обследований и тестов. При этом рассматривались только обследования, которые могут производиться терапевтами общего профиля. Было установлено, что данная методика помогает врачам выбрать рациональное практическое решение, т. е. ориентироваться на наиболее информативные и доступные данные. Методика была проверена на 200 историях болезней, причем результаты, полученные на основе расчетов полезностей, сравнивались с оценками опытных специалистов. Из 200 случаев в 189 имело место полное совпадение; в 11 случаях — расхождение. Для оценки реальной ценности дополнительных обследований было проведено сравнение утилитарных диагнозов, полученных с учетом и без учета этих дополнительных обследований. При этом из 189 случаев в 154 (81,5%) учет дополнительных обследований не привел к изменению диагнозов. Оставшиеся 35 случаев делятся на две группы: 15 случаев, в которых изменение диагноза не приводило к серьезным

последствиям (так как новые диагнозы требовали дополнительных обследований или уточнений), и 20 случаев, в которых имело место существенное изменение диагноза.

Несмотря на общую положительную оценку методики, использующей утилитарные диагнозы, ряд моментов вызывает сомнения. В первую очередь это относится к субъективным оценкам. В частности, требует обоснования подход, при котором диагональным элементам матрицы присваиваются максимальные значения полезностей. Далее, каждый рассматриваемый диагноз является фактически группой диагнозов и нужно обосновать подход к оценке функции полезности для группы диагнозов. В матрице полезностей пока не учитывались индивидуальные свойства больного (очевидно, что полезность назначения антикоагулянтов для 50-летнего и для 80-летнего больного не будет одинаковой).

Построение матрицы полезностей позволяет систематически проанализировать возможные стратегии диагностики и лечения и обеспечивает воспроизводимость медицинских решений, т. е. приносит пользу в практике врачей. Однако врачам приходится учитывать и Риск, связанный с медицинским решением, что пока не укладывается в этот подход.

Как уже говорилось, принципиальным отличием размытых множеств от классических (дискретных) является то, что вхождение любого элемента в то или иное размытое множество определяется с помощью так называемой функции принадлежности, которая может принимать любые значения от 0 до 1.

В случае классических множеств эта функция может принимать только одно из двух дискретных значений: 0 или 1 (да или нет). Функция принадлежности не представляет собой вероятности вхождения того или иного конкретного объекта в данное множество, а дает характеристику (как правило, субъективную) степени выраженности определенного свойства данного множества. Так, при дискретном подходе температурная характеристика понятия «лихорадка» (множества больных данным видом заболевания) будет задана в виде условия: температура больше  $37,5^\circ$ . При использовании размытых множеств эта характеристика будет представлена в виде непрерывной кривой, имеющей три участка: плавный подъем от нуля до 0,1 на интервале изменения температуры от  $37$  до  $37,6^\circ$ , резкий подъем от 0,1 до 0,8 на интервале от  $37,6$  до  $38^\circ$  и плавный участок от 0,8 до 0,95 на интервале от  $38$  до  $39^\circ$  с последующим асимптотическим приближением к 1 по мере повышения температуры. Для различных признаков функции принадлежности могут иметь разный характер, включая как частный случай дискретную функцию (да, нет).

Обычные словесные оценки симптомов (признаков), такие как «слабый», «средний», «сильный», «очень сильный», «ярко выраженный», учитываются применением простых трансформаций функций принадлежности. Возможной интерпретацией оценки «очень» может быть квадрат функции принадлежности, интерпретацией «умеренный» может быть корень квадратный функции принадлежности и т. д.

Автор теории размытых множеств Л. Заде [33] дал определения основных операций над размытыми множествами. Пусть  $S$  и  $T$  — два размытых множества, являющихся подмножествами множества  $U$ . Пусть  $\mu_S(x)$  и  $\mu_T(x)$  представляют собой функции принадлежности для множеств  $S$  и  $T$  соответственно. Тогда основные операции над размытыми множествами определяются следующим образом:

$$\text{объединение} \quad S \cup T = \int_U (\mu_S(x) \vee \mu_T(x)) dx;$$

$$\text{пересечение} \quad S \cap T = \int_U (\mu_S(x) \wedge \mu_T(x)) dx;$$

$$\text{алгебраическая сумма} \quad S + T = \int_U (\mu_S(x) + \mu_T(x) - \mu_S(x)\mu_T(x)) dx;$$

$$\text{алгебраическое произведение} \quad S * T = \int_U (\mu_S(x) \times \mu_T(x)) dx.$$

В этих формулах операции дизъюнкции  $\vee$  и конъюнкции  $\wedge$  определены для действительных аргументов  $a$  и  $b$  следующим образом;

$$a \vee b = \max(a, b) = \begin{cases} a, & \text{если } a \geq b; \\ b, & \text{если } a < b; \end{cases}$$

$$a \wedge b = \min(a, b) = \begin{cases} a, & \text{если } a \leq b; \\ b, & \text{если } a > b. \end{cases}$$

Перечисленные операции над размытыми множествами используются при построении алгоритмов выработки медицинских решений, сочетающих положительные стороны интуитивных врачебных подходов и точные математические методы, использующие законы логики и теории вероятностей.

Перейдем теперь к более детальному рассмотрению понятия «полезность» с точки зрения его использования при выборе медицинских решений. Прежде всего необходимо подчеркнуть вероятностную природу этого понятия и эмпирический характер определения функций полезности. Полезность в математическом смысле — это некоторая числовая оценка, приписанная каждому из возможных исходов процесса решения, измеряющая значимость (или тяжесть) соответствующих последствий решения.

Заметим, что применение понятия полезности в медицине не связано с какими-либо попытками оценивать стоимость человеческой жизни или здоровья, как иногда ошибочно считают некоторые авторы. Полезность является числовой мерой предпочтительности различных исходов на заранее заданной относительной шкале, охватывающей только сравниваемые исходы. Вне этой шкалы математическое понятие полезности не имеет какого-либо смысла. Для более четкого пояснения этого понятия рассмотрим следующий пример. Пусть в результате хирургической операции больной может оказаться в одном из трех возможных состояний: хорошем, среднем и плохом. Припишем двум крайним состояниям числовые оценки 1 и 0. Возникает вопрос; какую оценку приписать среднему состоянию. Чтобы ответить на этот вопрос, допустим, что больной находится в среднем состоянии и в результате операции может перейти в хорошее (с вероятностью  $p$ ) или плохое состояние (с вероятностью  $1-p$ ). Ясно, что чем больше вероятность  $p$ , тем легче больному (или его родственники, а также хирург) пойдет на эту операцию. Очевидно, что в каждом конкретном случае существует некоторая минимальная вероятность  $p_{\min}$ , при которой операция еще может быть предпринята. Таким образом, операция будет предпринята при  $p > p_{\min}$  и отклонена при  $p < p_{\min}$ . Случай, когда  $p = p_{\min}$ , соответствует нахождению больного в среднем (промежуточном) состоянии и значение  $p_{\min}$  может рассматриваться как числовая мера полезности этого среднего состояния. Отсюда видно, что полезность имеет вероятностную природу, измеряется на вероятностной шкале (от 0 до 1) и определение значения полезности зависит от суждений (оценок) некоторого лица (группы лиц, учреждения и т. п.).

В данном примере будут три значения полезности:  $U_1 = 1$  для хорошего состояния ( $S_1$ );  $U_2 = p_{\min}$  для среднего состояния ( $S_2$ );  $U_3 = 0$  для плохого состояния ( $S_3$ ).

Предположим теперь, что в некотором реальном случае эти три исхода ( $S_1, S_2, S_3$ ) имеют вероятности  $p_1, p_2, p_3$ , причем  $p_1 + p_2 + p_3 = 1$ . Можно считать, что хороший исход (хорошее состояние) достигается как бы двумя путями: а) прямым переходом в состояние  $S_1$ , с вероятностью  $p_1$  и б) двойным переходом сначала в состояние  $S_2$  с вероятностью  $p_2$  и затем в состояние  $S_1$  с вероятностью  $p_{\min}$  (так как само состояние  $S_2$  определено как состояние, переход из которого в состояние  $S_1$  имеет вероятность  $p_{\min}$ ). Вероятность достижения хорошего исхода  $p^*$  будет равна  $p_1 + p_2 U_2$ . Имея в виду, что  $U_1 = 1$ , а  $U_3 = 0$ , можно записать  $p^* = p_1 U_1 + p_2 U_2 + p_3 U_3$ . Полученное выражение представляет собой значение так называемой ожидаемой полезности реальной операции. Таким образом, ожидаемая полезность процесса принятия решения в некотором направлении определяется как математическое ожидание полезности при всех возможных исходах. Вообще принимать решение в данном направлении имеет смысл в том случае, если ожидаемая полезность этого решения выше, чем решения в другом направлении.

Заметим, что для измерения значений полезности можно применять не только шкалу 0—1, но и другие шкалы; можно сдвигать точку отсчета от 0 и изменять масштаб шкалы (т. е. умножать все значения полезностей на определенный коэффициент).

Перейдем теперь к вопросу о самом процессе измерения (оценки) полезностей. Допустим, что сравниваемые исходы зависят от одной независимой переменной, представляющей собой некоторые затраты, усилия, параметр процесса или состояния и т. п. Исходы могут быть упорядочены от наихудшего до наилучшего, например от слепоты до нормального зрения. Ситуация может быть представлена графиком, на котором по оси абсцисс откладываются значения независимой переменной, а по оси ординат — значения полезностей.

Пусть выбраны два каких-то исхода  $S_1$  и  $S_3$ , со значениями полезностей  $U_1$  и  $U_3$ . Требуется назвать промежуточный исход  $S_2$  такой, чтобы для данного лица были равноценны возможные переходы от этого исхода ( $S_2$ ) к исходу  $S_1$  (лучшему) и к исходу  $S_3$  (худшему) при условии, что вероятности этих переходов равны, т. е. 0,5. Например, если независимая переменная представляет собой время пребывания в больнице и исход  $S_1$  соответствует 10 дням, а исход  $S_3$ —20 дням, то большинство людей выберут в качестве промежуточного исхода  $S_2$  исход, соответствующий примерно 17 дням. Возможная потеря (за

счет какого-то мероприятия или процедуры) в 3 дня может считаться эквивалентной с точки зрения выбора решения возможному выигрышу в 7 дней.

Существует и второй подход к анализу полезностей. Задаются три исхода  $S_1, S_2, S_3$  и спрашивают у некоторого лица, каковы должны быть вероятности переходов из  $S_2$  в  $S_1$  ( $p$ ) и из  $S_2$  в  $S_3$  ( $1 - p$ ) с тем, чтобы исход (промежуточный) был приемлемым с точки зрения возможных переходов из этого состояния в  $S_1$  и в  $S_3$ .

При первом подходе задано условие равных вероятностей переходов из  $S_2$  в  $S_1$  и из  $S_2$  в  $S_3$  и требуется указать это состояние  $S_2$ . При втором подходе заданы все три состояния (исход) и требуется указать приемлемые вероятности переходов из  $S_2$  в  $S_1$  и из  $S_2$  в  $S_3$ . Второй подход является более гибким, так как применим к любым исходам, но требует более сложных оценок вероятностей. Например, если заданы три исхода:  $S_1 = 20, S_2 = 15, S_3 = 10$ , то при первом подходе большинство лиц назовут приемлемую вероятность для перехода из  $S_2$  в  $S_1$  в 0,7. Это значит, что 30% шансов потерять 5 дней равноценны 70% шансов выиграть 5 дней.

Общей рекомендацией при оценке полезностей различных исходов и выборе среднего (промежуточного) исхода является по возможности полный учет реальных условий и последствий каждого из исходов. При этом можно считать, что полезность среднего исхода равна ожидаемой полезности данного процесса принятия решений, т. е.

$$U_2 = p_1 U_1 + p_2 U_2 + p_3 U_3.$$

Имея в виду, что  $p_2 = 1 - p_1 - p_3$ , получаем

$$U_2 = \frac{p_1 U_1 + p_3 U_3}{p_1 + p_3}.$$

Эта формула позволяет рассчитать  $U_2$  по заданным вероятностям  $p_1$  и  $p_3$  и полезностям  $U_1$  и  $U_3$ . Можно рассчитывать также  $p_1$  или  $p_3$ , если заданы остальные величины.

### 2.3. Нахождение оптимальных решений методами математического программирования

Оптимальным решением принято называть одно из возможных решений заданной проблемы, которое наилучшим образом позволяет достичь цели. Оценка того, в какой мере то или иное решение является оптимальным, может производиться человеком либо интуитивно на основе своего опыта, либо с помощью расчетов конкретных показателей (суммы расходов, сроков выполнения работ, объема полученных результатов и т.д.). Если проблема допускает математическое описание исходных условий и критерия качества решения, то для нахождения оптимального решения могут быть использованы математические методы. Обычно применение этих методов связано с большим объемом вычисления, и их практическая реализация требует использования ЭВМ.

В зависимости от особенностей математического описания (постановки) задачи применяются различные математические методы; каждый из методов служит для решения задач определенного класса. Обычно уже при формулировке задачи и построении ее математического описания ориентируются на использование определенного метода. При выборе метода учитываются также требования желаемой точности нахождения оптимального решения и ожидаемая точность получения исходных данных. Часто первое приближенное решение определяет интуитивно человек, а уточнение этого решения (его оптимизация) производится с помощью математических методов. Бывает и наоборот, что, применяя приближенный математический метод, определяют ориентировочный вариант «оптимального» решения, окончательный же выбор решения производит человек.

Известно, что в классической математике существуют методы решения экстремальных задач — методы нахождения максимумов или минимумов функций одной или нескольких переменных. Эти методы используются и при поиске оптимальных решений в автоматизированных системах управления в экономике, в здравоохранении и в других областях народного хозяйства. Однако эти методы имеют ряд принципиальных ограничений, препятствующих их широкому применению при поиске оптимальных решений в сложных системах управления. Во-первых, функции выражающие связь между исходными условиями (аргументами) и результатами оптимизируемых процессов, должны обладать определенными свойствами — иметь первые и вторые производные, экстремальные значения функции не должны находиться на границе области изменения переменных, не допускается наличие неравенств среди ограничений, определяющих область изменения переменных. Во-вторых, практические

возможности применения классических методов решения экстремальных задач резко убывают при увеличении числа переменных.

В связи с изложенным в течение последних четырех десятилетий создано много новых специальных методов нахождения оптимальных решений, которые в настоящее время принято объединять общим названием «математическое программирование». Характерными особенностями методов математического программирования являются большое количество переменных, от которых зависит исследуемая функция, дискретный характер изменения переменных; наличие неравенств среди ограничений, определяющих область изменения переменных; обязательность неотрицательности переменных. Одним из первых методов математического программирования, предложенным в 1939 г. советским математиком Л. В. Канторовичем, был метод линейного программирования.

Термины «линейное программирование» и «математическое программирование», как и упоминаемые в дальнейшем термины «динамическое программирование» и «стохастическое программирование», не следует смешивать с программированием для ЭВМ. Термином «линейное программирование» (введенным еще до появления ЭВМ) обозначается метод решения некоторого класса задач, взятых первоначально из области экономического планирования. В настоящее время этот термин, как и упомянутые выше, получил большое распространение, так что замена его другим термином, например «линейное планирование», нецелесообразно.

Линейное программирование в настоящее время является наиболее популярным методом нахождения оптимальных решений.

Следует подчеркнуть две стороны проблемы применения указанных математических методов в медицине и здравоохранении:

- 1) постановку задач для решения этими методами; 2) выбор метода решения и его реализацию.

Если вторая сторона дела является уделом математиков и программистов, то с первой, т. е. с методикой постановки задач, должны быть знакомы врачи, организаторы здравоохранения, биологи, экономисты и другие специалисты, которые собираются применять в своих конкретных областях ЭВМ и математические методы. В связи с этим в данной книге мы не затрагиваем вопросов построения методов решения, а постараемся на нескольких примерах пояснить сущность постановок задач для решения указанными методами.

В качестве примера постановки задачи линейного программирования рассмотрим задачу о выборе рационального (оптимального) варианта оборудования некоторой Лаборатории, обеспечивающего заданное количество различных процедур в заданное время при минимальной стоимости оборудования (приводим один из возможных вариантов).

Пусть имеется  $n$  видов приборов  $\Pi_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , которые можно комбинировать, составляя оборудование лаборатории. Каждый из этих видов приборов может выполнять определенный набор процедур из общего числа  $m$  различных процедур  $Q_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ , необходимых для функционирования лаборатории. Наборы процедур, выполняемых отдельными приборами, задаются матрицей  $a_{ij}$ , где  $a_{ij}$  означает производительность прибора, т. е. количество процедур вида  $Q_j$ , выполняемых в день прибором вида  $\Pi_i$  причем каждый прибор может выполнять в течение дня только один вид процедур.

Задаются дневные нормы, т. е. необходимое количество процедур каждого вида, которые должны выполняться лабораторией в день  $N_j$ , стоимость каждого вида приборов  $c_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , наличные запасы каждого вида приборов  $B_i$  (максимально допустимая заявка на каждый вид приборов), максимально допустимые количества приборов данного вида в лаборатории  $S_i$  (например, крупногабаритные приборы могут занимать слишком много места или приборы могут требовать трудоемкого обслуживания и т. д.).

Требуется найти такой набор приборов в лаборатории  $X(x_i)$ , который бы выполнял необходимые количества процедур каждого вида, имел бы минимальную стоимость

$$F(x_i) = \sum_{i=1}^n c_i x_i$$

и удовлетворял бы перечисленным ограничениям

$$\sum_i a_{ij} x_i \geq N_j, \quad B_i \geq x_i \geq 0, \quad x_i \leq S_i.$$

При этом налагается дополнительное условие, чтобы величины  $x_i$  принимали целочисленные значения, так как приборы по физическому смыслу должны использоваться целыми единицами. Можно решать эту задачу, и не налагая дополнительного условия на целочисленность  $x_i$ . При получении в качестве ответа дробных значений  $x_i$  производится округление этих значений исходя из общих интуитивных соображений. Очевидно, что такой путь позволяет получить приближенное решение, что на практике зачастую оказывается вполне достаточным. Таким образом, мы выразили математически поставленную задачу. После того как будут заданы конкретные значения всех величин, входящих в приведенные выражения, методами линейного программирования можно получить искомое решение задачи.

Для решения задач линейного программирования существует общий метод; кроме того, для многих частных случаев задач линейного программирования имеются специальные эффективные методы решения. Таким образом, линейное программирование позволяет находить оптимальные варианты решений в тех случаях, когда целевая функция и все ограничения являются линейными.

После ознакомления с конкретным примером рассмотрим общую постановку задач математического программирования.

Пусть требуется найти вектор  $\mathbf{X} (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , обеспечивающий экстремум функции  $\mathbf{F} (\mathbf{X}) = \mathbf{F} (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , называемой целевой функцией, при наличии следующих ограничений на значения независимых переменных  $x_1, x_2, \dots, x_n$ :

$$\begin{aligned} q_i (x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0, \quad i = 1, 2, \dots, m_1 \\ q_i (x_1, x_2, \dots, x_n) &\leq 0, \quad i = m_1 + 1, \dots, m, \\ x_j &\geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n. \end{aligned}$$

На практике целевая функция (цель) представляет собой обычно то главное условие, которое должно быть достигнуто при выполнении задачи, а ограничения представляют собой те обязательные условия, которые должны учитываться при достижении цели.

В математике абсолютное значение (длина) некоторого вектора  $X$ , выходящего из начала координат, является функцией координат  $x_1, x_2, \dots, x_n$  его конца (т.е. проекций конца вектора на оси координат), В нашем случае искомое значение  $X$  (дневной рацион, план облучения и т. д.) тоже определяется некоторым набором величин  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , которые обозначают соответствующие задаче параметры (калорийность продуктов питания, направление облучения и т. п.). Наличие этой аналогии позволяет в общем случае называть искомую величину вектором, а параметры, от которых она зависит, — координатами.

Функция  $F (X)$  и ограничения  $q_i (X)$  могут иметь различный характер, и в зависимости от этого меняется методика решения задачи и определяется тот или иной раздел математического программирования. Если  $F (X)$  и  $q_i (X)$  являются линейными функциями переменных  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , т. е. существует пропорциональная зависимость этих функций от аргументов в первой степени, то задача относится к линейному программированию. В рассмотренном выше примере как раз имели место такого рода зависимости.

Если целевая функция  $F (X)$  или некоторые из ограничений  $q_i (X)$  нелинейны, то задача относится к так называемому нелинейному программированию.

Задачи нелинейного программирования, вообще говоря, решить значительно труднее, чем задачи линейного программирования, и поэтому путем упрощающих допущений их обычно стремятся свести к задачам линейного программирования, если это не приводит к существенной потере точности.

Наиболее разработан в нелинейном программировании случай, когда целевая функция является полиномом второй степени, а ограничения линейны. Для задач такого рода принято название «квадратичное программирование».

Если среди параметров, определяемых условием задачи, имеются случайные величины, то задача относится к стохастическому программированию, которое применяется для выработки оптимальных планов, учитывающих вероятностные характеристики процессов.

Примером постановки задачи стохастического программирования в области здравоохранения может служить задача долгосрочного планирования развития сети лечебно-профилактических учреждений. При этом, естественно, имеет место некоторая неопределенность в исходных данных, определяющих потребность в различных видах медицинского обслуживания, а также возможные ресурсы и затраты. При

практической реализации любого перспективного плана обязательно будут невязки, для устранения которых необходимо заранее предусмотреть резервы.

Задача долгосрочного планирования решается методом стохастического программирования в два этапа; при этом рассчитываются как затраты на собственно выполнение плана, так и затраты (резервы), необходимые для корректировки этого плана в процессе реализации. При математической постановке задачи стохастического программирования необходимо ввести некоторую случайную величину  $\omega$ , определяющую степень отклонения фактического состояния внешней среды в период реализации плана от предполагаемого состояния в период его составления. Для учета влияния этой случайной величины на решение нужно задать зависимости коэффициентов уравнений от величины  $\omega$ .

Рассмотрим постановку задачи стохастического программирования на примере распределения ресурсов при долгосрочном планировании строительства объектов:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}(\omega) x_j + \sum_{l=1}^r b_{il}(\omega) y_l = C_i(\omega), \quad x_j \geq 0, \quad y_l \geq 0,$$

$$i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; l=1, 2, 1, \dots, r;$$

$x_j$  — суммарные плановые затраты по  $j$ -й статье ( $j$ -й ресурс) на строительство всех  $m$  объектов;  $C_i$  — суммарные плановые и дополнительные затраты по всем статьям на строительство  $i$ -го объекта;  $y_l$  — суммарные дополнительные затраты по  $l$ -й статье на строительство всех  $m$  объектов.

План  $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$  рассчитывается при определенном допущении относительно значения  $\omega$ . После того как станет известным фактическое значение  $\omega$ , невязки (расхождения) в уравнениях устраняются за счет вектора коррекции плана  $Y(y_1, y_2, \dots, y_r)$  при заданных  $X$  и  $\omega$ .

Суммарные затраты на реализацию и коррекцию плана строительства всех  $m$  объектов определяют целевую функцию

$$F(X) = \sum_{j=1}^n d_j x_j + M \sum_{l=1}^r S_l(\omega) y_l(X, \omega),$$

где  $M, d_j, S_l$  — некоторые коэффициенты.

В результате решения задачи необходимо найти минимум суммарных затрат  $F(X)$  при условии  $X \geq 0$ , для чего требуется распределение значений компонент случайного вектора

$$y_l(X, \omega).$$

Практически задаются зависимостью решения  $X$  от случайной величины  $\omega$  и некоторых параметров  $Z(z_1, z_2, \dots, z_k)$ , т. е. полагают  $X(\omega) = f(\omega, z)$ . Например,  $X$  может зависеть от случайного колебания цен  $\omega$  на материалы и доли затрат на материалы (параметр  $Z$ ) в общей стоимости строительства.

Иногда параметры по физическому смыслу могут быть только целыми числами. Подобные задачи относятся к целочисленному программированию, решающему в основном комбинаторные задачи. Приведенная выше задача о выборе оптимального набора приборов для некоторой лаборатории относится к целочисленному программированию. Распространенным частным случаем такого рода задач являются задачи, в которых искомые переменные могут принимать одно из двух значений (0 или 1, «да», или «нет»).

В медицине к подобным задачам относятся задачи составления оптимальных расписаний обслуживания больных различными кабинетами, лабораториями и другими службами больницы, задачи выбора оптимальных наборов диагностических тестов, обеспечивающих минимальное время и достаточную надежность диагностики при условии минимального вреда больному, и т. п.

Для решения задач целочисленного линейного программирования существует общий метод, разработанный американским ученым Р. Гомори. Если искомое решение является двоичным, т. е. представляет собой логическую матрицу, то применяются в основном два метода — метод упорядоченного перебора и метод ветвей и границ.

Характерной особенностью задач перспективного планирования развития отраслей народного хозяйства, а также многих задач планирования деятельности предприятий является то, что весь планируемый период может быть разбит на ряд последовательных этапов выполнения плана и план для каждого последующего этапа зависит от состояния системы в начале этого этапа и не зависит от того пути, по которому система пришла в это состояние. Задачи этого класса решаются с помощью общей методики, получившей название динамического программирования.

Для таких задач существенным является допущение о том, что значение целевой функции в конце полного периода планирования может быть представлено в виде суммы значений этой функции для отдельных этапов этого периода. Обычно начальное и конечное состояния системы считаются известными и требуется определить оптимальный путь для перевода системы из начального состояния в конечное. Управление движением системы осуществляется с помощью некоторых воздействий, выбираемых для каждого этапа в зависимости от условий движения на этом этапе.

Суть общего подхода к решению задач динамического программирования заключается в последовательном рассмотрении возможных переходов системы из одного состояния в другое, начиная с ее конечного состояния. Таким образом, метод динамического программирования используется в тех случаях, когда процесс функционирования системы можно разбить на этапы так, что «будущее» системы полностью определяется ее «состоянием» в данный момент и не зависит от того, каким «путем» она достигла этого состояния.

Особый класс методов нахождения оптимальных решений разработан в теории игр. Методы теории игр позволяют находить оптимальные варианты решений в конфликтных ситуациях, в которых участвует несколько сторон, преследующих различные цели. Практическое применение теории игр началось в конце второй мировой войны при планировании военных операций, а также в процессах конкурентной борьбы различных капиталистических фирм. Особенности постановок подобных задач являются неполная информация о действиях противоположной стороны и необходимость учитывать интересы этой стороны при анализе возможных вариантов ее действий. В медицине и здравоохранении методы теории игр находят применение при планировании мероприятий по предотвращению эпидемий и борьбы с ними, при выборе оптимальных вариантов проведения диагностических и лечебных процедур, при машинной постановке диагнозов.

## 2.4. Методы прикладной математической логики

Математическая логика, называемая часто формальной логикой, занимается изучением логических основ математики. Она рассматривает математическими методами законы образования понятий, получения выводов из заданных посылок, возможности эквивалентных преобразований логических выражений, доказывает непротиворечивость отдельных теорем или выражений. Общая или диалектическая логика занимается, как известно, общими законами человеческого мышления, и ее можно рассматривать как философскую основу формальной логики.

Знакомство с элементарными сведениями из математической логики необходимо для лиц, занимающихся постановкой задач для решения на ЭВМ, в связи с тем, что это позволяет применять строгий логический подход к определению существа задач, последовательности их решения, проводить проверку и отбор необходимых исходных данных, осуществлять логический контроль данных и получаемых результатов. В математической логике разработаны удобные способы точной и компактной записи различных условий и признаков, определяющих процессы поиска, классификации, сортировки и отождествления различных объектов.

**Алгебра логики.** Наибольшее практическое применение в области обработки информации нашел раздел математической логики, называемый алгеброй логики. Этот раздел имеет широкое применение для описания, анализа и программирования алгоритмов решения различных задач управления и обработки информации. Используя символику и основные операции алгебры логики, можно составлять таблицы логических решений по управлению каким-либо административным органом, условия поиска данных или объектов, удовлетворяющих заданным признакам, т. е. условия отбора объектов по наборам признаков и др.

Аппарат математической логики, в частности, применяется при раз работке вопросов машинной диагностики различных заболеваний.

Алгебра логики является весьма четким и удобным средством, которым быстро овладевают специалисты разных профилей для описания своих задач с целью их постановки для решения на ЭВМ. В алгебре логики изучаются операции над высказываниями. Высказывание — это некоторое утверждение, которое может быть либо истинным, либо Ложным, т. е. обязательно принимает одно из двух этих значений и не может принимать сразу оба значения.

В алгебре логики отвлекаются от смысла высказываний и рассматривают их только с точки зрения истинности или ложности. Различают постоянные и переменные высказывания. Постоянные высказывания имеют фиксированное значение. Переменные высказывания могут изменять свое



значение истинности в зависимости от подстановки в высказывание некоторых конкретных наименований объектов, явлений, свойств или процессов. Например, «два меньше трех» — это постоянное высказывание. «Сегодня пятое число» — переменное высказывание, зависящее от того, что подразумевается под словом «сегодня». Высказывания обозначаются буквами, причем переменные высказывания обозначаются буквами, отличными от тех букв, которыми обозначаются постоянные высказывания. Применение переменных высказываний в алгебре логики служит для выражения общности; оно позволяет формулировать законы алгебры логики для любых высказываний. Переменные высказывания могут интерпретироваться как двоичные переменные и двоичные (или двузначные) функции, т. е. функции, которые принимают лишь два значения («истинно», «ложно»; 1 или 0), и зависят от одной или нескольких двоичных переменных.

Из одного или нескольких высказываний, принимаемых за простые, можно составлять сложные высказывания, которые будут двоичными функциями простых высказываний. Объединение простых высказываний в сложные в алгебре логики производится формально, т. е. без учета внутреннего содержания (смысла) этих высказываний. Используются определенные логические операции (или логические связи), позволяющие объединять некоторые данные высказывания (постоянные или переменные).

К числу основных логических операций относятся операции отрицания, конъюнкции, дизъюнкции, эквивалентности и импликации. Логические операции задаются таблично как функции простых высказываний.

Отрицание высказывания  $A$  — это высказывание, которое истинно, когда  $A$  ложно, и ложно, когда  $A$  истинно; обозначается через  $\bar{A}$  и читается «не  $A$ ».

$A$	$\bar{A}$
1	0
0	1

$A$	$B$	$A \wedge B$
1	1	1
0	1	0
1	0	0
0	0	0

$A$	$B$	$A \vee B$
1	1	1
0	1	1
1	0	1
0	0	0

$A$	$B$	$A \equiv B$
1	1	1
0	1	0
1	0	0
0	0	1

$A$	$B$	$A \neq B$
1	1	0
0	1	1
1	0	1
0	0	0

$A$	$B$	$A \rightarrow B$
1	1	1
0	1	1
1	0	0
0	0	1

Операция отрицания задается табл. 1. В этой и последующих таблицах истинное значение представляется единицей, а ложное — нулем.

Конъюнкция двух высказываний — сложное высказывание, которое истинно в случае истинности обоих высказываний, его образующих, и ложно в остальных случаях; обозначается через  $A \wedge B$  и читается « $A$  и  $B$ », знак логической операции имеет смысл союза «и» и называется знаком конъюнкции (другое обозначение  $\&$ , другое название — логическое умножение). Операция конъюнкции задается табл. 2.

Дизъюнкция двух высказываний — сложное высказывание, которое ложно в случае ложности обоих составляющих его высказываний и истинно в остальных случаях; обозначается  $A \vee B$  и читается « $A$  или  $B$ » (другое обозначение  $A \div B$ ; другое название — логическое сложение). Знак логической связи  $\vee$  имеет смысл союза «или» и называется знаком дизъюнкции. Дизъюнкция задается табл. 3.

Эквивалентность двух высказываний — сложное высказывание, истинное тогда, когда значения истинности составляющих высказываний одинаковы, и ложное в противном случае; обозначается  $A \equiv B$  и читается: « $A$  эквивалентно  $B$ ». Задается табл. 4.

Для эквивалентности справедливо, что  $A \equiv 1 = \bar{A}$  и  $A \equiv 0 = A$ . Применяв операцию отрицания к высказыванию, представляющему собой эквивалентность двух высказываний, получаем новое сложное высказывание  $\overline{A \equiv B}$ , называемое отрицанием эквивалентности. Используя специальный знак  $\neq$  для выражения отрицания эквивалентности, можно записать его в виде  $A \neq B$  (читается « $A$ » неэквивалентно

$B$ »). Нетрудно видеть, что знак имеет смысл исключаящего «или». Операция отрицания эквивалентности задается табл. 5.

Эта операция имеет важное значение в теории ЭВМ, так как она представляет собой так называемое сложение двоичных цифр по модулю два, т. е. сложение одиночных разрядов с отбрасыванием единицы переноса, если она появляется.

Импликация двух высказываний (обозначается  $A \rightarrow B$  и читается: «Если  $A$ , то  $B$ ») — такое сложное высказывание, которое ложно в том и только в том случае, когда  $A$  истинно, а  $B$  ложно. Задается табл. 6.

Импликация не предполагает обязательно связь по смыслу между условием  $A$  и следствием  $B$  (хотя и не исключает такой связи).

Любое сложное выражение, полученное из простых высказываний посредством указанных выше логических операций, называется формулой алгебры логики. Две формулы алгебры логики, образованные из простых высказываний  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , называются равносильными в том случае, если для каждой комбинации значений истинности высказываний  $A_1, A_2, \dots, A_n$  обе формулы алгебры логики будут иметь одинаковые значения истинности.

Полезными при преобразовании логических выражений являются следующие равносильные формулы, выражающие собой основные законы алгебры логики:

- 1)  $\bar{\bar{A}}=A$ ; 2)  $A \wedge B = B \wedge A$ ; 3)  $(A \wedge B) \wedge C = A \wedge (B \wedge C)$ ; 4)  $A \wedge (B \vee C) = (A \wedge B) \vee (A \wedge C)$ ; 5)  $(A \vee B) \vee C = A \vee (B \vee C)$ ;  
 6)  $A \wedge (B \vee C) = (A \wedge B) \vee (A \wedge C)$ ; 7)  $A \vee (B \wedge C) = (A \vee B) \wedge (A \vee C)$ ; 8)  $\overline{A \vee B} = \bar{A} \wedge \bar{B}$  9)  $\overline{A \wedge B} = \bar{A} \vee \bar{B}$ ;  
 10)  $A \wedge A = A$ ; 11)  $A \vee A = A$ ; 12)  $A \wedge 1 = A$ ; 13)  $A \vee 0 = A$ ; 14)  $A \vee 1 = 1$ ; 15)  $A \wedge 0 = 0$ ;

Проверка справедливости указанных соотношений может быть произведена на основании определений и таблиц логических операций — конъюнкции, дизъюнкции и отрицания. Соотношения 1—15 используются для преобразования сложных логических выражений к более удобному или простому виду. Соотношения 2, 3, 4, 5 показывают, что для операций конъюнкции и дизъюнкции справедливы переместительный и сочетательный законы, в силу чего многочленные конъюнкции и дизъюнкции можно писать без скобок. Например, вместо  $[(A \wedge B) \wedge C] \wedge D$  можно просто написать  $A \wedge B \wedge C \wedge D$ . Для дальнейшего уменьшения числа скобок в логических формулах соглашаются считать связь с помощью знака  $\wedge$  более тесной, чем с помощью знака  $\vee$ , а последнюю — более тесной, чем связь с помощью знаков  $\equiv, \neq, \rightarrow$ . Выражения вида  $A \wedge B \wedge C \wedge D$  часто называются произведением, а члены его — множителями.

Выражения вида  $A \vee B \vee C \vee D$  называют суммой, а члены его — слагаемыми. Соотношение 6 показывает, что в алгебре логики справедлив закон распределительности конъюнкции относительно дизъюнкции. Запись его в виде  $A(B + C) = A \cdot B + A \cdot C$  (где точка означает логическое умножение, а плюс — логическое сложение) наглядно показывает аналогию между этим законом и законом распределительности умножения относительно сложения в обычной арифметике. Но, в отличие от арифметики, в алгебре логики имеет место еще закон распределительности дизъюнкции относительно конъюнкции, выражаемый соотношением 7. Оба распределительных закона позволяют производить над формулами алгебры логики преобразования раскрытия скобок и вынесения общих множителей подобно тому, как это делается в обычной алгебре (а также вынесение общих слагаемых).

Соотношения 8 и 9 с соотношением 1 позволяют преобразовывать логические выражения к такому виду, что знаки отрицания будут относиться только к простым высказываниям.

Помимо соотношений 1—15 полезными для преобразования логических выражений являются следующие равносильные формулы:

- 16)  $A \vee \bar{A} \wedge B = A \vee B$ ; 17)  $(A \wedge (\bar{A} \vee B)) = A \wedge B$ ; 18)  $A \vee A \wedge B = A$ ; 19)  $A \wedge B \vee \bar{A} \wedge C = A \wedge B \vee \bar{A} \wedge C \vee B \wedge C$ ; 20)  $A \wedge (A \vee B) = A$ ; 21)  $(A \vee B) \wedge (\bar{A} \vee C) = (A \vee B) \wedge (\bar{A} \vee C) \wedge (B \wedge C)$ ; 22)  $\bar{A} \vee A \wedge B = \bar{A} \vee B$ ;  
 23)  $\bar{A} \wedge (A \vee B) = \bar{A} \wedge B$ ; 24)  $A \rightarrow B = \bar{A} \vee B$ ; 25)  $A \equiv B = A \wedge B \vee \bar{A} \wedge \bar{B}$ ;

Использование последних двух соотношений позволяет любые выражения, содержащие знаки  $\rightarrow$  и  $\equiv$ , приводить к выражениям, содержащим только знаки  $\wedge, \vee, \bar{\phantom{A}}$ .

**Логика предикатов.** В алгебре логики, как вы уже видели, участвуют только двоичные (логические) переменные, которые могут принимать только одно из двух значений: истинно или ложно. Физический смысл этих переменных, т. е. что (какое утверждение) является ложным или истинным, непосредственно в формулах алгебры логики не отражается. Поэтому алгебра логики оказывается недостаточной для описания конкретных отношений между предметами и свойств

конкретных предметов, так как в ней мы отвлекаемся от содержания высказываний, т. е. как бы не интересуемся происхождением значения истинности той или иной логической переменной.

Свойства конкретных предметов и отношения между ними, т. е. первичные элементы, из которых образуются уже логические переменные, могут быть выражены с помощью так называемой логики предикатов. В логике предикатов участвуют так называемые «предметные» переменные, которые могут принимать любые значения в определенной предметной области, называемой полем значений. Примерами полей значений могут быть все целые числа, все студенты института и т. д. Различают одноместные и многоместные предикаты. Одноместный предикат  $F(x)$  — это (какое-то двоичное высказывание) логическая функция от одного аргумента  $x$ , который может принимать любое значение на некотором поле  $M$ ; здесь  $x$  — предметная переменная. Предметные переменные обозначаются строчными латинскими буквами, а предикаты — прописными латинскими буквами:

$F, G, H$  — предикатные буквы;

$F(), G(), H()$  — предикатные символы.

Предикатные буквы можно рассматривать как определенные предикаты (например, «равно», «больше» и др.), а можно как переменные вместо которых можно подставить любой предикат, определенный на данном поле (области). Одноместный предикат выражает наличие или отсутствие определенного свойства предмета, т. е. в зависимости от конкретного значения предметной переменной  $x$  предикат  $F(x)$  может быть истинным или ложным. Если, например,  $x$  обозначает регистрационный номер какого-либо пациента, выписанного из больницы в течение отчетного года, а предикат  $F(x)$  означает «пациент имел операцию желудка», то этот предикат  $F(x)$  принимает истинное значение каждый раз, когда вместо  $x$  подставляется регистрационный номер пациента, которому была сделана операция желудка. Во всех других случаях этот предикат будет принимать ложное значение (т. е. для всех других пациентов).

Многоместный предикат  $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$  — это логическая функция от  $n$  аргументов, выражающая не только свойства, но и отношения между предметами. Здесь  $x_1, x_2, \dots, x_n$  — предметные переменные, принимающие значения на некотором поле  $M$ . Например, пусть  $x_1, x_2, x_3$  — предметные переменные на поле целых чисел. Тогда предикат  $F(x_1, x_2)$  может означать, что  $x_1 < x_2$ , т. е.  $x_1$  меньше  $x_2$ ; предикат  $S(x_1, x_2, x_3)$  может означать, что  $x_1 + x_2 = x_3$ , т. е. что сумма  $x_1$  и  $x_2$  равна  $x_3$ ; предикат  $\Pi(x_1, x_2, x_3)$  может означать  $x_1 \times x_2 = x_3$ , т. е. произведение  $x_1$  на  $x_2$  равно  $x_3$ . Если для некоторых конкретных значений предметных переменных условие, заданное предикатом, выполняется, то он принимает значение истинно (т. е. равен единице), в противном случае он принимает значение ложно, т. е. равен нулю. Например, для  $x_1 = 1, x_2 = 3, x_3 = 4$  предикат  $S(x_1, x_2, x_3) = 1$ , а для  $x_1 = 1, x_2 = 2, x_3 = 4$  предикат  $S(x_1, x_2, x_3) = 0$ .

Так как предикаты — это логические функции, т. е. функции, имеющие значение истинно или ложно, то к ним применимы все операции алгебры логики и из них можно образовывать сложные выражения. Например, пусть  $P(x)$  означает « $x$  — четное число»,  $Q(x)$  — означает « $x$  — простое число»,  $F(x, y)$  — означает « $x < y$ ». Из этих простых предикатов можно получить формулу для сложного предиката  $R(x, y)$  со следующей словесной формулировкой:  $R(x, y)$  истинно, если  $x < y$  и  $x$  четно, а  $y$  нечетно и еще также  $x$  — непростое число или  $y$  — простое число.

$$R(x, y) = F(x, y) \wedge P(x) \wedge \overline{P(y)} \wedge [\overline{Q(x)} \vee Q(y)].$$

Предикатные формулы удобны для представления свойств предметов и отношений между ними, однако набор операций, который был рассмотрен в алгебре логики, недостаточен для представления признаков или свойств, касающихся всей совокупности предметов или объектов определенного поля. Например, с их помощью невозможно выразить, что существует такое  $z$ , которое отвечает условию  $x < z < y$ . Невозможно также выразить например что любое  $z$  между  $x$  и  $y$  не делится на 3 и т. п. В логике предикатов для этого вводятся две новые операции, называемые кванторами: *квантор общности* и *квантор существования*. Квантор общности для предиката  $R(x)$ , обозначаемый  $(x)R(x)$ , представляет собой логическое выражение, которое истинно, если для всякого  $x$  на поле  $M$  предикат  $R(x)$  истинен. Квантор существования для предиката  $R(x)$ , обозначаемый  $(Ex)R(x)$ , представляет собой логическое выражение, которое истинно, если существует хотя бы одно  $x$  на поле  $M$ , для которого предикат  $R(x)$  истинен.

Применение квантора общности к одноместному предикату дает константу (для данного предметного поля), не зависящую от  $x$ . То же имеет место и для квантора существования. Например  $(Ex)P(x)$ , где  $P(x)$  означает « $x$  — четное число», на поле натуральных чисел есть константа «1», так как на этом поле четные числа существуют. Квантор общности представляет собой обобщение операции конъюнкции: пусть поле  $M$  состоит из значений  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , тогда можно записать

$$(x) R(x) = R(x_1) \wedge R(x_2) \wedge \dots \wedge R(x_n).$$

Квантор существования является обобщением дизъюнкции

$$(Ex)R(x) = R(x_1) \vee R(x_2) \vee \dots \vee R(x_n).$$

Предметная переменная, отнесенная квантору, называется связанной, а не отнесенная квантору — свободной. Применение квантора к  $n$ -местному предикату связывает одну переменную, оставляя остальные свободными, т. е. из  $n$ -местного получается  $(n - 1)$ -местный предикат. Например,  $(Ex) F(x, y)$  — одноместный предикат, зависящий от  $y$ , который ложен только при  $y = 1$ .

Логические векторы и матрицы. При программировании информационно-логических задач широко применяются логические векторы и матрицы для представления признаков объектов, наличия связей между объектами различных видов (например, наличия медикаментов на различных базах, складах и в аптеках), для указания наличия различных показателей в определенных формах документов, связей между различными показателями документов и т. д.

Логическая матрица — это прямоугольная таблица элементов, каждый из которых может принимать значение 0 или 1; логический вектор — строка элементов, принимающих значение 0 или 1. Над логическими матрицами (векторами) можно выполнять ряд операций, необходимых при решении задач поиска заданных объектов по признакам или при определении связей между объектами. Умножение логических матриц обозначается знаком  $\otimes$ . Оно выполняется так же, как и умножение обычных матриц, только вместо попарного умножения элементов и сложения частных произведений выполняются логическое умножение (конъюнкция) соответствующих пар элементов и логическое сложение (дизъюнкция) полученных парных произведений (конъюнкций):  $A \otimes B = C$ , где  $A$  и  $B$  — исходные логические матрицы, а  $C$  — матрица-произведение; элементы матрицы  $C$  определяются по формуле

$$C_{ij} = \sum_{k=1}^n a_{ik} \wedge b_{kj}.$$

Ясно, что число столбцов в матрице  $A$  должно быть равно числу строк в матрице  $B$ . Например:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}; \quad B = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}; \quad C = A \otimes B = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Операция дополнения логической матрицы сводится к замене ее элементов их отрицаниями. Так, дополнением логической матрицы  $A$  будет матрица  $D = \bar{A}$ , у которой  $d_{ij} = \bar{a}_{ij}$ , т. е. в матрице  $D$  каждый элемент матрицы  $A$  заменен его отрицанием.

Операции логического умножения и логического сложения логических матриц представляют собой поэлементные дизъюнкции и конъюнкции и выполняются над матрицами одинаковых размеров. При этом следует различать две операции умножения логических матриц. Первая операция выполняется по правилам умножения обычных матриц, как было сказано выше, а вторая — сводится к выполнению поэлементной конъюнкции. Транспонирование логической матрицы выполняется так же, как и обычных матриц, т. е. заменой строк столбцами, а столбцов строками.

В качестве примера применения логических матриц в медицине можем указать на способ табличной записи взаимосвязей между заболеваниями и симптомами. Каждая строка матрицы соответствует некоторому заболеванию, а каждый столбец — некоторому симптому. Наличие единицы на пересечении строки и столбца означает, что данный симптом может иметь место при данном заболевании. Одна строка матрицы показывает возможное сочетание симптомов при данном заболевании, другая строка может показывать другое сочетание симптомов при том же или другом заболевании. При этом одному заболеванию может соответствовать несколько строк (т. е. разные сочетания симптомов).

При диагностике заболевания некоторого пациента для него (на основе обследований) заполняется строка симптомов и производится сравнение этой строки со строками диагностической матрицы. Совпавшая строка матрицы покажет возможный вид заболевания. Естественно, что этот пример представляет процесс диагноза в весьма упрощенной форме, так как при этом не учитываются важность отдельных симптомов и ряд других факторов.

### Глава 3

## ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА МЕДИЦИНСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ

Основным техническим средством кибернетики вообще и медицинской кибернетики в частности являются электронные цифровые вычислительные машины, называемые сокращенно ЭВМ. Часто для этого используется английское слово «компьютер» (computer).

Кроме вычислительных машин в состав технических средств кибернетики входят устройства для сбора, хранения, передачи, выдачи и отображения информации. Часто в состав кибернетических устройств включают также первичные датчики информации, обеспечивающие регистрацию, измерение определенных физических или физиологически параметров и преобразование их в сигналы, передаваемые для обработки в ЭВМ. Б2

Таким образом, спектр технических средств медицинской кибернетики оказывается чрезвычайно широким и разнообразным; состав этих средств и их возможности развиваются. По существу все средства, предназначенные для извлечения, преобразования, хранения, передачи и выдачи медицинской информации, относятся к техническим средствам медицинской кибернетики.

В данной главе излагаются основные принципы устройства и работы ЭВМ, а также сведения о программировании задач, необходимые лицам, использующим кибернетику и ЭВМ в своей научной, практической или организационно-административной работе.

### 3.1. Принципы устройства ЭВМ

Электронные вычислительные машины, составляющие техническую базу кибернетики, включают три основных вида машин: универсального применения, управляющие и специализированные, рассчитанные на решение какой-либо одной задачи. Рассматриваемые ЭВМ относятся к классу цифровых машин. Это значит, что они оперируют информацией, представленной в цифровом кодированном виде, например в общеизвестной десятичной системе счисления.

Существует и другой класс вычислительных машин, называемых аналоговыми. Название это связано с тем, что большинство машин этого класса работает по принципу аналогии — подобия между изучаемыми явлениями различной физической природы. Известно, например, что процессы распространения тепла, движения жидкостей и газов, распространения акустических волн и другие имеют много аналогий. Это значит, что математические уравнения, описывающие какой-либо один процесс, могут подходить и для описания другого процесса (из другой области явлений), если только в этих уравнениях придать другой физический смысл переменным величинам и коэффициентам уравнений. Отсюда следует, что для изучения процессов одной физической природы может быть построена модель другой физической природы.

Наиболее удобны для воспроизведения и измерения в лабораторных и в производственных условиях процессы движения электрического тока, поэтому они используются для изучения других явлений. С помощью специальных электрических схем можно выполнять различные математические действия (сложение, вычитание, умножение, деление, извлечение квадратного корня, дифференцирование, интегрирование, получение логарифмов, тригонометрических функций и т. д.). В этих схемах участвующие величины представляются в виде непрерывных значений электрических параметров (напряжения, силы тока, и т. д.). В связи с этим аналоговые ЭВМ называются также машинами непрерывного действия, в отличие от цифровых машин, оперирующих дискретными кодированными значениями — числами.

Электронные вычислительные машины имеют две основные области применения: переработка информации для человека и по заданию человека; переработка информации, автоматически поступающей из внешних источников (без участия человека), и выдача результатов (опять автоматически, без участия человека) для управления другими машинами. Очевидно, что и во втором случае процесс должен быть заранее организован человеком и проводиться под его контролем (непосредственным или косвенным).

Машины первой группы называются вычислительными машинами, так как применяются для вычислений, т. е. для решения научных или инженерных задач. Машины второй группы получили название управляющих, так как служат для автоматизации процесса управления различными станками, энергетическими установками, транспортными средствами, диагностическими или терапевтическими установками. Существуют также ЭВМ, в той или иной мере сочетающие эти функции. Некоторые управляющие машины наряду с автоматическим управлением объектами выдают результаты и в числовой форме для анализа их человеком. Есть также вычислительные машины, которые получают

исходные данные для расчетов автоматически от датчиков, связанных с различными измерительными устройствами, а результаты выдают на печать или на экраны для восприятия человеком.

Следует упомянуть о так называемых счетно-перфорационных машинах, которые используются в основном для решения простых бухгалтерских и статистических задач массового характера в тех случаях, когда отсутствуют ЭВМ. Типовой комплект перфорационных машин состоит из основной машины-табулятора, осуществляющей арифметические действия и печать таблиц, и машины для сортировки данных и устройства для подготовки данных для ввода в указанные машины. Это устройство называется перфоратором, а работающая на нем, — перфораторщицей.

Используются четыре основных способа ввода данных в вычислительные машины:

перфорация, т. е. пробивка отверстий на стандартных листах картона (перфокартах) или на стандартных бумажных лентах (перфолентах);

запись данных на специальных бланках с помощью магнитных отметок (чернил) с последующим непосредственным считыванием в ЭВМ;

непосредственный ввод в оперативную память ЭВМ с клавиатуры специального устройства ввода и отображения информации, называемого дисплеем (см. ниже);

автономная (без участия ЭВМ) запись информации на магнитный носитель с последующей установкой этого носителя в ЭВМ.

В счетно-перфорационные машины данные вводятся путем перфорации и только с помощью перфокарт. При перфорации определенные комбинации отверстий на фиксированных позициях означают определенные буквы или цифры. Работа перфораторщицы сходна с работой машинистки, только здесь при нажатии соответствующей клавиши пробиваются отверстия в перфокарте (или перфоленте). Затем пробитые карты вводятся в так называемое читающее устройство, которое прошупывает их поверхность и посылает электрические сигналы в соответствии с наличием пробивок. Определенные комбинации пробивок в каждой колонке перфокарты соответствуют определенным цифрам или буквам. В электронные машины данные вводятся всеми четырьмя способами. Кроме того, в экспериментальном порядке используются устройства для ввода данных в ЭВМ с голоса, а также для непосредственного чтения печатных текстов.

В ЭВМ используется ряд способов представления чисел, или, как принято говорить, ряд систем счисления. Для записи исходных данных и для выдачи результатов расчетов применяется обычная десятичная система. Внутри машины числа представляются в так называемой двоичной системе, в которой основанием системы служит двойка, я, таким образом, все числа выражаются сочетанием нулей и единиц. Напомним, что в математике принято считать, что всякое число в нулевой степени равно единице. Имея это в виду, можно записать, например, число 29 в виде суммы  $2 \cdot 10^1 + 9 \cdot 10^0$ .

Подобное разложение по степеням основания можно получить для любого числа и в двоичной системе. Например, для числа 29 двоичное разложение будет иметь вид  $1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$ . Записывая только последовательность коэффициентов при степени основания, получаем двоичное представление числа 29 в виде 11101.

В качестве переходной системы между десятичной и двоичной используется так называемая двоично-десятичная система, в которой основанием системы является 10, а каждая цифра десятичного числа представляется в двоичной системе. Например, то же число 29 в двоично-десятичной системе будет иметь вид 00101001. Здесь первые четыре позиции представляют двойку, а следующие четыре позиции — девятку. Переход от десятичной системы к двоично-десятичной осуществляется во время перфорации: нажимается клавиша с соответствующей цифрой, а пробивается сразу нужная комбинация из четырех двоичных позиций. Дальнейший переход к чисто двоичной системе производится уже внутри машины путем специальных расчетов. При выдаче результатов из машины осуществляется обратный процесс преобразований.

Таким образом, видно, что применение только двух двоичных цифр никак не ограничивает возможностей представления в ЭВМ различных данных. Буквы, например, представляются 5-, 6- или 8-разрядными двоичными комбинациями — кодами; каждой букве соответствует определенная двоичная комбинация. Из букв строятся слова, фразы, предложения, и, таким образом, машина может хранить и обрабатывать не только числовые данные, но и текстовую информацию, например наименования медикаментов, фамилии пациентов, формулировки диагнозов, назначений и т. д. Применение двоичной системы в ЭВМ обусловлено техническими соображениями (простота выполнения арифметических действий, удобство запоминания и др.).

На рис. 3 приведена укрупненная структура ЭВМ. Основными частями этой машины являются:

1. Оперативное и внешнее запоминающие устройства (ОЗУ и ВЗУ), которые служат для приема, запоминания и выдачи информации, ОЗУ выдает информацию в любом порядке и с высокой скоростью, но имеет ограниченную емкость, ВЗУ выдает данные последовательно (с меньшей скоростью), но имеет большую емкость.

Оперативное запоминающее устройство состоит из отдельных ячеек, в каждую из которых может быть помещено одно число. Все ячейки запоминающего устройства машины пронумерованы подряд, и каждой ячейке присвоен постоянный номер, называемый адресом ячейки. Ячейки строятся из элементарных частей, называемых двоичными разрядами. Для кодирования десятичных цифр нужно иметь не меньше четырех разрядов. В машинах третьего поколения применяются, как правило, очень короткие ячейки (по 8 двоичных разрядов), рассчитанные на хранение элементарных единиц данных. Такая элементарная единица данных из 8 двоичных разрядов называется *байтом*. Одним байтом можно выразить две десятичные цифры или одну букву.

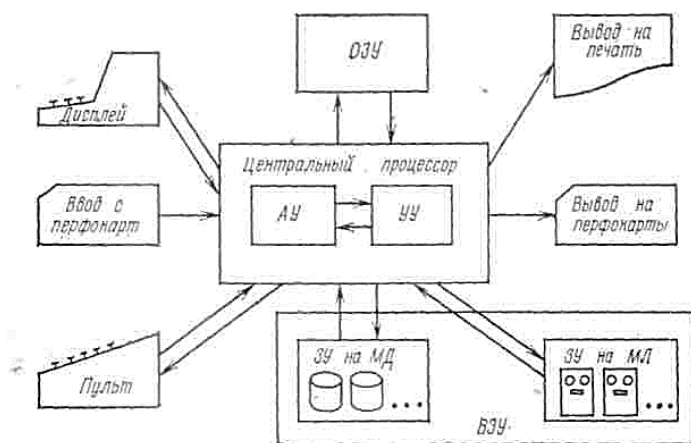


Рис. 3. Увеличенная схема ЭВМ

Внешнее запоминающее устройство служит как бы резервуаром большой емкости, а ОЗУ — рабочим резервуаром: во время работы ЭВМ происходит передача данных между этими устройствами, так что в ОЗУ всегда хранятся данные, связанные с текущими вычислениями.

2. Арифметическое устройство (АУ), выполняющее отдельные операции над числами. В это устройство поступают из ОЗУ два исходных числа и из устройства управления (см. ниже) — команда, какую операцию над ними следует выполнить. Оно выполняет эту операцию, например складывает два заданных числа и выдает результат в ОЗУ. В следующий такт работы ЭВМ в АУ поступают два других числа и новая команда, оно выполняет эту команду и т. д.

3. Устройство управления (УУ), управляющее выполнением программ решения задачи; УУ выбирает из ОЗУ поочередно команды программы, расшифровывает их и выдает всем остальным устройствам ЭВМ сигналы, обеспечивающие реализацию данной команды. АУ и УУ вместе обычно называют центральным процессором, или просто процессором.

*Машинная команда* — это условный числовой код (выраженный также двоичным числом), заставляющий машину выполнять определенную операцию. Последовательность команд составляет *программу* работы машины. Программа решения задачи составляется заранее и служит для решения определенной задачи (при различных исходных данных). Исходную программу составляет человек-программист, как правило, в некотором условном, символическом виде. Перед решением задачи программа вводится в ЭВМ и преобразуется в последовательность машинных команд.

Программа работы машины, представленная в виде последовательности чисел, хранится в запоминающем устройстве машины. Характерной особенностью сложных вычислительных процессов является необходимость изменять порядок расчетов в зависимости от того, какие получаются промежуточные данные. Это осуществляется с помощью специальных команд ЭВМ, называемых командами условного и безусловного переходов.

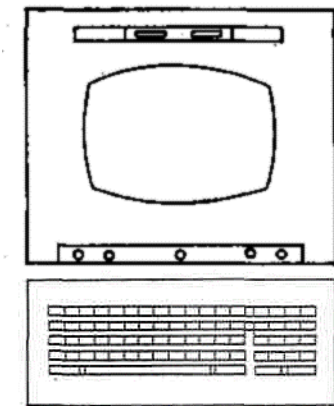
Команды программы выполняются в том порядке, как они записаны и введены в ОЗУ до тех пор, пока не встретится команда условного перехода или команда безусловного перехода. Команда условного перехода осуществляет проверку заранее заданного условия и переход к определенной команде программы в зависимости от результата этой проверки (да или нет). Команда безусловного перехода осуществляет переход в любое заранее заданное место программы без проверки каких-либо условий.

Помимо перечисленных частей ЭВМ на схеме показаны *устройства ввода и вывода данных*. Ввод данных производится, как уже говорилось с помощью перфокарт и перфолент. Результаты выдаются из ЭВМ с помощью печатающих устройств, а также на перфокарты.

При занесении данных на перфокартах одиночные пробивки в каждой колонке обозначают соответствующие цифры от 0 до 9. Пары пробивок обозначают буквы алфавита. Группы пробивок обозначают специальные символы (запятая, скобки и т.д.). Существуют перфораторы, которые одновременно с пробивкой отверстий печатают на верхней строке карты соответствующий символ (для контроля). Для перфорации используются 12 строк на каждой карте (по 80 колонок). Кроме 10 строк, обозначенных цифрами, используются две дополнительные верхние строки. Заметим, что уже в процессе перфорации происходит перевод информации в двоичное представление (наличие или отсутствие отверстия) и при вводе перфокарты вырабатываются двоичный сигнал (наличие или отсутствие электрического импульса). Широкое использование перфокарт в вычислительной технике требует учета особенностей их применения при подготовке исходных медицинских документов. Американская фирма IBM выпускает перфокарты небольших размеров, несущие большой объем информации.

Перфоленты работают по тому же принципу, что и перфокарты, но более дешевые и компактные. Их недостатком является более трудный процесс корректировки данных (замена и склейка участков ленты). Перфоленты удобно применять для запоминания данных, вырабатываемых автоматически, например радиоизотопные данные.

Для непосредственного ввода данных в ЭВМ (без перфорации) применяются устройства, воспринимающие специальные отметки на стандартных бланках. Эти отметки могут означать ответы на двоичные вопросы (да, нет), а могут представлять более сложные величины (возраст, шифр диагноза, дату и т.п.). Широкое применение в настоящее время получил способ ввода больших объемов данных путем их автономной записи на магнитную ленту (МЛ) или магнитный диск (МД) с последующим переносом их в ЭВМ. Комбинируя две магнитные ленты, можно к вводимым данным



Клавиатура

Рис. 4. Дисплей

добавлять в нужные места постоянную информацию (например, заголовки таблиц).

Широкое применение в современных ЭВМ получили *дисплеи*, т.е. устройства • ввода информации с клавиатуры и вывода информации на экраны. Они состоят из экрана телевизионного типа и клавиатуры пишущих машинок (рис. 4).

Дисплеи бывают двух основных типов: алфавитно-цифровые и графические. Алфавитно-цифровые дисплеи предназначаются для ввода и вывода (отображения) текстовой алфавитно-цифровой информации. Графические дисплеи обеспечивают ввод и отображение помимо алфавитно-цифровой информации также различных геометрических фигур — графиков, схем, рисунков, чертежей и т. д. Оба вида дисплеев обеспечивает оперативное взаимодействие между человеком и ЭВМ в реальном масштабе времени.

Генерация графических изображений на экране дисплея, как и выдача текстовой информации, осуществляется по программам, выполняемым ЭВМ, к которой подключены дисплеи. Как правило, дисплеи имеют собственную оперативную память небольшого объема (1000 — 4000 ячеек) для временного хранения вводимой или отображаемой информации. Для ввода данных дисплей снабжается клавиатурой. Важной деталью дисплея является световой указатель, который позволяет отмечать любую точку на экране. Таким образом можно выделять отдельные буквы или цифры текстового изображения или отдельные точки на графических изображениях, удалять их или наносить новые.

К одной ЭВМ может подключиться несколько десятков дисплеев, причем они могут располагаться на значительном расстоянии от ЭВМ. Дисплеи, расположенные вдали от ЭВМ и используемые для взаимодействия с ЭВМ (для ввода в ЭВМ исходных данных и получения результатов решения задач), называются *терминалами* (т. е. оконечными устройствами). Они служат для оперативного взаимодействия между пользователями и ЭВМ. В качестве примера рассмотрим терминальный комплекс ЕС-7906 для ЕС ЭВМ, включающий группу дисплеев ЕС-7066, подключенных к общему устройству управления ЕС-7566 и предназначенных для ввода—вывода алфавитно-цифровой информации на экран и пишущую машинку ЕС-7172. Дисплеи могут быть удалены от ЭВМ (устройства управления) до 600 м. Общая емкость всей информационной памяти комплекса составляет 3840 знаков (байтов). Число дисплеев в комплексе 16. Возможны следующие конфигурации комплекса:



а) 4 дисплея с максимальным объемом выводимой на один экран информации 960 знаков (12 строк по 80 знаков в строке);

б) 8 дисплеев по 480 знаков на экран (12 строк по 40 знаков или 6 строк по 80 знаков);

в) 16 дисплеев по 240 знаков (6 строк по 40 знаков).

Текстовый дисплей ЕС-7066 обеспечивает вывод текста на любую часть экрана; он позволяет стирать, вставлять новый текст, сдвигать информацию на экране, устанавливать и использовать табуляционные метки. Управление дисплеем осуществляется с помощью клавиш управления и светового знака (указателя), называемого курсором. Курсор не занимает знакоместа, а указывает позицию, в которую будет введен очередной символ с клавиатуры; курсор служит также для указания границы поля информации, подлежащей редактированию.

Пишущая машинка ЕС-7172 может быть использована в любой конфигурации как выносной пульт для обмена информацией с ЭВМ, а также для вывода на печать информации, отображенной на экране дисплея ЕС-7066 с помощью клавиши ПЧ. Если подключается пишущая машинка, то в соответствующей конфигурации число дисплеев уменьшается на единицу. Скорость печати текста на этой машинке составляет 10 знак/с.

Клавиатура дисплея (рис. 5) содержит 71 клавишу, из них 48 клавиш информационных (алфавитно-цифровых), одна клавиша — пробел, две клавиши управления регистрами (ВР, НР), 20 клавиш управления. С помощью клавиш управления можно редактировать текст на экране и вводить его в ЭВМ (после редактирования). После однократного нажатия клавиш ВР (верхний регистр) или НР (нижний регистр) можно набирать либо верхние, либо нижние знаки. Длинная клавиша означает пробел (при ее нажатии помещается в позицию курсора пробел).

Более совершенным является терминальный комплекс ЕС-7920, который может включать в себя до 20 дисплеев, 4 пишущие машинки, графопостроители. Экран этих дисплеев большего размера (24 строки по 80 символов в строке). Каждый дисплей имеет свое запоминающее устройство по 2048 байтов; общее устройство управления дисплеями имеет запоминающее устройство емкостью 4096 байтов.

Запоминающие устройства ЭВМ (ЗУ) строятся с использованием различных технических принципов: магнитная запись, электростатическая запись, голография и др. В настоящее время наибольшее применение получили магнитные запоминающие устройства. Оперативные запоминающие устройства чаще всего строятся в виде кубов

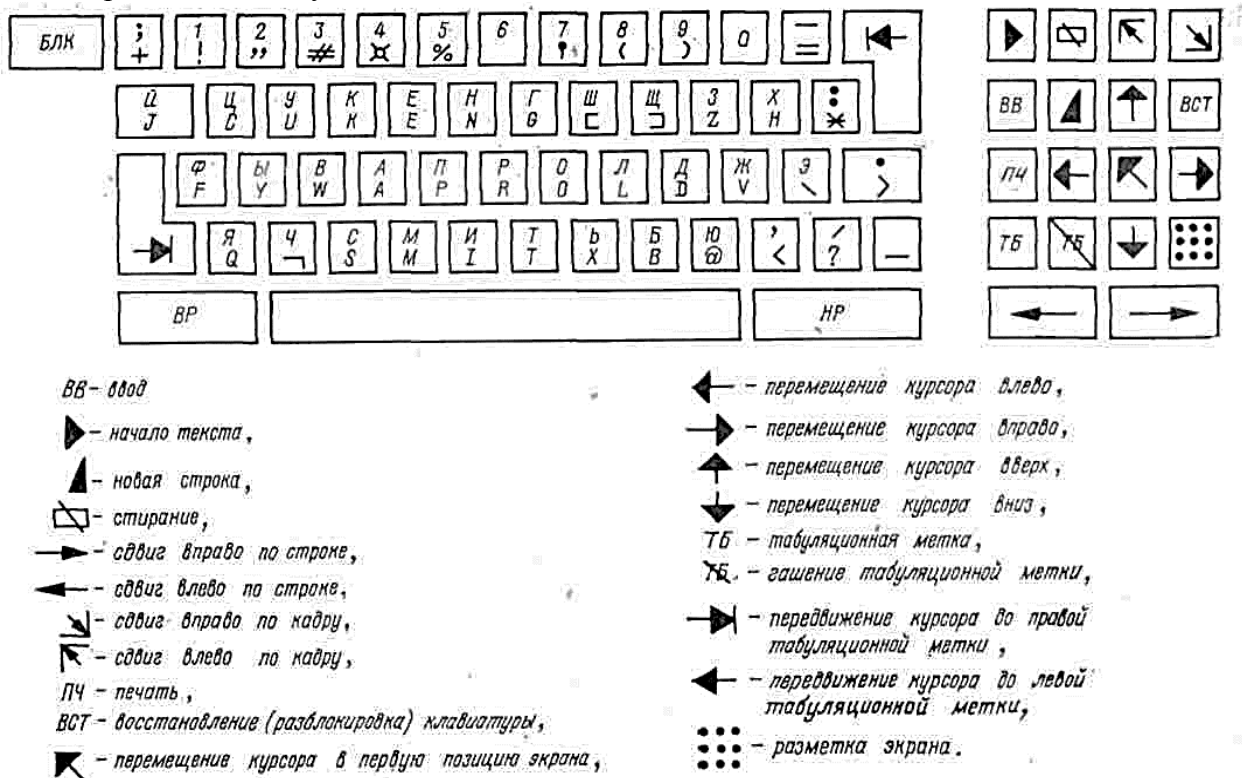


Рис.5. Клавиатура дисплея ЕС-7066

Состоящих из сотен тысяч маленьких магнитных сердечников (колечек). Каждый сердечник служит для запоминания одной двоичной цифры (нуля или единицы). Устройства с такими сердечниками обладают высоким быстродействием (запись или считывание одного числа производится за 1 мкс), высокой

надежностью, малыми габаритами и малым потреблением энергии. Во внешних запоминающих устройствах (ВЗУ) используются магнитные ленты (МЛ), подобные лентам магнитофонов, *магнитные барабаны* (МБ), *магнитные диски* (МД). Большую роль в современных машинах играют запоминающие устройства на магнитных дисках. Это ЗУ сочетает большую емкость и высокую скорость обращения и называется ЗУ с прямым доступом, так как время обращения к различным позициям информации в этом ЗУ практически не зависит от места их расположения на физическом носителе.

Типовым представителем является ЗУ на МД со следующими характеристиками. Алюминиевые диски, покрытые ферромагнитным материалом, объединяются в пакеты по 6 дисков. Расстояние между дисками в пакете 2,54 см; диаметр диска 35, 56 см; масса пакета 5,6 кг. Для хранения информации используют 10 поверхностей пакета. Верхняя поверхность верхнего диска и нижняя поверхность нижнего диска не используются. Поверхности перенумерованы сверху вниз от 0 до 9. Каждая поверхность имеет 203 концентрические дорожки, которые нумеруются от 0 (наружная дорожка) до 202 (внутренняя дорожка). Все дорожки независимо от их фактической длины одинаковой информационной емкости — по 3625 байтов. Таким образом емкость всего пакета составляет 7,25 млн. байтов. На нижнем диске, пакета имеется отверстие, представляющее собой отметку начала отсчета информации на дорожках и называемое маркером начала оборота.

Запись и чтение информации на МД осуществляются с помощью 10 магнитных головок, расположенных на 5 держателях. Держатели могут перемещаться в радиальном направлении, при этом головка устанавливается под любой из 203 дорожек. Дорожки с одинаковыми номерами, расположенные на разных дисках (10 дорожек), как бы образуют цилиндр. Каждый цилиндр просматривается при одном положении держателей головок, и это обстоятельство учитывается при выборе способов расположения информации на магнитных дисках.

Для перемещения головок от одного цилиндра к другому требуется около 85 мс. Головки не касаются дисков, а плавают над ними на воздушной подушке. На случай выхода некоторых дорожек из строя предусмотрены три резервные дорожки, расположенные внутри, т. е. ближе к оси вращения дисков. Кроме того, применяются сменные МД емкостью 29,6 Мбайта, имеющие в пакете 11 дисков, а также МД по 100 Мбайтов. Емкость внешних магнитных запоминающих устройств измеряется сотнями миллионов чисел, что позволяет их использовать для хранения различных архивов, каталогов и т. д.

Принято условно различать ЭВМ четырех поколений. Машины первого поколения строились на электронных лампах. Для машин второго поколения характерно широкое применение полупроводниковых элементов (транзисторов и диодов). В машинах третьего поколения применяются элементы на так называемых интегральных схемах, т.е. весьма малогабаритных блоках, содержащих в малом объеме сложные схемы.

Применение в каждом следующем поколении новых элементов привело к резкому уменьшению габаритов машин, повышению их надежности и быстродействия. Уже существуют машины с быстродействием в десятки миллионов операций в секунду. Совершенствовалась и структура ЭВМ, или, как говорят, их архитектура. ЭВМ третьего поколения строятся по модульному принципу, при котором имеется возможность изменять состав оборудования машины в зависимости от объема задач, которые предполагается решать в том или ином вычислительном центре: можно к машине присоединить дополнительные блоки памяти, устройства ввода и вывода информации и др. Машины третьего поколения могут обслуживать заказчиков на расстоянии, используя телефонную и телеграфную связь. Одновременно каждая машина может решать несколько задач.

В настоящее время уже создаются ЭВМ четвертого поколения, которые будут использовать новые физические принципы: голографию, лазерную технику — и обладать еще большими информационными и вычислительными возможностями. Упростится процесс обращения рядовых потребителей с этими машинами: задания для работы ЭВМ можно будет задавать на обычном языке (по телефону, телеграфу, почтой) и результаты получать сразу в виде печатного документа или на экране телевизионного типа в виде текстов, схем, графиков.

Сейчас в СССР выпускаются и находятся в эксплуатации в основном ЭВМ третьего поколения единой серии (ЕС ЭВМ). Эти машины построены на интегральных схемах с применением прогрессивных конструктивно-технологических решений, что обеспечивает высокую надежность и возможность массового промышленного выпуска ЭВМ. Помимо ЭВМ серии ЕС в нашей стране выпускаются ЭВМ третьего поколения, называемые микро-ЭВМ (Искра-226, Электроника ДЗ-28 и др.), а также мини-ЭВМ серии СМ.

Важным свойством ЭВМ серии ЕС является программная совместимость разных моделей. Это значит, что разные модели имеют единую систему команд и могут выполнять одни и те же программы без каких-либо переделок. Ограничением в возможности выполнения какой-либо программы на данной модели ЭВМ может оказаться только ее мощность (быстродействие и емкость ЗУ). При этом выполнение сложных программ на малых моделях этой серии может потребовать слишком много времени, т. е. практически оказаться нереальным.

Очень важно, что все модели комплектуются внешними, или *периферийными устройствами*, из единого стандартного набора (для ввода и вывода перфокарт и перфолент, печати данных, отображения данных на экранах, хранения данных на магнитных лентах и дисках, связи с абонентами по телефонным и телеграфным каналам связи). Эта стандартизация обеспечивает возможность расширения состава внешних устройств в зависимости от конкретных нужд потребителей. Большое распространение в нашей стране в течение многих лет имеет ЭВМ ЕС-1022, относящаяся к классу средних машин. Позднее начала выпускаться более мощная и совершенная ЭВМ — ЕС-1035.

Рассмотрим в качестве примера несколько подробнее характеристики ЭВМ третьего поколения ЕС-1035, которая становится типовой ЭВМ в СССР. Эта ЭВМ средней производительности: она выполняет 140 — 160 тыс. операций в секунду. Емкость оперативной памяти составляет 256 Кбайт. Собственно вычислительная часть машины, называемая *процессором*, включает в себя ОЗУ, АУ и УУ, имеет следующие характеристики. Длина основного машинного слова равна 4 байтам, т. е. 32 двоичным разрядам. В составе машины предусматриваются 3 накопителя на магнитных дисках емкостью по 29 млн. байтов. Ввод данных в ЭВМ производится в основном с перфокарт со скоростью 500 карт в минуту.

Ввод небольших количеств данных осуществляется с помощью клавиатуры электрифицированной пишущей машинки (которая обычно стоит на пульте управления ЭВМ) со скоростью 600 знаков в минуту. Вывод данных производится с помощью ленточного перфоратора со скоростью 9000 строк в минуту, карточного перфоратора со скоростью 100 карт в минуту или электрифицированной машинки со скоростью 600 знаков в минуту.

Основной вывод результатов решения задач производится с помощью алфавитно-цифрового печатающего устройства (АЦПУ), выдающего данные на широкую бумажную ленту со скоростью 770 строк в минуту (в строке предусматривается до 128 знаков, включая пробелы).

ЭВМ ЕС-1035 обладает возможностями работы в реальном масштабе времени (т. е. принимает данные и выдает ответы решения задач в процессе самих вычислений, без задержек) одновременно со многими абонентами-заказчиками. Для этого она имеет сопряжения с двумя видами каналов обмена (обычно именуемых просто каналами): мультиплексным и селекторным.

*Мультиплексный канал* служит для подключения к системе ЕС ЭВМ медленнодействующих вводных и выводных устройств; скорость передачи данных в мультиплексном режиме составляет 30 000 символов (40 Кбайт) в секунду; число подканалов — до 256.

*Селекторный канал* служит для подключения к системе ЕС ЭВМ быстродействующих вводных и выводных устройств; он работает со скоростью передачи данных 800 Кбайт/с.

Первая очередь «Ряд-1» разработана в период 1972—1975 гг.  
Она включает 6 моделей

Характеристики	ЕС-1010	ЕС-1020	ЕС-1021	ЕС-1030	ЕС-104 0	ЕС-1050
Быстродействие, тыс. оп/с	3	10—20	20	60	400	500
Максимальная емкость ОЗУ, Кбайт	64	256	512	512	1024	1024
Число мультиплексных каналов	1	1	1	1	1	1
Скорость по мультиплексному каналу, Кбайт/с	16	16	35	40	50	110
Число селекторных каналов	—	2	1	3	6	6
Скорость по селекторному каналу, Кбайт/с	—	300	250	800	1250	130
Страна, выпускающая ЭВМ	ВНР	СССР, НРБ	ЧССР	СССР, ПНР	ГДР	СССР

ЕС-1035 является представителем второго семейства ЕС ЭВМ, называемого «Ряд-2». В отличие от первого семейства «Ряд-1», ЕС-1035 имеет следующие основные особенности и усовершенствования. Во-

первых, устройство управления ЕС-1035 имеет в своем составе управляющую память с очень высокой скоростью работы, в которой хранятся так называемые микропрограммы, реализующие 172 основные машинные операции. Состав микрограмм может изменяться, что позволяет приспособливать состав машинных операций к конкретному составу оборудования вычислительной системы и учитывать в известной мере специфику применения ЭВМ. Принцип микропрограммного управления сводится к тому, что каждая машинная операция расчленяется на более мелкие (элементарные) действия и для их последовательного выполнения составляется своя программа (микропрограмма). Микропрограммы общим объемом 32 Кбайта постоянно хранятся на специальной магнитной ленте и при включении ЭВМ в работу автоматически переписываются в управляющую память, из которой в процессе работы выдаются нужные микрокоманды.

Имеется специальный набор диагностических микропрограмм, которые также загружаются с пультового запоминающего устройства и обеспечивают возможность автоматического обнаружения и указания неисправностей ЭВМ. При этом место неисправности указывается с достаточно высокой точностью, позволяющей оперативно устранять неисправности и восстанавливать работоспособность машины (в течение 10 — 15 мин).

Следующей важной особенностью ЕС-1035 является наличие разветвленной системы схемных и программных средств повышения надежности работы ЭВМ. Для этой цели используются специальные способы кодирования информации, позволяющие автоматически обнаруживать и исправлять одиночные ошибки. Принятая система кодирования позволяет установить также факт появления двойных ошибок (в тех весьма редких случаях, когда это имеет место).

Предусмотрена возможность многократного (до 8 раз) повторения одной и той же микропрограммы в случаях появления ошибки (сбоя) в ее работе. Если сбой был случайным и микропрограмма при одном из повторений срабатывает правильно, то ЭВМ перейдет к продолжению работы, но факт появления данного сбоя будет зарегистрирован для последующего анализа.

Следующей важной особенностью ЕС-1035 является применение в ней так называемой виртуальной организации всей системы памяти машины. При этом машина как бы обладает огромной оперативной

Модернизированные модели первой очереди, разработанные в период 1975—1979 гг.

Характеристика	ЕС-1012	ЕС-1022	ЕС-1032	ЕС-1033
Быстродействие, тыс. оп/с	6	80—90	180	180
Максимальная емкость ОЗУ, Кбайт	128	512	512	512
Число мультиплексных каналов	1	1	1	1
Скорость по мультиплексному каналу, Кбайт/с	20	80	40	70
Число селекторных каналов	—	2	3	3
Скорость по селекторному каналу, Кбайт/с	—	500	400	800

памятью, равной емкости всех накопителей на магнитных дисках НМД, подключенных к данной ЭВМ. В действительности же только часть этой емкости, равная фактической емкости оперативной памяти, реализована аппаратурно, а остальная часть представлена на МД. Однако обмен данными между этими двумя видами памяти осуществляется полностью автоматически без участия программиста, который составляет программы, исходя из полной емкости оперативной памяти (до 16 Мбайтов). Естественно, что такой подход существенно упрощает программирование сложных задач с большими объемами обрабатываемой информации. Машина ЕС-1035 рассчитана на работу как с дисковой операционной системой (ДОС), так и с операционной системой (ОС) (см. ниже).

Приведем основные характеристики второй очереди ЕС ЭВМ [12].

Во всех моделях второй очереди имеется упомянутая выше виртуальная память (со страничной организацией и отсылочными таблицами), расширяющая емкость ОЗУ за счет ВЗУ. В эти ЭВМ могут быть введены устройства ввода графической информации с чертежей, оптические читающие устройства для ввода текстовой информации.

В модели ЭВМ «Ряд-2» также введены новые НМД на сменных МД емкостью 100 Мбайт и временем доступа 20—30 м/с. Имеются также новые НМД с фиксированными головками со скоростью обмена данными до 30 Мбайт/с и временем доступа 3—5 м/с. Эффективно может использоваться в моделях «Ряд-2» накопитель на гибких магнитных дисках емкостью 3 Мбайтов и скоростью обмена 240 Кбайт/с.

Для ЭВМ «Ряд-2» разработан новый НМЛ со скоростью передачи данных до 320 Кбайт/с и автоматической заправкой МЛ.

Таким образом, вторая очередь ЕС ЭВМ представляет собой современную систему машин с мощным математическим (программным) обеспечением и высокими техническими характеристиками. Эта система разработана и выпускается содружеством социалистических стран.

В рамках СЭВ помимо семейства машин ЕС ЭВМ выпускается семейство малых ЭВМ СМ ЭВМ, включающих модели СМ-1, СМ-2, СМ-3, СМ-4. Эти машины относятся к классу мини - ЭВМ. Указанные четыре модели являются унифицированными в техническом и программном отношении, причем возможности машин возрастают в порядке увеличения их номеров. Кроме указанных машин широкое применение получают так

Вторая очередь «Ряд-2» разработана в период 1976-1980 гг.

Характеристики	ЕС-1015	ЕС-1025	ЕС-1035	ЕС-1045	ЕС-1055	ЕС-1060	ЕС-1065
Быстродействие, тыс. оп/с	12—16	60	140	540	450	1300	4500
Максимальная емкость ОЗУ, Кбайт	160	256	1024	4096	2048	8192	16324
Число мультиплексных каналов	1	1	1	2	2	2	2
Скорость по мультиплексному каналу, Кбайт/с	20	24	30	40	40	110	200
Число селекторных каналов	1	1	4	5	4	6	11
Скорость по селекторному каналу, Кбайт/с	800	800	800	1300	1500	1250	1500
Страна, выпускающая ЭВМ	ВНР	ЧССР	СССР, НРБ	СССР, ПНР	ГДР	СССР	СССР

называемые микро-ЭВМ Искра-226, Электроника ДЗ-28 и др. Указанные микро-ЭВМ занимают места не больше одностумбового письменного стола, они просты в эксплуатации и обслуживании и в тоже время обладают достаточно высокими возможностями в отношении решения расчетных задач и обработки информации. Они имеют быстро действие в несколько тысяч операций в секунду, емкость оперативной памяти в десятки тысяч байтов, возможность подключения внешних накопителей на магнитных дисках и лентах, а также разнообразные устройства ввода вывода информации.

Мини-ЭВМ СМ-3 и особенно СМ-4 приближаются по своим возможностям к средним моделям ЕС ЭВМ и могут использоваться в различных медицинских учреждениях в качестве основных ЭВМ для оснащения вычислительных центров. Указанные мини - ЭВМ допускают одновременную работу с несколькими пользователями в режиме разделения времени. При этом каждый пользователь работает на своем рабочем месте, оснащенном дисплеем, причем одновременная работа нескольких пользователей с одной и той же ЭВМ не приводит к каким-либо взаимным помехам. Такая независимая одновременная работа обеспечивается наличием соответствующих технических и программных средств. Машина СМ-4 обладает большой емкостью ЗУ и может быть использована для накопления, обработки и поиска медицинской информации. Аналогом этой ЭВМ является описанная ниже ЭВМ PDP-11/70. В СМ ЭВМ применяются в основном внешние накопители двух типов: кассетные и гибкие. В качестве примеров укажем два образца.

Кассетный накопитель (шифр СМ-5400) выпускается НРБ, ПНР, ЧССР. Он состоит из двух дисков: один из них постоянно закреплен в устройстве, а второй — выполнен в виде сменной кассеты. Общая емкость накопителя составляет 4,8 Мбайтов, в том числе емкость каждого из дисков 2,4 Мбайта. Число рабочих поверхностей на каждом диске равно двум; число дорожек 204, в том числе 200 основных дорожек и 4 запасные. Плотность записи составляет 86,6 бит/мм. Напомним, что бит — это один двоичный разряд.

Накопитель на гибких магнитных дисках (шифр СМ-5602) выпускается ПНР. Он имеет два гибких диска общей емкостью 1,6 Мбайтов. Один из дисков постоянно закреплен, а другой — сменный. На каждом диске по две рабочих поверхности с 77 дорожками на поверхности. Плотность записи составляет 133 бит/мм.

Заметим, что скорость работы накопителя кассетного типа в 10 раз выше, чем скорость работы накопителя на гибких дисках, однако последний имеет ряд эксплуатационных преимуществ. В состав устройств вывода информации в машинах СМ ЭВМ входит графический дисплей (шифр ЭПГ СМ), который позволяет выдавать на экран графическую информацию (схемы, графики, диаграммы и т.д.), что

весьма удобно при использовании его для выдачи диагностических данных (температура, давление, пульс, результаты анализов и т.д.).

Помимо перечисленных практическое применение в медицинских учреждениях находит ЭВМ Искра-226. Она относится к числу микро-ЭВМ и предназначается для использования в качестве вспомогательной ЭВМ в крупных ВЦ, в качестве автономной ЭВМ при автоматизации информационных процессов и при моделировании фармакодинамических систем, а также в отдельных научно-исследовательских и лечебных учреждениях. Информация представляется 13-разрядными числами, практически в неограниченном диапазоне. Скорость выполнения операций — до 1000 в секунду. Емкость оперативной памяти составляет 64 Кбайтов. Процессор имеет встроенный дисплей и клавиатуру для ввода информации. К ЭВМ может подключаться дополнительное оборудование для ввода и вывода данных без прерывания работы ЭВМ. Таким путем могут вводиться различные физиологические параметры непосредственно во время измерения.

Данная ЭВМ строится по модульному (наращиваемому) принципу, имеет очень небольшие габариты, малую потребляемую мощность. Она предназначена для массового применения в медицинских учреждениях.

В качестве примера современной ЭВМ зарубежного производства, получивший широкое применение в медицине, рассмотрим ЭВМ PDP-11/70 американской фирмы Digital Equipment Corporation. Эта ЭВМ формально относится к классу мини-ЭВМ, хотя фактически она превышает по своим возможностям многие ЭВМ среднего класса. Достаточно большая производительность машины обеспечивается сочетанием высокого быстродействия с большой емкостью памяти. Отдельные операции выполняются процессором за 0,3 мкс, а необходимые для этого данные перемещаются из памяти в арифметическое Устройство и обратно за еще более короткое время. Для этого используется сверхскоростная буферная память емкостью 2048 слов (по два байта), в которую заранее переносятся из основной памяти команды и данные, необходимые для ближайшего ряда вычислений.

Отличительной особенностью структуры PDP-11/70 является наличие главной магистрали передачи данных (UNIBUS), связывающей основные части машины: основную память, массовую память (на МД), буферную сверхскоростную память, регистры арифметического устройства и устройства управления и внешние (периферийные) устройства. Основная (оперативная) память обычно имеет емкость 128 или 256 Кбайт; предусмотрена возможность расширения этой памяти до 4 млн. байтов. Массовая память реализована на сменных МД емкостью по 88 Мбайт. Обычно данная ЭВМ комплектуется двумя-тремя дисководами, что обеспечивает суммарную емкость массовой памяти 176—264 Мбайтов. Возможно также существенное расширение этой памяти. В составе машины предусматриваются также накопители на магнитной ленте (НМЛ) для длительного хранения больших объемов архивных данных. На специальной МЛ хранятся также все программы системного математического обеспечения, включая операционные системы, трансляторы, программы управления базами данных, диагностические (тестовые) программы для проверки работы и обнаружения неисправностей всей вычислительной системы и ее отдельных устройств.

Процессор может выполнять операции над двухбайтовыми словами и над отдельными байтами в зависимости от вида команд. Помимо выполнения арифметических и логических операций процессор регулирует передачу данных по главной магистрали между различными устройствами с учетом приоритетов. Передача данных производится одновременно с работой процессора по асинхронному принципу, что обеспечивает возможность сочетания устройств с различной скоростью работы и максимальную скорость обмена данными.

Для ввода данных в ЭВМ могут применяться читающее устройство с перфолент, работающее со скоростью 300 знаков в секунду, и читающее устройство с перфокарт со скоростью 1600 знаков в секунду.

Вывод данных из ЭВМ может производиться на перфоленту (со скоростью 50 знаков в секунду), на пишущую машинку небольшого формата (80 колонок) со скоростью 30 знаков в секунду, на скоростное алфавитно-цифровое печатающее устройство (132 колонки) со скоростью 2600 знаков в секунду (от 230 до 1200 строк в минуту). Кроме того, к машине подключается большое количество дисплеев, которые работают одновременно и независимо друг от друга и могут использоваться как для ввода данных в ЭВМ (с помощью клавиатуры), так и для наглядного отображения алфавитно-цифровой информации. Эти терминалы обеспечивают диалоговый режим работы пользователей и ЭВМ. ЭВМ PDP-11/70 имеет разветвленный состав технических средств (интерфейс) для непосредственного сопряжения машины с

каналами связи различных типов, что позволяет осуществлять в автоматическом режиме дистанционный обмен информацией с удаленными терминалами, а также с другими ЭВМ.

Математическое обеспечение PDP-11/70 включает операционные системы и трансляторы с алгоритмических языков КОБОЛ, ФОРТРАН, БЕЙСИК, а также системы управления базами данных, в том числе специальную медицинскую систему программирования МАМПС. Эта система включает в себя язык программирования, свою операционную систему и систему управления базой данных. Подробнее эта система будет рассмотрена ниже.

Кроме перечисленных ЭВМ используются счетно-перфорационные (СПМ) и настольные счетно-клавишные машины (В КМ). Обычно СПМ применяются в виде следующего типового комплекта: перфоратор алфавитно-цифровой ПА-80-2/ИМ; контрольный алфавитно-цифровой КА-80-2/ИМ; сортировка С-80-7; табулятор алфавитно-цифровой ТА-80; электронная вычислительная приставка к табулятору ВП-3 (для выполнения дополнительных операций); перфоратор итоговый позиционный ПИ-80У; перфоратор-репродуктор ПР-80У; расшифровочная машина.

Счетно-перфорационные машины применяются для механизации отдельных видов вычислительных работ, связанных с учетом материальных ценностей, бухгалтерскими расчетами, статистической обработкой информации.

В заключение обзора технических средств обработки информации следует упомянуть о некотором вспомогательном оборудовании, обычно используемом совместно с ЭВМ.

Телеграфный аппарат СТА-2М — это ленточный буквопечатающий аппарат, работающий на стандартной телеграфной ленте шириной 10 мм и оборудованный приставками автоматизации (трансмиссионной и реперфораторной) для нанесения алфавитно-цифровой информации в виде отверстий на перфорированную ленту шириной 17,5 мм. Предназначен для перевода на перфоленку данных с различных первичных документов. Средняя скорость обработки данных 40—100 знаков в минуту.

Абонентский телеграфный аппарат Т-63 представляет собой рулонный буквопечатающий аппарат, оборудованный автоматизированными узлами: реперфоратором, трансмиттером, автоответчиком, автостопом, звонковой сигнализацией. Этот аппарат печатает алфавитно-цифровую информацию на стандартной рулонной бумаге шириной 215 мм. Предназначен для работы с абонируемым каналом связи для передачи информации в двух режимах: прямая передача телеграмм с пульта (текст и в виде перфоленки) и через трансмиттер (только в виде перфоленки). Скорость прямой передачи такая же, как и СТА-2М; скорость передачи с трансмиттера в 10 раз больше. Может быть использован автономно для подготовки данных (записи данных на перфоленку).

### 3.2. Основные понятия программирования

Для составления программы решения какой-либо задачи сначала составляют схему вычислительного процесса, показывающую в наглядной графической форме весь ход процесса [13]. Отдельные более или менее самостоятельные участки вычислений обозначают в виде прямоугольников, внутри которых указывают либо наименование, либо содержание вычислений. Процедуры сравнения различных величин и выбора одного из двух возможных направлений продолжения вычислений обозначают ромбами, внутри которых указывают условия выбора (схемы рис. 6).

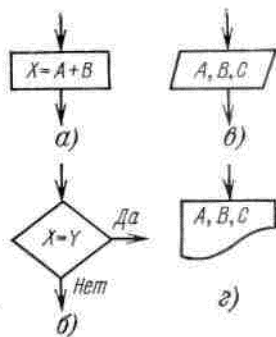


Рис. 6. Примеры типовых блоков для представления схем:

а — вычислительный блок; б — блок выбора решений; в — блок ввода — вывода; г — блок вывода на печать

Существуют другие блоки для обозначения процессов ввода и вывода данных, указания способов хранения данных и других действий. Отдельные блоки соединяют стрелками, показывающими порядок выполнения этих блоков. Все блоки обычно нумеруют, каждый блок имеет свой номер. Прямоугольники и ромбы являются основными видами блоков, которые достаточны для составления первой (эскизной) схемы решения задачи. Подобные схемы могут (и должны) составляться авторами задачи (медиками, экономистами, инженерами и т. д.), не являющимися программистами. Полезен также следующий прием с помощью которого можно показать разрывы в схеме. Стрелку, которая должна соединить два удаленных друг от друга блока, делают с разрывом: отходящий конец заканчивается кружком, где пишут номер блока, к которому должна была подойти стрелка, а у этого блока рисуют входящий конец стрелки, начинающийся кружком, содержащим номер исходящего блока.

По этим схемам программисты могут составлять более детальные схемы машинных алгоритмов с указанием способов ввода и вывода данных, видов используемых накопителей, этапов ручной обработки и т.д. При решении сравнительно простых задач программисты могут обходиться без детальных схем и составлять программы, ориентируясь на эскизные схемы. В конечном счете весь процесс вычислений, т.е. каждый блок, должен быть разбит на последовательность элементарных операций и для каждой из них должна быть составлена своя команда. В первые годы применения ЭВМ этот процесс выполнялся в основном вручную людьми-программистами. На составление и выверку программ тратилось много времени. Сейчас широко применяется автоматизация программирования, при которой программист записывает процесс решения задачи на некотором формальном, *символическом языке*, а сама машина по специальной программе, называемой транслятором, переводит программу на машинный язык, т.е. в последовательность команд. При этом сокращается трудоемкость программирования и резко уменьшается число ошибок. Пользуясь символическими языками, после соответствующего обучения, программы для ЭВМ может писать на алгоритмическом языке и человек, не являющийся специалистом по программированию.

Сейчас одно из основных направлений в развитии ЭВМ заключается в разработке удобных символических языков, которые бы позволили составлять задания для машин специалистам различных профилей.

В настоящее время используются два основных вида символических языков: машинно-ориентированные языки (язык *ассемблера*, *автокод*) и алгоритмические языки [13].

Язык ассемблера (это название принято для ЕС ЭВМ) называется машинно-ориентированным потому, что используются команды (операторы), по форме напоминающие машинные команды, в которых в символическом (буквенном) виде представляются коды машинных операций и величины, участвующие в операциях.

Вообще программирование задач для ЭВМ — очень трудоемкое дело даже при использовании современных средств автоматизации программирования. Особенно длительным является программирование, когда применяются машинные языки или язык ассемблера, так как при этом весь вычислительный процесс приходится расчленять на элементарные операции, касающиеся отдельных величин. При этом велика вероятность появления ошибок, которые затем приходится находить и исправлять в процессе отладки программ. Недостатком программ, написанных на машинном языке или языке типа ассемблера, является также то, что эти программы применимы только для той ЭВМ (того типа), для которой они написаны. При переходе на ЭВМ другого типа программы необходимо переписывать заново на языке новой ЭВМ.

Эти недостатки привели к тому, что в настоящее время для программирования различных конкретных задач применяют в основном алгоритмические языки (АЛГОЛ, ФОРТРАН, КОБОЛ, ПЛ/1 и др.). Для научных и инженерных задач применяют языки АЛГОЛ и ФОРТРАН, а для программирования экономических задач широко используют язык КОБОЛ (и его различные модификации АЛГЭМ, АЛГЭК и др.). Универсальный язык программирования ПЛ/1 (Programming Language 1) применяется для программирования математических, экономических и информационно-логических задач. Этот язык имеет в своем составе средства для обработки текстов (строк символов), для обработки составных величин, для организации картотек различного типа. В алгоритмических языках для указания арифметических действий используются обычные знаки операций (+, —, \*, /) и круглые скобки, указания логических операций — знаки этих операций  $\wedge$ ,  $\vee$ , (отрицание) (см. § 2.4) и операций отношения (> — больше <— меньше, = — равно). Для указания последовательности вычислений и выбора направления вычислений в зависимости от условий используются стандартные словесные символы: **если, то, иначе, перейти к**. Символ **перейти к** служит для указания переходов в программе от одних операторов (участков программы) к другим. Тот оператор, которому требуется перейти, должен иметь перед собой метку (имя или номер), и эта метка указывается после символа **перейти к**. Например, возможен такой участок программы на алгоритмическом языке:

Если ТЕМПЕРАТУРА >37 то перейти к АНАЛИЗ **иначе перейти к** РАСЧЕТ;

Здесь слово ТЕМПЕРАТУРА означает некоторую переменную величину, а слова АНАЛИЗ и РАСЧЕТ — метки некоторых операторов программы (т.е. заголовки этих участков программы).

Применение ЭВМ в медицине ведется в основном по пути создания интегрированных систем сбора и обработки различных медицинских данных или автоматизированных систем управления медицинскими учреждениями. И в том, и в другом случаях решаются не изолированные задачи, а комплекс



взаимосвязанных задач, использующих общие входные, выходные или промежуточные данные. При этом важнейшим вопросом является организация информационной базы.

Под *информационной базой* (базой данных) принято понимать совокупность документов, машинных массивов информации, классификаторов, словарей, а также инструкций, определяющих порядок ввода, кодирования, формирования, контроля, выдачи и использования массивов информации в системе.

Элементарную единицу информации, имеющую определенный смысл и не допускающую ее расчленения на более мелкие составные части, принято называть *величиной*, или *показателем*. Каждая величина состоит из двух данных видов — *признаков* и *оснований*. Например, у величины «масса 73 кг» два признака — «масса» и «килограмм» и одно основание — «73». В некоторых величинах может отсутствовать основание. Так, величина «заболевание — ангина» состоит только из признаков.

Помимо простых величин существуют сложные величины, состоящие из нескольких простых. Так, дата — сложная величина, имеющая три признака (год, месяц, число), три основания и соответствующие им числовые значения. Систематизированную совокупность величин, характеризующих один объект (акт), называют *записью*. Примерами записей являются истории болезней, рефераты статей, накладные на отпуск товаров и т. п. Среди величин, входящих в запись, выделяют одну или несколько величин, присущих только данному объекту. Их называют *ключами*, или *идентификаторами записей*. Они служат для опознавания и отыскания обозначаемых ими записей. Совокупность однотипных записей, характеризующих однородные объекты, называется массивом.

При программировании составляют описание величин, записей и массивов, используемых при решении задачи. Указывают тип величины, количество разрядов для значения, пределы изменения, состав и порядок величин в записи, число записей в массиве. Для описания величин в алгоритмических языках используются стандартные слова (**целый, вещественный, массив, список** и др.). Если, например, массив целых чисел представляет собой матрицу  $A$  размером  $10 \cdot 20$  элементов, то описание этого массива может выглядеть так:

**целый массив  $A$  [1:10, 1:20].**

Здесь выделенные слова представляют собой условные символы, показывающие, что некоторая прямоугольная таблица чисел, имеющая наименование  $A$ , содержит только целые числа. Число строк в этой таблице 10, а число столбцов 20. Каждый элемент этой таблицы обозначается  $A[i, j]$ , где  $i$  — номер строки, а  $j$  — номер столбца;  $i$  — меняется от 1 до 10, а  $j$  — от 1 до 20.

Все программное обеспечение (называемое часто математическим обеспечением) с точки зрения выполняемых функций принято делить на три основные части:

1) программы для непосредственного решения производственных или научных задач. Это так называемые пользовательские или прикладные программы;

2) средства для автоматизации процессов программирования, включающие алгоритмические языки разной сложности и назначения, и программы перевода с этих языков на машинные языки;

3) операционные и вспомогательные программы, предназначенные для управления порядком решения задач на ЭВМ, совместной работой ЭВМ и периферийных устройств или работой нескольких ЭВМ, а также для ведения информационных массивов, библиотек программ. Часто в состав операционных систем включают и средства автоматизации программирования и, кроме того, типовые программы, используемые при обработке информации (программы сортировки, перезаписи массивов, печати документов и др.).

С точки зрения порядка разработки программ все программное обеспечение обычно делят на две части:

1) общее программное обеспечение, поставляемое вместе с машиной и используемое при решении любых задач на ЭВМ независимо от специфики ее использования. Сюда относятся все программы операционной системы, понимаемой в широком смысле. Существуют два типа операционных систем: дисковая операционная система (ДОС) и общая операционная система (ОС). Последняя по сравнению с ДОС обладает более широкими возможностями; она обеспечивает дополнительно к ДОС возможность работы ЭВМ в реальном масштабе времени и обмен данными между ЭВМ и большим количеством терминалов. Поэтому она сложнее и требует большего объема памяти, чем ДОС;

2) специальное программное обеспечение, создаваемое для каждой конкретной области применения ЭВМ и учитывающее ее специфику.

Такие программы (и алгоритмы), несмотря на специфичность часто оказываются пригодными для решения аналогичных задач в других областях. По этой причине в стране организована специальная

служба государственного и отраслевого учета, хранения и выдачи по запросам разработанных алгоритмов или программ. Поэтому, начиная применение ЭВМ в новой области (например, для обработки историй болезней, для расчетов дозы лучевой терапии), нужно использовать имеющееся общее программное обеспечение, поставляемое с машиной, а также специальное программное обеспечение, содержащееся в государственном или отраслевых фондах алгоритмов и программ, и только при невозможности их использования создавать новые программы.

Как показывает опыт, при разработке сложных программ чрезвычайно важно обеспечить с самого начала работы правильное взаимопонимание и четкое взаимодействие между автором и будущим потребителем результатов задачи и программистом, занимающимся ее разработкой.

Желательно, чтобы описание задачи и все особенности последующего ее использования заказчик (врач, организатор здравоохранения, экономист, плановик и т.д.) представлял программисту в письменном виде. Последующие изменения и уточнения условий задач, требования к формам документов, которые должны вырабатываться ЭВМ, требования к точности выходных данных и другие также должны оформляться письменно. Это позволит во многих случаях избежать недоразумений и исключить непроизводительные затраты труда программистов.

Серьезное внимание должно уделяться оформлению окончательной документации на программы, которая должна включать описание для каждой задачи (программы) форматов входных документов и показателей с указанием видов величин (числовые, буквенные) и их разрядности. Должно быть описано существо методов обработки и способов контроля вычислений и составлены подробные инструкции операторам по подготовке информации и по работе на ЭВМ. Для эксплуатации программ и их передачи в другие организации необходимы подобные инструкции, схемы и распечатки программ с пояснениями, обеспечивающими возможность модификации программ для изменившихся условий их использования.

Главным принципом составления сложных программ является принцип модульной структуры. Сложная программа строится из автономных кусков, называемых модулями и выполняющих законченные функции преобразования информации. Модули связываются между собой с помощью специальной управляющей программы-диспетчера, которая включает их в работу в нужной последовательности.

Для сложных программ, состоящих из ряда автономных программных модулей, принято название *пакет прикладных программ* (ППП).

*Модульный принцип* построения сложных программ обеспечивает гибкость и устойчивость работы всей сложной системы программного обеспечения АСУ. При этом имеется возможность одновременного и независимого составления различных пользовательских программ и рабочих подпрограмм и простота их замены и корректировки, а также упрощается процесс отладки сложной системы программ.

Важным моментом в построении любой достаточно сложной медицинской программы является обеспечение контроля за первичными (входными) данными и контроля за правильностью вычислений. Нужно принять в качестве одного из принципов построения любых медицинских автоматизированных информационных систем следующее положение: везде, где ЭВМ может быть применена для контроля и исправления ошибок, допускаемых людьми (врачами, сестрами, перфораторщицами и т. п.) при подготовке, записи и вводе информации, она должна использоваться для этих целей и в общую программу (комплекс программ) должны включаться соответствующие участки.

Рассмотрим кратко основные особенности построения программного обеспечения ЭВМ третьего поколения. Во-первых, на организацию информационных массивов и всех вычислительных процессов в АСУ значительно влияет наличие в ЭВМ запоминающих устройств на магнитных дисках — устройств большой емкости с прямым доступом к информации. В таких устройствах удобно размещать библиотеки программ, словари, справочные таблицы, таблицы кодирования и другие часто используемые данные. При этом значительно упрощается и ускоряется процесс поиска и переписи этих данных в оперативную память по сравнению со случаем, когда подобные данные постоянно хранятся на магнитных лентах. Во-вторых, большое влияние на организацию вычислительных процессов и методику программирования задач АСУ оказывает наличие в ЭВМ развитых операционных систем, о которых говорилось выше. Напомним, что операционной системой в общем случае принято называть программу (или комплекс программ), постоянно находящуюся в оперативной памяти ЭВМ и обеспечивающую управление процессом решения одной или нескольких задач.

Основной функцией операционных систем является управление порядком решения различных задач и порядком выполнения различных этапов одной задачи в режиме так называемой *пакетной обработки*. При пакетной обработке в ЭВМ вводится для решения сразу несколько задач вместе с необходимыми

исходными данными. Вся эта информация размещается во внешних запоминающих устройствах и поочередно вызывается операционной системой в оперативную память для исполнения. Операционная система может учитывать и заранее установленную приоритетность (важность) задач. Операционная система следит за тем, чтобы вместе с вызовом какой-нибудь программы для исполнения ей подавались бы в нужные рабочие области памяти соответствующие исходные данные, а результаты решения своевременно выдавались на печать или во внешний накопитель, освобождая место для следующих программ и данных. Операционная система обеспечивает оптимальную загрузку всего оборудования ЭВМ и ее эффективное использование за счет совмещения во времени решения различных задач или разных этапов одной задачи. При этом может, например, оказаться так, что для одной задачи ЭВМ производит вычисления, для другой задачи выдает результаты на печать, а для третьей задачи производит ввод данных с внешнего накопителя.

Операционная система обеспечивает реализацию сложных стандартных процедур, связанных с обращениями к внешним устройствам — накопителям, устройствам ввода и вывода, каналам связи и др. Благодаря этому программист освобождается от необходимости каждый раз подробно программировать эти процедуры; он указывает в своей программе только укрупненные команды (так называемые *макрокоманды* или *экстракоды*), а реализацию этих команд обеспечивает операционная система с помощью стандартных подпрограмм, находящихся в ее составе. При этом имеется возможность постоянного пополнения и эффективного использования библиотек стандартных подпрограмм. Особенно развита эта функция в ЭВМ третьего поколения в связи с возможностью хранить такие библиотеки на магнитных дисках. Широкое использование библиотек стандартных подпрограмм связано с уже упомянутым *модульным принципом* построения больших программ, при котором новые сложные программы строятся в основном из готовых кусков — модулей с добавлением к ним необходимых переходных и нестандартных кусков.

В ЭВМ третьего поколения предусматриваются средства для обеспечения гибкости использования модулей программ. Эти модули строятся в виде так называемых *макроопределений*, обращение к которым осуществляется с помощью макрокоманд. В самих модулях предусматриваются участки, обеспечивающие их настройку на тот или иной конкретный вариант работы. Эта настройка в большинстве случаев сводится к выбору из самого модуля определенных (достаточно автономных) участков и соединению их в нужной последовательности. Все эти подготовительные процессы, связанные с настройкой отдельных модулей, а также с выбором нужных модулей и соединением их, носят название *генерации модулей* и выполняются под управлением операционной системы.

С помощью операционной системы происходит управление процессом трансляции программ с входных языков (АЛГОЛ, КОБОЛ, ФОРТРАН, ПЛ/1 и др.) на промежуточный машинный язык, процессом ввода (загрузки программ, распределения памяти для размещения программ и данных), а также процессом выполнения программ. При этом операционная система обеспечивает контроль за защитой зон памяти, т. е. исключает возможность обращения одной программы к зоне памяти, отведенной для другой программы. Важным свойством операционных систем ЭВМ третьего поколения является обеспечение возможности объединения в одну программу различных кусков, написанных на различных входных языках, т. е. приведение их к единому машинному виду и согласование между собой. Эта функция выполняется частью операционной системы, называемой *редактором*. Так как программы, осуществляющие трансляцию (перевод) программ с входных языков на машинные, работают также под управлением операционной системы, то часто и эти программы относят к операционной системе в широком смысле этого понятия.

Операционная система осуществляет взаимодействие ЭВМ с оператором, управляющим машиной. Она воспринимает указания оператора, набираемые на пульте или на пишущей машинке, выдает ему сообщения о ходе вычислений, о возможных сбоях, неисправностях оборудования и т. п.

Операционная система существенно упрощает работу оператора ЭВМ, освобождая его от текущего контроля за порядком решения задачи, вводом и выводом данных и программ. Особенно важными являются функции операционной системы при работе ЭВМ в так называемом *режиме разделения времени* одновременно со многими удаленными абонентами (пользователями), имеющими в своем распоряжении дисплеи (терминалы). Таких терминалов может быть подключено к одной достаточно мощной ЭВМ несколько десятков и даже сотен. Все эти пользователи могут запрашивать ЭВМ о выдаче той или иной информации, вводить свои программы и исходные данные, вводить задания на решение определенных задач, корректировать свои информационные массивы, хранящиеся в запоминающих устройствах ЭВМ, причем все эти действия совершаются в произвольные моменты времени.

Операционная система должна принимать поступающие сообщения, разбираться с ними, разделять их по видам работ и очередности выполнения, организовывать исполнение соответствующих программ и выдачу результатов, вести учет работы ЭВМ по заказам отдельных абонентов.

При достаточно высоком быстродействии ЭВМ каждый пользователь может получать свои ответы практически почти без задержки, при этом другие абоненты ему не мешают и у него создается впечатление, что он один работает с ЭВМ. Такой режим работы называют работой в реальном масштабе времени. Для работы в этом режиме ЭВМ должна иметь устройства, обеспечивающие возможность прерываний работы машины для ввода и вывода данных и для изменения порядка (очередности) решения различных задач.

При работе ЭВМ в системах управления технологическими процессами, когда она воспринимает исходную информацию не от людей-пользователей, а от электрических датчиков и выдает результаты не людям, а исполнительным механизмам, к режиму работы в реальном масштабе времени предъявляются более жесткие требования, обусловленные величиной допустимой задержки во времени реакции управляющего органа на изменение состояния системы. Как уже упоминалось, операционные системы могут иметь различную мощность и сложность — системы ДОС и ОС; каждая из них настраивается (*генерируется*) на определенный состав оборудования ЭВМ (ее конфигурацию). Так, операционная система ДОС рассчитана на работу со средними ЭВМ третьего поколения из единой серии (ЕС-1022), имеющими в своем составе магнитные диски.

Следующей существенной особенностью ЭВМ третьего поколения является более высокая степень унификации логической структуры ЭВМ. Как уже упоминалось, в этих машинах в подавляющем большинстве случаев принято байтовое представление информации. При этом способе минимальной единицей информации в машине является не слово (машинная ячейка), а 8-разрядный двоичный код — байт, который выражает один буквенный символ.

В ЭВМ третьего поколения принята почти во всем мире единая система кодирования символов. Из байтов могут формироваться слова по 4 байта, соответствующие ячейкам по 32 двоичных разряда; 2 байта образуют полуслово. В противоположность ЭВМ второго поколения, в которых наблюдалась полная разнокалиберность в разрядности ячеек памяти (24, 37, 48 и др.), в ЭВМ третьего поколения машинное представление данных унифицировано.

Для ЭВМ третьего поколения характерна также унификация структуры информационных массивов, в частности иерархическая организация групп данных; наибольшей единицей является *том данных* (катушка МЛ, пакет МД и т. п.). Он делится на массивы; массивы состоят из однотипных записей документов. Эти записи могут объединяться в пределах массива в *блоки*, размеры которых определяются исходя из условий переписи данных.

Массивы информации, расположенные на магнитных дисках или лентах и организованные стандартным способом, являются одним из примеров *файлов*, так как они имеют однотипную структуру записей, одно назначение и общее наименование. Для работы с информационными массивами, размещаемыми на магнитных лентах или дисках, предусматривается единообразная методика (наличие заголовков, служебных записей и меток, стандартные процедуры обращения к массивам, их переписи, корректировки, контроля и т. д.).

Пакеты дисков являются сменными и могут храниться отдельно, образуя машинный архив на МД. На дорожках МД данные размещаются унифицированными способами, что обусловлено наличием стандартных программ обращения к МД. В типовом случае информация на МД размещается в виде записей одинакового размера и структуры. Каждая запись относится к какому-то одному объекту или явлению. В записи выделяется обычно какой-то один признак (ключ) объекта, по которому производится его поиск. Существуют три основных типа файлов на МД: стандартный последовательный, прямой и индексно-последовательный.

Стандартный последовательный файл строится, как правило, без ключей. Он может состоять из записей фиксированной или произвольной длины. Этот файл используется как быстрая магнитная лента, т. е. обращение к записям производится путем последовательного просмотра файла. Допускается объединение записей в блоки, т. е. в группы записей, переписываемых за одну операцию обмена.

Файл с прямым доступом строится как с ключами, так и без них. При помещении новой записи нужно указать только адрес дорожки, так как адрес свободного места на дорожке будет определен автоматически самой ЭВМ.

При чтении записи нужно указать как адрес дорожки (цилиндра и головки), так и номер записи (т. е. адрес на дорожке). Если используются ключи, то поиск записи в пределах дорожки может производиться по ключу.

При прямом способе разные записи могут иметь одинаковые ключи, если эти записи находятся на разных дорожках.

В случае применения индексно-последовательного файла использование ключей обязательно. Записи могут быть как сгруппированными в блоки, так и несгруппированными. Обращение к записям может идти по порядку изменения ключей (например, по возрастанию или по алфавиту и др.), хотя сами записи могут при этом располагаться на МД в произвольном порядке. Можно обратиться сразу к нужной записи, зная ее ключ.

Наличие стандартных правил организации данных на МД и МЛ упрощает их использование и повышает надежность работы.

### 3.3. Применение универсальных баз данных

Рассмотрим принципы построения и использования базы данных. Несмотря на разнообразие конкретных реализаций баз данных (БД), имеется ряд общих принципов организации и использования этих баз, которые полезно знать лицам, связанным с постановкой и решением задач обработки больших объемов информации. Одной из основных целей создания баз данных является применение единообразных способов работы с большими массивами данных и исключение избыточности данных. Основным принципом построения баз данных являются унификация машинных записей информации и обеспечение возможности их использования различными программами при решении конкретных задач. Формирование базы данных и ее взаимодействие с конкретными пользовательскими программами обеспечиваются специальной программой, называемой СУБД (система управления базой данных).

Программа СУБД — это совокупность языковых средств и взаимосвязанных программных модулей, предназначенных для накопления, поиска, модификации, эксплуатации, обеспечения сохранности и контроля доступа к данным, размещаемым во внешних запоминающих устройствах прямого доступа (МД). СУБД обеспечивает возможность использования различных языков программирования, унификацию программ поиска и обработки данных и облегчает непосредственный доступ к базе данных пользователей, не являющихся специалистами по программированию. СУБД должна удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Гибкость в описании и организации данных и их взаимосвязей и независимость данных от прикладных программ, в которых они используются.
2. Наличие удобного языка управления данными.
3. Минимизация дополнительных затрат времени и памяти и обеспечение эффективного использования ресурсов ЭВМ.
4. Обеспечение физической сохранности данных при случайных сбоях оборудования.
5. Обеспечение логической защиты данных от их искажения при ошибках или сбоях в работе программ.
6. Обеспечение защиты данных от неразрешенного доступа.
7. Исключение избыточности и противоречивости данных.
8. Возможность работы пользователей в оперативном диалоговом режиме с ЭВМ.
9. Четкое и по возможности простое определение способов и возможностей использования СУБД.

**Структура базы данных.** В простейшем виде база данных — это централизованный массив данных, предназначенный для нескольких взаимосвязанных задач. СУБД обеспечивает возможность выделения нужных для конкретной задачи данных из общей интегрированной структуры. Так как разные задачи могут быть написаны на разных языках программирования, то при построении СУБД должна быть обеспечена независимость базы данных от языков программирования.

Структура базы данных в общем случае отражает естественную взаимосвязь между данными, относящимися к группе взаимосвязанных задач, для которых создается БД. Типовым физическим устройством хранения базы данных является ЗУ на магнитных дисках емкостью 100 Мбайтов. Пакет дисков имеет 404 цилиндра, каждый из которых содержит 19 дорожек емкостью в 4 блока по 3156 байтов каждый; всего в пакете 30 704 блока. Каждый блок называется страницей и является единицей обмена данными между МД и ОЗУ. Блоки нумеруются подряд от 0 до 30 703 (последний блок располагается на

19-й дорожке 404-го цилиндра). Вся база данных делится на части, называемые *областями*. Логические адреса областей задаются номерами соответствующих страниц.

Наименьшая порция данных, снабженная именем, называется элементарной единицей данных, или величиной. Каждая элементарная единица данных (величина) должна иметь имя (идентификатор) и определение типа и длины. Например,

ФАМИЛИЯ **PICTURE** X (20);

Здесь фамилия — идентификатор величины; **PICTURE** — условное обозначение шаблона данных; X — условное обозначение любого машинного знака. Число в скобках указывает количество повторений знака.

*Записью* называется набор из одной или нескольких величин. Описание типа записи состоит из идентификатора записи и описаний всех величин, входящих в запись. Например, запись с

идентификатором БОЛЬНОЙ содержит следующие величины:

ФАМИЛИЯ **PICTURE** X (20);

ИМЯ **PICTURE** X (10);

ОТЧЕСТВО **PICTURE** X (15);

Физическое размещение записей контролируется спецификациями одной или нескольких областей БД, в которых могут размещаться эти записи. В одной области могут плотно размещаться записи разных типов, на разных страницах, в разных количествах; ограничением является только общий объем выделенной области БД. СУБД обеспечивает автоматический доступ к каждой странице, ведет учет и проверку всех записей и учет свободных мест на каждой странице.

**Логические взаимосвязи между данными.** Как правило, логические взаимосвязи между величинами проявляются внутри записи путем совместного размещения величин в составе одной записи. Собственно говоря, определение записи предусматривает совокупность величин, относящихся к одному объекту, процессу или явлению.

Логические связи между разными записями реализуются путем объединения записей в наборы. Набор — это группа взаимосвязанных записей, образующая единую структуру данных. Набор, включающий три взаимосвязанные записи, показан на рис. 7.

В любом наборе одна запись должна быть главной и одна или несколько — подчиненными. Реализация связей осуществляется с помощью отсылок; *N* — отсылка к следующей подчиненной записи (в последней записи эта отсылка *N* является отсылкой к главной записи); *P* — отсылка к предыдущей записи и *D* — отсылка к главной записи.

В базе данных может быть любое число главных записей, и у каждой из них — любое число подчиненных записей. Каждая запись имеет основной признак — ключ, который ей присваивается СУБД при вводе записи в БД. Ключ определяет логическую позицию записи в БД и соответственно ее физическое размещение в ЗУ. В качестве отсылок между записями используются их ключи.

Сокращенно графические связи между записями обозначаются стрелками; рядом со стрелкой пишется буква — идентификатор набора. Одна стрелка обозначает все три вида отсылок *N*, *P*, *D* (рис. 8).

Имеется семь основных правил построения связей между записями:

1. Любая запись может быть членом (подчиненным) одного или нескольких наборов.
2. Любая запись может быть главной в одном или нескольких наборах.
3. Любая запись может быть главной в нескольких наборах и подчиненной в нескольких других наборах (иерархические структуры).
4. Набор может иметь только одну главную запись и одну или несколько подчиненных.
5. Между двумя записями может быть несколько различных связей.
6. Запись может находиться в составе БД без участия в каком-либо наборе.
7. Любая запись может быть определена как дополнительный член набора; при этом включение ее или исключение из набора определяется программой пользователя. Наличие этой дополнительной связи показывается на рисунках штриховой стрелкой.

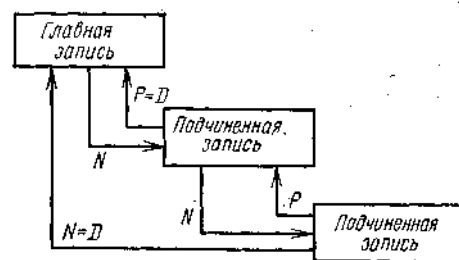


Рис. 7. Набор A

Построение БД требует тщательного изучения реальных связей, существующих между данными (документами) в учреждении, и творческого подхода. Имеются попытки разработать автоматизированные системы проектирования баз данных, но эти работы пока не вышли из стадии экспериментирования.

**Описания схемы и подсхем БД.** Схемой БД называется полное описание всех элементов БД включающее наименования и описания всех областей, единиц данных (величин), записей, наборов.

*Подсхема* — это логическое подмножество схемы, которое включает элементы, используемые в одной задаче. Разделение схемы БД на подсхемы способствует ограничению доступа различных лиц к данным и позволяет сосредоточить внимание программиста только на нужных. Для его задачи данных.

Независимость базы данных от задач и программ проявляется в том, что на уровне подсхем могут делаться любые изменения при условии сохранения совместимости подсхем с принятыми программными условиями. При графическом представлении схемы БД каждая подсхема обводится штриховой линией.

Языковые средства баз данных позволяют пользователям описывать данные, включаемые в БД, и осуществлять обращения к БД со стороны пользовательских программ, т. е. обеспечивают взаимодействие между пользователями и БД. В состав СУБД входят два языка: язык определения данных (ЯОД) и язык манипулирования данными (ЯМД).

Язык определения данных (ЯОД) служит для присвоения идентификаторов (имен) и описания свойств (атрибутов) всех областей, записей, наборов и для спецификации контроля доступа и использования содержимого БД со стороны прикладных программ. Описание схемы данных состоит из статей, которые делятся на три категории: статья области, статья записи, Статья набора. Каждая статья состоит из пунктов (предложений). Пункты статьи области служат в основном для указания логических адресов, по которым производятся отсылки из пунктов, описывающих записи.

Пункты в статье записи служат для спецификации размещения записей и описания содержания записи (т. е. входящих в запись величин).

Управление размещением записей. В общем случае управление размещением записей осуществляется СУБД автоматически; для этого достаточно указать область, в которой должны помещаться записи. Кроме того, существуют следующие дополнительные средства управления размещением:

прямой способ, при котором обращение к записям происходит по ключам, указываемым пользователем при вводе записей в БД;

вычислительный способ, позволяющий размещать записи на основе значения одной или нескольких величин в записи. Часто для этих целей используются алгоритмы свертки, т. е. вычисления по кодам букв слова, некоторого условного числа, которое затем используется в качестве адреса для размещения записи в пределах области;

способ привязки, который позволяет пользователю определить запись как член определенного набора.

Эти средства дают возможность пользователю самому определять способы обращения к записям.

Описание данных. При построении БД применяются гибкие средства описания данных и внутренней структуры записи. Группы величин могут объединяться в составные величины.

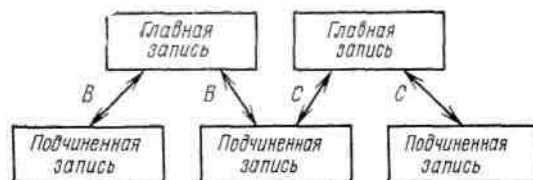


Рис. 8. Сокращенное обозначение двух наборов *V* и *C*

Эти составные величины и иерархические отношения между величинами обозначаются с помощью номеров уровней, подобно тому как это делается в алгоритмических языках КОБОЛ, ПЛ/1, АЛГЭМ и др. Таким же способом с помощью шаблонов описывается и структура элементарных (несоставных величин). Предусматривается описание величин различных типов: битовых, строчных (текстовых), двоичных или десятичных, с фиксированной или с плавающей запятой, действительных или комплексных. Имеется возможность добавлять в состав описаний другие типы величин. Очевидно, не все типы величин, допустимых в БД, могут оказаться совместимыми с тем или иным конкретным используемым языком программирования, и поэтому при построении БД должно быть предусмотрено необходимое соответствие с языками программирования. Некоторые величины могут быть описаны как результаты

работы некоторой программы (процедуры БД, программы, составленной системными программистами, ответственными за ведение БД). Такие результаты (выходные величины процедур БД) могут быть двух видов: фактические и виртуальные. Фактические результаты должны быть описаны в составе соответствующей записи. Виртуальные величины носят временный промежуточный характер; они не хранятся в составе записей БД, а формируются в записи при ее передаче пользовательской программе.

В составе процедур БД предусматриваются специальные *процедуры проверки* данных на их соответствие описанию шаблона, а также процедуры перекодирования (трансформации) величин при вводе их в БД, при их использовании прикладными программами (при пересылке величин в рабочие зоны пользовательских программ), а также при выводе данных из БД.

**Описание набора.** Описание набора представляется в виде *статьи набора*, состоящей из пунктов. Пункты статьи набора указывают идентификаторы записей и характеристики логических взаимосвязей между записями набора, определяющих упорядоченность записей в наборе.

Существует ряд способов упорядочения записей в наборе. Например, при вводе каждой новой записи может задаваться указание ставить ее в наборе в качестве первой записи (т. е. помещать ее в начало списка записей). Может быть дано указание поместить вводимую запись в конец списка записей либо непосредственно перед или после некоторой конкретной записи. Любой набор записей может быть упорядочен по типам записей или по ключам БД. Последовательность записей может обрабатываться в возрастающем или убывающем порядке в соответствии со значением одной или нескольких величин, входящих в эти записи. Следует заметить, что логическое упорядочение записей в соответствующих списках не зависит от их физического размещения в запоминающем устройстве. Более того, одни и те же записи могут участвовать в разных наборах и упорядочиваться с использованием разных критериев упорядочения.

Участие записей в наборах может быть двух видов: обязательное или возможное. Вид участия зависит от того, разрешается ли пользовательской программе вставлять записи в набор или удалять записи из набора. Обязательное участие означает постоянное присутствие записи в наборе (пока она есть в БД). Возможное участие допускает включение и исключение записи из БД. Вид участия может задаваться вручную — с помощью пользовательской программы — либо определяться самой БД (автоматически).

**Язык определения данных подсхемы.** Все сказанное выше о языке определения данных схемы БД в полной мере относится и к языку определения данных подсхемы БД. Разница заключается в том, что описание подсхемы носит локальный характер и позволяет учитывать специфику разных языков программирования. Таким образом, в одной БД возможны различные описания подсхем, приспособленные к разным языкам программирования. Введение описаний подсхем обеспечивает независимость описаний данных для разных задач и пользователей, т. е. изменения в БД локализируются в подсхемах. Каждая подсхема позволяет выбрать те записи, наборы, области, которые относятся к данной программе. Применение подсхем позволяет осуществлять следующие локальные действия (в пределах подсхемы);

- менять характеристики величин;
- опускать описания величин в записи;
- изменять размещение величин внутри записи;
- переименовывать записи, наборы, области, величины с целью удовлетворения условиям конкретных языков программирования.

Для составления подсхем требуется только указать спецификацию областей, записей и наборов, используемых в задаче. Пользователь может описать только те величины, которые необходимы для его задачи. В единой БД может быть любое число подсхем, и они могут между собой перекрываться. Пользовательские программы осуществляют обращение к БД только через соответствующие подсхемы. Любая подсхема может использоваться любым числом пользовательских программ.

**Процедуры базы данных.** Процедурами БД называются служебные программы, составленные системными программистами для ведения БД, обеспечения доступа к БД пользовательских программ и защиты данных от неразрешенного доступа. Процедуры БД вызываются СУБД для выполнения следующих действий:

- проверки соответствия «ключей» доступа, указанных в пользовательских программах, «замкам», указанным в соответствующих частях БД;
- выполнения специфических для БД функций пользовательскими программами;
- вычисления значений величин как функций других величин;
- выполнения поиска по запросам;



выполнения проверок или обработки величин;  
накопления и выдачи на печать статистических данных по работе БД для анализа и совершенствования структуры БД.

Процедуры БД должны строиться таким образом, чтобы их легко можно было использовать в программах пользователей.

**Защита данных.** Язык определения данных включает средства для обеспечения сохранности данных и контроля доступа к данным. Контроль доступа к данным предотвращает обращение к данным без разрешения. Он обеспечивается способом «ключ — замок» по отношению к областям, наборам, записям, величинам. Средства обеспечения сохранности данных служат для восстановления данных после сбоя операционной системы, пользовательских программ или оборудования.

**Язык манипулирования данными** обеспечивает доступ к БД для программ, написанных на существующих языках программирования; его можно рассматривать как расширение системы используемых языков программирования, отражающее синтаксис применяемого языка программирования. Например, существуют международные спецификации по построению ЯМД применительно к языку программирования экономических задач КОБОЛ. Эти спецификации являются основой и для построения ЯМД применительно к другим языкам программирования. ЯМД состоит из операторов, которые должны включаться в состав пользовательских программ для обеспечения обращений к БД. Операторы ЯМД служат для выполнения трех функций: контроля, поиска и модификации данных.

Контроль работы пользовательской программы с БД осуществляется с помощью операторов, обеспечивающих доступ этой программе к заданной области БД. Оператор ОТКРЫТЬ объявляет о начале работы пользовательской программы обращения к одной или нескольким областям БД. После этого могут применяться операторы поиска или модификации. Оператор ЗАКРЫТЬ объявляет об окончании работы пользовательской программы с указанными областями БД.

**Поиск данных.** Операторы поиска данных, входящие в состав программного обеспечения БД, осуществляют собственно доступ пользовательских программ к соответствующим записям БД. При использовании этих операторов имеется возможность варьировать в широких пределах способы поиска в зависимости от объема данных и характера решаемой задачи. В СУБД предусматриваются следующие методы поиска и доступа к записям:

прямой доступ к записи в БД по ее ключу. Этот способ обеспечивает доступ к любой записи независимо от наборов, в которые входит запись;

доступ по значению любой величины, указанной в спецификации схемы для данного типа записей; СУБД вычисляет позицию нужной записи в БД и проверяет наличие в ней заданной величины. Естественно, что предварительно такие величины должны быть включены в записи. Так можно проводить поиск записей по значениям величин;

доступ к записям на основе их участия в наборах. Если найдена одна запись набора, то по имеющимся в ней отсылкам возможны переходы к другим записям набора или к записям других наборов;

доступ к записям, упорядоченным в наборах в возрастающей или убывающей последовательности значений заданных величин. Для неупорядоченных наборов поиск может производиться на полное совпадение величины, заданной в программе, с величиной в записи;

доступ путем сплошного перебора записей в заданной области от первой до последней страницы. Этот способ не зависит от вхождения записей в наборы.

**Модификация набора данных.** Операторы модификации наборов обеспечивают добавление, замену или исключение данных в БД, а также включение (или исключение) записей в наборы (из наборов).

Следует заметить, что наряду с описанными выше полными возможностями работы с БД часто при построении СУБД предусматриваются упрощенные способы работы с БД, ориентированные на лиц, не являющихся программистами. Эти способы основаны на использовании нескольких типовых форматов записей и на инструктировании со стороны СУБД пользователя о порядке работы. После ввода кода выбранного формата СУБД запрашивает пользователя о необходимых ему данных; после выдачи данных СУБД снова запрашивает пользователя о наличии у него дополнительных запросов и т. д.

**Администрирование БД.** Ведение БД осуществляется специальным лицом (группой лиц), задачей которого являются создание новых подсхем описания данных, ведение БД с учетом требований многих пользователей. Это лицо, условно называемое администратором БД, должно работать в тесном контакте с системными программистами и пользователями БД (прикладными программистами).

Задачи группы ведения БД кратко могут быть сформулированы следующим образом:

- 1) определение требований к БД от различных пользователей;
- 2) помощь программистам в использовании ЯМД; ,
- 3) спецификация содержания и структуры БД;
- 4) создание подсхем для задач;
- 5) оформление документации на схему и подсхемы для прикладных программистов и ведение словаря БД;
- б) внедрение процедур контроля и восстановления данных для обеспечения сохранности данных;
- 7) доработка СУБД в соответствии с конкретными условиями применения;
- 8) регулирование добавления новых областей, величин, записей, наборов;
- 9) реконструкция БД при появлении новых физических ЗУ или изменениях структуры БД;
- 10) установление ограничений в использовании ЯМД для каждой подсхемы.

Важной задачей группы ведения БД являются анализ эффективности использования БД и разработка предложений по более полному и эффективному использованию БД в рамках вычислительного центра, АСУ или комплексной информационной системы.

Одним из первых примеров банков данных в СССР является банк данных универсальной структуры «БАНК» (а затем БАНК ОС), распространяемый научно-производственным объединением «Центрпрограммсистем». СУБД БАНК представляет собой пакет прикладных программ для ЕС ЭВМ, рассчитанный на работу с дисковой операционной системой ДОС ЕС при составе оборудования модели ЕС-1022 и выше. Этот пакет позволяет создавать и корректировать до пяти файлов информации на МД (добавлять и исключать записи) и производить в них поиск.

В качестве физической единицы данных в файлах служит *страница* — блок фиксированной длины, состоящей из записей. Максимальный размер записи не должен превышать длину дорожки. Предусматривается возможность иметь до 255 разных типов записей.

Описываемый банк данных строится по так называемому ассоциативно-адресному способу организации поисковых массивов. Каждая запись может входить в произвольное число организуемых по этому способу цепных списков, причем структура записей, состав поисковых признаков и цепных списков, состав перекрестных связей между массивами определяются и задаются пользователем в зависимости от конкретных условий применения данного пакета программ. Обращения к записям могут осуществляться либо поиском по заданному ключу, либо прямым способом по адресу записи, либо поиском по цепному списку.

В состав указанного пакета прикладных программ входят следующие части: набор макроопределений; набор процедурных модулей; программа формирования таблиц констант, описывающих структуру базы данных; резидентная программа, обеспечивающая все связи между данной системой и программой пользователя; обслуживающие программы, обеспечивающие учет работы системы (время работы, число обращений и т. д.) и ведение системного журнала, в котором отражаются все изменения, вносимые в банк данных. На основе указанного журнала и копии файлов специальная восстанавливающая программа может восстановить данные при искажении или сбоях аппаратуры.

К обслуживающим программам относится также программа подготовки МД, служащая для формирования (разметки) страниц на МД в областях, предназначенных для размещения базы данных. Имеется также специальная программа реорганизации банка данных, предназначенная для включения новых записей, организации цепных списков, исключения записи.

Набор макроопределений служит для описания структуры базы данных и используется при подготовке программы пользователя к работе с базой данных.

Процедурные модули могут настраиваться на конкретные структуры базы данных и обеспечивать возможность пользователю обращаться к банку данных на логическом уровне, т. е. без непосредственного программирования операций обработки цепных списков, вычисления адресов записей и т. д. Предусматривается возможность включения процедурных модулей в программу пользователя с использованием языка Ассемблера.

Процедурные модули служат для реализации следующих процедур: включения записей в файлы в соответствии с их типом и описанием; исключения записей из файлов с исключением их из всех цепных списков, в которые они входят, и удаления всех записей из цепных списков, отходящих от исключаемой записи; поиска и выдачи записей по их признакам; корректировки значений полей данных, образующих записи.

Для работы с данным пакетом прикладных программ требуются предварительное описание конкретной структуры базы данных пользователя, задание в рабочей области памяти буферов, полей и

ячеек связей, необходимых для работы пакета, и включение в программы пользователя операторов банка данных.

Программа, составленная на исходном языке, проходит этапы трансляции и редактирования, причем возможны отдельная трансляция макрокоманд описания базы данных и использование полученного объектного модуля другими программами. Применение пакета программ универсального банка данных упрощает процесс программирования задач обработки больших массивов информации, приводит к унификации подобных программ у различных пользователей, повышает четкость ведения массивов. Этот пакет обеспечивает достаточно высокую скорость поиска и обновления файлов, экономию емкости памяти на МД (за счет устранения дублирования данных). Важной является также защита от случайных искажений в базе данных, так как обращение к ней осуществляется через процедурные модули. Кроме описанной СУБД БАНК существует и ряд других пакетов прикладных программ управления базами данных (ОКА, ИНЭС, СИОД, ИРИС, TOTAL и др.). Сама СУБД БАНК получила дальнейшее развитие и усовершенствование в виде БАНК-ОС и БАНК-П-ОС. Разработчиком семейства СУБД БАНК является Пермский НИИУМС.

### **3.4. Специализированная система обработки медицинской информации МАМПС**

Широкое применение во многих странах получила специализированная система обработки медицинской информации МАМПС (MUMPS). Эта система включает в себя три основные части: операционную систему, средства программирования задач обработки медицинской информации, средства управления базой медицинских данных. Операционная система обеспечивает реализацию процессов взаимодействия пользователей с информационной системой. Название MUMPS образовано как аббревиатура от полного названия Massachusetts General Hospital Utility Multi — Programming System (Пользовательская многопрограммная система Массачусетского главного госпиталя). Работы по созданию этой системы начались в 1966 г., и в настоящее время она получила широкое практическое применение в медицинских вычислительных центрах в разных странах на ЭВМ серии PDP.

В связи с тем, что ЭВМ PDP-11/70 выбрана в качестве прототипа для разработки советских мини-ЭВМ серии СМ, система МАМПС получила реализацию в виде адаптированной операционной системы ДИАМС для ЭВМ серии СМ. Таким образом, знакомство с основными чертами системы МАМПС будет полезно советским читателям. Основными принципами построения МАМПС являются: а) модульность построения программ, обеспечивающая возможность постепенного повышения объема и сложности решаемых задач; б) обеспечение простоты и быстроты доступа пользователей к необходимой информации независимо от источников ее получения; в) возможность обработки как числовой, так и текстовой информации; г) простота модификации программ и информационных массивов в связи с изменениями потребностей и условий применения системы.

Одной из основных задач, для которых создавалась система МАМПС, является машинное ведение историй болезней. Как известно, в истории болезней информация поступает из разных источников: от самого больного, от лечащего врача, от консультантов, из клинических лабораторий, рентгеновских кабинетов, различных специальных кабинетов. Подавляющая часть информации представлена в виде медицинских текстов. Собранная информация должна быть доступна (достаточно оперативно) различным лицам, связанным с лечением больного (сестрам, врачам, административному персоналу больницы) История болезней является объемным документом, имеющим сложную структуру, отражающую хронологическую и тематическую зависимость между различными величинами.

В процессе работы должен быть обеспечен доступ к любой произвольно заданной части истории болезни с целью ее обновления или выборки данных. Важно также обеспечить возможность одновременного и независимого доступа к одним и тем же данным от разных пользователей с необходимыми мерами по защите данных от искажений и недозволенного использования. МАМПС включает в себя четыре основные части:

- а) язык программирования и интерпретирующую программу для выполнения команд этого языка;
- б) управляющую программу, обеспечивающую выделение зон оперативной памяти для пользователей, регулирование работы разных устройств ЭВМ, защиту файлов от искажений;
- в) подсистему управления базой данных на МД, организующую данные в виде иерархической структуры;
- г) подсистему управления вводом и выводом данных, обеспечивающую взаимодействие ЭВМ со многими терминалами.

**Язык программирования МАМПС** относится к языкам высокого уровня, использующим помимо обычных арифметических операторов ограниченный набор словесных операторов (на английском языке) для выполнения сложных действий. Интерпретационный принцип трансляции программ позволяет составлять, корректировать (отлаживать) программы в диалоговом режиме, используя дисплей, что сокращает сроки и упрощает процесс программирования.

Язык отражает процедурный принцип организации программ. Каждая программа делится на логически законченные «части»; каждая часть состоит из «шагов». Отдельные шаги могут содержать сложные команды или функции. Между частями программы могут совершаться условные переходы; сегменты программы могут вызываться с МД с помощью команды *CALL* (вызвать) или *OVERLAY* (перекрыть). Данные могут быть «глобальными» или «локальными». Глобальные данные являются общими для всех частей программы; они могут использоваться в командах *CALL* и *OVERLAY*. Локальные данные относятся только к определенным частям программы.

В системе МАМПС предусматривается возможность использования величин трех типов: целые числа, логические (так называемые булевы) переменные, строчные (текстовые) переменные. Для каждого из этих типов существуют свои операции и функции. К числовым величинам применяются обычные арифметические действия (+, —, \*, /). Знак \* означает умножение. Для арифметических действий могут использоваться однословные (два байта) или двухсловные (четыре байта) форматы. При этом предусматривается фиксированное положение запятой. Однословные числа, хранимые в памяти ЭВМ, должны быть в пределах  $\pm 327,67$ . При необходимости получить большую точность автоматически происходит переход на двухсловный формат с пределами  $\pm 21474836,47$ .

Имеются операторы условного перехода, реализующие критерии «меньше», «больше», «не равно». При этом возможно использование сложных логических выражений, образованных с помощью операций *и*, *или*, *нет*.

Одним из наиболее важных средств языка МАМПС являются операторы обработки текстовых переменных. Значениями этих переменных могут быть строки, состоящие не больше чем из 132 символов (букв, десятичных цифр или каких-либо других допустимых знаков).

В языке имеются операторы для сравнения двух строк на полное совпадение, соединения строк, проверки строк по образцам. Последнее, в частности, применяется при контроле правильности ответов пользователей.

С помощью функции *EXTRACT* (извлечь) можно извлечь часть строки, заданную указанием ее положения внутри строки. Это возможно для строк фиксированной длины. При строках переменной длины с помощью функции *PIECE* (кусок) можно выделить часть ее на основе заданных символов. Функция *FIND* (найти) позволяет найти определенный символ внутри строки.

Язык МАМПС допускает операции со смешанными выражениями. Если, например, в составе строки имеется число, то оно может использоваться в арифметических операциях.

*Команды языка МАМПС* делятся на 4 группы: назначения, управления, ввода — вывода, системные.

Команды назначения служат для присваивания переменной значения выражения и для стирания значений. Пример:

$$SET A = B + C / 5$$

Переменной *A* присваивается значение, полученное в результате вычисления выражения  $B + C / 5$ .

*KILLA* — Стирается локальная переменная *A*.

*XKILL B* — стирается все, кроме переменной *B*.

Команды управления служат для управления ходом выполнения программы. Пример:

*GOTO 5.46* — перейти к части 5 шагу 46 программы.

*DO 5* — вызвать подпрограмму 5.

*IF A > B DO 5* — если *A* больше *B*, перейти по метке 5.

*FOR I = 1 : 1 : 10 DO I* — выполнить цикл в программе с меткой 7 с изменением переменной цикла *I* от 1 до 10 с шагом 1.

*CALL PROG* — вызов сегмента программы с обеспечением возвращения к прерванному месту программы.

*OVERLAY* — вызов программы (с перекрытием) без обеспечения возврата.

*START JOB* — начало выполнения программы в свободной зоне ОЗУ (*partition*).

*QUIT* — прекращение цикла в программе.

*HANG 5* — временная задержка выполнения программы на заданный интервал (5 секунд).

*HALT* — окончание выполнения программы.

В состав группы команд ввода — вывода входят следующие 6 команд:

*TYPE* — выдача данных на основное печатающее устройство.

*READ* — ввод (чтение) данных от пользователя.

*PRINT* — выдача специальных контрольных данных.

*WRITE* — выписать программу.

*ASSIGN* — закрепление периферийного устройства.

*UNASSIGN* — возвращение периферийного устройства.

К системным командам относятся следующие:

*MODIFY* — корректировка шага программы.

*ERASE* — исключение шага программы.

*LOAD* — загрузка программы.

*FILE* — каталогизация программы.

*BREAK* — временная остановка программы для отладки.

*VIEW* — проверка или изменение ячейки ОЗУ.

В языке МАМПС предусматривается следующий набор функций:

*CREATE* — образование числового значения из трех знаков.

*DEFINE* — проверка типа переменной.

*FIND* — нахождение позиции знака в строке.

*HIGM* — получение следующего по упорядочению элемента массива.

*INTEGER* — отсечение десятичной дроби числа.

*LENGTH* — определение длины строки.

*M* — функция плавающей запятой.

*NEXT* — получение номера следующего шага.

*Q* — получение следующего по размещению (физическому) элемента массива.

*ROOT* — извлечение квадратного корня.

*VIEW* — восстановление содержимого ячейки ОЗУ.

*ALTER CASE* — изменение шрифта.

*EXTRACT* — извлечение символа из заданного места строки.

*PIECE* — извлечение поля (группы символов) из строки.

*STEP* — получение содержимого шага.

*TEXT* — преобразование чисел в текст.

Для выполнения действий над величинами (числовыми и текстовыми) в языке МАМПС имеются следующие знаки операций:

+	— сложение,	!	— дизъюнкция (или),
—	— вычитание,	,	— отрицание (нет),
*	— умножение,	[	— содержится (в строке),
/	— деление,	]	— следует (в строке),
<	— меньше чем,	?	— проверка строки по образцу.
>	— больше чем,		
=	— равно,		
^	— конъюнкция (и),		

Для обеспечения взаимодействия прикладных программистов с операционной системой МАМПС имеется ряд «системных переменных», показывающих состояния устройств ввода — вывода, дату и время и др. В процессе многопрограммной работы с несколькими пользователями одновременно могут возникать ошибочные ситуации, вызывающие задержку выполнения той или иной программы. Любая прикладная программа может обрабатывать свои ошибочные ситуации, используя специальные системные переменные *E* и *W*. При возникновении ошибочной ситуации управление передается той части программы, которая указана текущим значением переменной *E*. При этом ошибочный код заносится в качестве значения *E*, а номер шага, на котором произошла ошибка, запоминается в качестве

значения переменной  $W$ . Прикладная программа может произвести анализ ошибки и выбрать нужный вариант продолжения вычислительного процесса.

Язык МАМПС позволяет пользователям управлять процессом выполнения своих программ во времени.

С помощью команды *HANG* можно задержать выполнение программы на заданное число секунд. Например, при работе нескольких пользователей данные, выдаваемые на печать (АЦПУ), предварительно записываются в определенный файл на магнитном диске. Программа печати периодически с интервалом несколько секунд проверяет этот файл, и если в нем имеются данные, то выдает их на печать. Команда ввода данных от пользователя *READ* также может применяться с временным ограничением; если определенный пользователь не уложился в положенное время, то будет выработан соответствующий сигнал.

Полезным свойством системы МАМПС является возможность для любой прикладной программы получить текущие значения года, месяца, дня и времени суток.

**Структура файлов МАМПС.** Как уже говорилось, МАМПС представляет собой сочетание операционной системы и системы управления базой данных. В базе данных файлы организуются по иерархическому принципу, могут иметь любое число уровней и до двух миллионов вершин на каждом уровне. Все обращения к файлам осуществляются посредством символических отсылок к массивам. Каждая вершина может содержать отсылку (указатель) к нижнему уровню, какие-то данные, а может иметь и то, и другое.

Размещение вершин является динамическим, причем строятся только те вершины, для которых имеются данные. Например, записи больных (истории болезней) могут различаться с помощью 4-разрядного идентификационного номера пациента. Отсылки первого уровня будут соответствовать двум старшим разрядам этого номера и принимать значения от 0 до 99. Второй уровень содержит до 100 групп отсылок, каждая из которых может иметь до 100 отсылок к следующему (нижнему) уровню файла. На третьем уровне каждая вершина содержит данные для определенной записи больного. Сами же записи не обязательно должны иметь в своем составе идентификационные номера больных, так как они уже зафиксированы указанной системой отсылок. Обращение к записи по заданному идентификационному номеру происходит в три шага: по первым двум цифрам находится вершина первого уровня, от нее переход к группе вершин второго уровня. В этой группе находится вершина, соответствующая двум младшим цифрам номера, и от этой вершины происходит переход к нужной записи. Таким образом, потребуются три обращения к магнитному диску. От найденных записей может происходить переход на четвертый уровень, если будут соответствующие дополнительные записи и т. д.

Такой способ организации данных (аналогичный методу ассоциативного программирования) обеспечивает быстроту поиска и экономное использование памяти ЭВМ, так как при этом не требуется заранее размещать записи фиксированной длины, а также резервировать место для несуществующих записей (но которые могут быть созданы).

В дополнение к иерархической структуре файлов в МАМПС предусмотрена последовательная обработка данных, находящихся в определенных областях на магнитном диске. Эти области рассматриваются как сплошные блоки с байтовой адресацией. Такие блоки совместимы с дисковой операционной системой *PDP-11/70*; эти блоки могут создаваться при работе МАМПС в режиме разделения времени, а обрабатываться в дальнейшем в пакетном режиме под управлением ДОС.

Последовательная обработка данных с МД может использоваться также для накопления и последовательного выполнения однотипных работ над различными данными, например для выдачи на печать многих сообщений.

*Организация работы МАМПС.* Одновременное выполнение многих работ для различных пользователей обеспечивается в МАМПС выделением в оперативной памяти для каждой работы фиксированной зоны (*partition*). При этом переход от одной работы к другой осуществляется изменением содержания общих регистров.

Система МАМПС ориентирована в основном на диалоговый режим работы с использованием различных типов терминалов (дисплеев, пишущих машинок, телетайпов, модемов и другой связной аппаратуры). Работая с терминалами, пользователи могут контролировать использование остальных ресурсов ЭВМ (магнитных лент и дисков, печатающих устройств и др.).

Работает МАМПС по принципу интерпретации команд высокого уровня, что обеспечивает сокращение числа операторов в исходных программах по сравнению с принципом компиляции. Это существенно с точки зрения сокращения объема фиксированных областей памяти, выделяемых для

отдельных работ. Принцип интерпретации также оказывается более выгодным в случаях, когда превалируют процедуры ввода — вывода по сравнению с вычислительными процедурами. Процесс эксплуатации подобных систем проще по сравнению с трансляторами, так как здесь требуется проверить только программы на исходном языке и проще вносить различные изменения в программы.

В МАМПС предусмотрены средства для защиты файлов от недозволённого доступа и их восстановления при сбоях.

Программы, написанные на интерпретативном языке, не требуют трансляции и сборки. Сведения об ошибках во времени выполнения печатаются на терминале, что позволяет быстро исправить, модифицировать и повторить программу. Все исправления и модификации делаются на том же языке, что и программа, и реализуются через терминал. Это приводит к сокращению времени работы программиста, машинного времени и сокращает конечное время прогонки программы.

Язык МАМПС позволяет программисту писать программу, отлаживать, корректировать, прогонять ее и модифицировать с помощью пульта в процессе взаимодействия с ЭВМ.

- Мониторы разделения времени и ввода — вывода специально сегментированы для обеспечения эффективной работы с интерпретатором. Активизация программы состоит в нахождении свободной области и загрузке в нее программы с МД. Программа находится в этой области до тех пор, пока она требуется для работы.

Язык МАМПС в большей степени нагляден, чем ФОРТРАН и АЛГОЛ. Наибольшей единицей в программе является группа операторов, называемая «частью» и снабженная целой частью номера (метки).

Отдельная строка или оператор программы называется шагом. Он идентифицируется номером шага в виде десятичной дроби, следующей за номером части.

Сложные команды могут быть записаны как один шаг и выполняются одна за другой. Условные операторы в случае ложного ответа, однако, могут вызывать пропуски остатка команд в шаге.

Команды могут записываться полными мнемоническими кодами или (в случае опытного программиста) в компактной форме с указанием только первой буквы кода команды.

Если некоторый оператор вводится с терминала с указанием перед ним номера шага (метки), то он вставляется на соответствующее место в программу и будет выполняться, когда дойдет до него очередь. Это так называемый непрямой, или программный, способ ввода операторов. Если вводится оператор без номера шага перед ним, то он считается заданным непосредственно и будет выполняться сразу же после того, как введен с пользовательского терминала.

**Использование МАМПС.** За исключением лабораторных данных, которые являются цифрами или простыми текстовыми, большинство клинической информации в медицинских записях представляется в свободной описательной текстовой форме. Для структуризации описательной информации существует ряд способов: специальные бланки с подчеркиванием ответов, формы с записью цифровых ответов, прямой диалог пользователя с ЭВМ. Прямой диалог для ввода описательной информации требует иерархической организации вопросника и обратного представления пользователю вводимого материала. Любой конкретный вопрос может быть развернут на произвольную глубину пословным разделением и уточнением деталей.

Информация, введенная в процессе диалога, должна быть переведена в более точную, кодированную форму.

В 1977 г. МАМПС был принят в США в число стандартных алгоритмических языков с реализацией на ЭВМ типа PDP в виде операционной системы с транслятором интерпретационного типа и системы управления базой данных с иерархической структурой. Отличительной чертой МАМПС является также наличие развитых средств (команд и функций) для операций над строками символов, что важно при обработке текстовой информации. Система МАМПС сравнительно проста в изучении и освоении благодаря объединению в единую систему различных видов математического обеспечения, представляющих в других системах автономные части (язык управления заданиями, язык описания данных, протокол взаимодействия с терминалами и т. д.).

Недостатком МАМПС по сравнению, например, с языком КОБОЛ является необходимость ручной работы по составлению программной документации, так как каждая запись в МАМПС рассматривается только как строка символов. Легкость корректировки и модификации программ, обеспечиваемая в МАМПС, имеет и свою отрицательную сторону, так как возможны случаи изменения программ, используемых несколькими пользователями, без учета влияния этих изменений на всех пользователей.

Для обеспечения высокой производительности труда программистов, использующих МАМПС, должно быть в наличии достаточное число терминалов, желательнее по одному терминалу на человека.

К недостаткам системы МАМПС можно отнести также сравнительно небольшие размеры областей, выделяемых в оперативной памяти для каждого из пользователей. Размер этих областей определяется при генерации системы и зависит от общего числа одновременно обслуживаемых пользователей. Чем больше пользователей, тем меньше может быть область, выделяемая каждому пользователю. Следует иметь в виду, что общесистемные программы занимают 16 Кбайт (монитор разделения времени, монитор ввода — вывода, буфера, интерпретатор). Монитор разделения времени и монитор ввода — вывода специально сегментированы для обеспечения эффективной работы совместно с интерпретатором.

В каждой области, выделенной определенному пользователю, помещаются заголовок этой области, модуль программы пользователя, работающий в данный момент, стек пользователя (т. е. специальный список переменных) и локальные переменные этой программы.

В связи с указанным ограничением размера области программистам приходится следить за тем, чтобы их программы не превышали допустимых пределов. При этом большие программы приходится искусственно делить на небольшие модули.

Если пользовательская программа должна работать со своими рабочими массивами большой (или неопределенной) величины или если она использует большое число небольших рабочих массивов или переменных, то все эти данные приходится делать не локальными, а глобальными (хотя их использует только одна эта программа).

В системе МАМПС глобальные величины хранятся на МД, и их объем практически не ограничивается за счет выборки данных с МД. Локальные данные хранятся в оперативной памяти. Если локальные величины являются внешними, т. е. используются несколькими модулями, то их требуется описывать особым образом, как в некоторых других системах. Достаточно договориться соответствующим программистам об использовании определенных идентификаторов этих величин. В системе МАМПС не предусмотрено сохранение локальных данных после окончания работы программы, поэтому сами программисты должны заботиться об их сохранении, если эти данные необходимы для работы следующего модуля программы.

Перечисленные недостатки носят технический характер и частично устранены в адаптированном варианте системы МАМПС применительно к отечественным машинам СМ-3 и СМ-4 (система ДИАМС).

## *Глава 4*

# **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ФАКТОГРАФИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НОРМИН**

## **4.1. Нормализованный язык текстовой информации НОРМИН**

Язык НОРМИН представляет собой упрощенный (нормализованный) вариант естественного описательного языка медицинских текстов. Он служит для ввода информации в автоматизированную фактографическую информационно-логическую систему (АФИЛС). В языке НОРМИН четко определяются структура входного документа, правила записи предложений, состав и назначение предлогов и других смысловых связей.

При построении любых информационно-поисковых систем (ИПС) большое значение имеет проблема нормализации языков входных и выходных сообщений. Обычно тексты сообщений задаются на естественном языке, и их нормализация необходима для эффективного взаимодействия пользователей и ИПС, так как непосредственная обработка текстов на естественном языке требует слишком сложных алгоритмов, связанных с устранением омонимии, синонимии и полисемии слов и многозначности конструкций естественного языка. Общая структура автоматизированной фактографической информационно-логической системы (АФИЛС), в которой используется нормализованный язык НОРМИН, показана на рис. 9.

Системы АФИЛС представляют собой особый класс ИПС, в которых осуществляются логическая переработка информации, формирование информационной модели предметной области, поиск, синтез и выдача фактических данных в ответ на тематические запросы. В АФИЛС можно сопоставлять вновь вводимые данные с ранее накопленными с целью их анализа, контроля и формирования модели



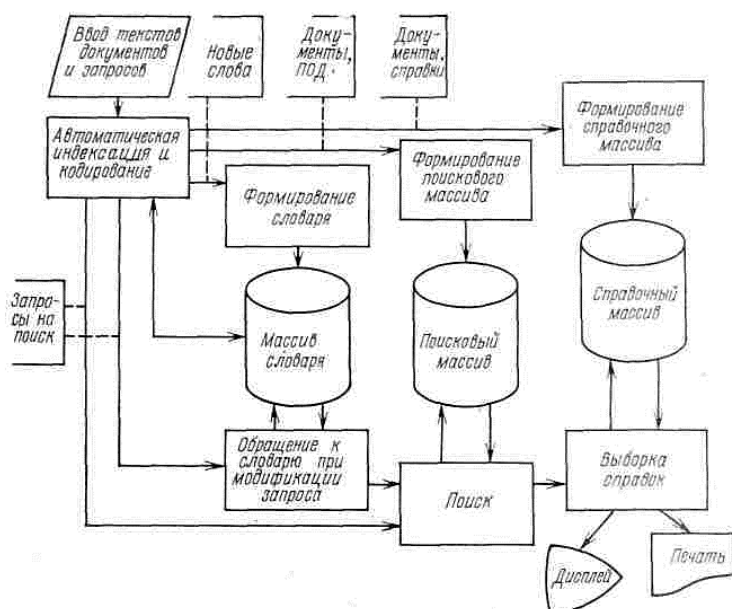


Рис. 9. Общая структура АФИЛС

предметной области. При построении АФИЛС степень нормализации естественного языка должна определяться, с одной стороны, потребностями пользователей ИПС, и, с другой стороны, наличием имеющихся средств для обработки текстов.

Нормализованным считается язык, созданный на базе естественного языка, ограниченного с точки зрения грамматики и лексики в зависимости от характера обработки текстов. При этом в нормализованном языке допускается введение элементов, отсутствующих в естественном языке

Следует отличать, однако, нормализованный язык от формального: нормализованный язык, во-первых, в значительной мере сохраняет свойства естественного языка, а во-вторых, является более гибким, более полным и практически неограниченным (по крайней мере, с точки зрения лексики).

Существует определенная зависимость между нормализованным языком и лингвистическим типом нормализуемого естественного языка, обусловленная тем, что в различных естественных языках нормализации могут подвергаться различные элементы языка. В данном случае речь идет о нормализации русского языка, ориентированного на представление медицинских, медико-биологических и медико-технических текстов.

На основе анализа структуры и состава типовых предложений этих текстов разработан нормализованный язык НОРМИН. В нем допускаются простые предложения, которые могут включать причастные обороты. Существительные могут использоваться во всех падежах единственного и множественного числа. Допускается применение глаголов в возвратной форме в двух временах. Прилагательные, причастия и порядковые числительные записываются в сокращенной форме с точкой вместо окончания. Не допускается использование местоимений. В языке допускается использование практически всех предлогов русского языка, однако каждый предлог имеет четко определенный, фиксированный смысл. Некоторые предлоги могут иметь несколько смысловых значений в зависимости от того, с какими словами они употребляются.

Например, предложение «При исследовании больных с опухолями сельлярной области целесообразно использовать пертехнетат, который обеспечивает лучшие по сравнению с альбумином условия для выявления патологии данной области» на языке НОРМИН будет записано следующим образом: «При исследовании больных с опухолями сельярн. области использование пертехнетата для выявления патологии сельярн. области более эффективно по сравнению с альбумином».

Язык НОРМИН предусматривает использование словаря (тезауруса), в котором термины разделены на семантические категории двух типов: общие (материальный объект, процесс, время и т. д.) и специальные (болезни, органы, организмы и т. д.). Помимо семантических категорий в словаре указана следующая информация: грамматический класс слова, его числовой код (КД — код дескриптора), падежи существительных и времена глаголов. Более подробно язык НОРМИН и основные алгоритмы обработки нормализованных текстов будут описаны ниже.

Описываемый нормализованный язык НОРМИН получен на основе анализа большого количества научных текстов, главным образом медицинского и медико-технического характера (рефераты статей и книг, записи историй болезней, рефераты отчетов по научно-исследовательским работам, инструкции по применению медикаментов и т. д.). Как показывает опыт, этот язык является достаточно удобным для представления текстовых сообщений и в то же время ему в значительно меньшей степени свойственны

такие недостатки естественного языка, как многозначность, избыточность, зависимость смысла слов и выражений от контекста.

В общем случае любой входной язык автоматизированных информационных систем должен включать в себя четыре части:

- алфавит, т. е. набор допустимых символов языка;
- словарный запас, представляемый тезаурусом;
- систему семантико-синтаксических связей (грамматических средств и смысловых связей);
- средства структуризации текстов и выражения прагматических аспектов информации.

Тезаурус обеспечивает связь информационной системы с заданной областью внешнего мира. Элементы (слова и словосочетания) тезауруса имеют тройное значение: каждый элемент, во-первых, имеет смысл (сущность), т. е. представляет какой-то объект, явление, процесс внешнего мира или их свойство, характеристику; во-вторых, языковое представление в виде слова или словосочетания с определенными грамматическими характеристиками; в-третьих, машинное представление, т. е. машинный код.

Тезаурус содержит систему взаимосвязей слов и словосочетаний, отражающую реальные отношения между объектами внешнего мира. Взаимосвязи между элементами тезауруса обеспечиваются отнесением их к общим семантическим категориям, соответствующим основным физическим категориям внешнего мира (время, место, мера, вещество, средство и др.) и к специальным категориям, характерным для данной предметной области, а также установлением между элементами тезауруса отношений синонимии и подчиненности (родовидовых отношений). Категория места может быть названа также пространственной категорией, а категория меры — категорией количества.

При формировании из элементов тезауруса конкретных сообщений необходимо объединять их в предложения и более крупные единицы текста. Для этого используются грамматические средства. Синтаксические связи позволяют связывать слова в предложения или более крупные единицы текста, а семантические связи показывают физические (смысловые) взаимоотношения между объектами, явлениями, признаками, выражаемыми определенными членами предложений. Однако в естественных языках нет четкой границы между синтаксическими и семантическими связями. Эти связи тесно переплетаются между собой. Семантика выражается через синтаксис, а синтаксис уточняется с помощью семантики. Как правило, синтаксические связи являются более частными по отношению к семантическим. Например, определительная семантическая связь может выражаться несколькими синтаксическими способами: прилагательным, родительным падежом, предлогом «с» («купол с позолотой») и др.

В связи с изложенным при построении нормализованного информационного языка не имеет смысла делить грамматические средства на синтаксические и семантические, а следует рассматривать единый набор семантико-синтаксических связей и проводить их классификацию с точки зрения выражаемого ими смысла. Набор таких связей вместе с системой их эквивалентных и полуэквивалентных преобразований составляет вторую априорную часть информационного языка. Эта часть называется априорной потому, что она определяется заранее при разработке информационной системы, до ввода в нее конкретных текстов и может быть использована вместе с тезаурусом для построения различных конкретных текстов.

Средства структуризации текстов и выражения прагматических аспектов информации содержат правила разделения информации на документы (законченные сообщения), включая описание формальных признаков этих документов (вид, дата ввода, номер и т. д.), средства разделения документов на пункты и подпункты (тематические разделы и параграфы), средства разделения информации на предложения, выделения обобщающих предложений (заголовков и подзаголовков), средства введения сокращений (идентификаторов), заменяющих слова или словосочетания, средства для выражения прагматических аспектов вводимой или выводимой информации (надежность или сомнительность данных, выводы, рекомендации и т. д.).

Деление документа на пункты обеспечивает группирование (объединение) информации по типовым семантическим аспектам. Например, для реферата научно-исследовательских работ типовыми пунктами документов являются цель, методика, результаты. Деление на подпункты обеспечивает группирование предложений по более узким семантическим подаспектам (внутри пунктов).

Деление на пункты и подпункты обеспечивает реализацию второго принципиального условия семантического анализа информации — учет контекста. В пределах подпунктов (а когда нет деления на

подпункты, то в пределах пункта) каждое слово означает одно и то же — одни и те же объект, процесс, явление, результат и т. д.

Нормализованный информационный язык, предназначенный для представления информации в форме, допускающей ее алгоритмический анализ и обработку, должен быть формальной системой.

По определению формальная система должна отвечать двум условиям:

- а) иметь набор исходных (априорных) аксиом;
- б) иметь набор формальных правил преобразований (логического вывода).

В случае информационного языка исходными аксиомами являются состав и структура тезауруса, состав семантико-синтаксических связей и правила структуризации и прагматизации текста. По самому определению аксиом указанные элементы языка должны получаться эмпирически исходя из содержательного анализа той объективной информации о внешнем мире, которая должна выражаться на этом языке (наименование предметов, явлений; причинные, временные, пространственные отношения и т. д.). С одной стороны, желательно, чтобы набор средств языка был по возможности более простым, что облегчает задачу алгоритмической обработки текста. Чем проще исходные элементы (термины и отношения) языка, тем более универсальными они являются с точки зрения возможностей их сочетания для получения более сложных единиц текстов. С другой стороны, желательно иметь более выразительный и разветвленный информационный язык, содержащий большее количество сложных понятий и отношений в качестве элементарных единиц языка.

Усложнение языка введением специальных конструкций расширяет возможности использования людьми этого языка и позволяет составлять более точные и краткие тексты, но затрудняет его изучение и усложняет алгоритмы анализа текстов на этом языке. Решение задачи выбора оптимального состава средств информационного языка не может быть получено однозначно применением какой-либо формальной методики. Здесь возможен метод последовательных приближений, при котором сначала находится первое приближение, которое уточняется в результате практического применения языка и разработки алгоритмов обработки текстов на этом языке. Но коль скоро состав языка определен (удачно или не совсем удачно), он становится формальной системой и обеспечивает возможность анализа информации математическими (алгоритмическими) методами, определяемыми только законами и соотношениями этой формальной системы. При этом в процессе машинной обработки уже не играет роли физический смысл тех или иных дескрипторов, семантико-синтаксических связей.

Тезаурус, система семантико-синтаксических связей и средства структуризации образуют множество исходных аксиом формальной системы информационного языка, на базе которого строятся системы эквивалентных и полуквивалентных преобразований, составляющих общую систему логического вывода.

В этой системе логического вывода имеются три вида преобразований:

- связанные с тезаурусом (замена синонимов, более общих или частных понятий, добавление или исключение общих или ассоциированных понятий);
- преобразование семантико-синтаксических связей (замена одних связей другими);
- структурные преобразования текстов сообщений (присоединение общей части пункта, подпункта к каждому из предложений, разделение предложения с однородными членами на части, замена идентификаторов полными наименованиями и т. п.).

Указанные общие соображения легли в основу разработки конкретного варианта нормализованного естественного русского языка НОРМИН.

### *Описание языка НОРМИН*

Для ввода каждого документа в АФИЛС должен быть заполнен специальный бланк нормализованной формы документа (НФД). Этот бланк состоит из пунктов и подпунктов фиксированного назначения. Состав пунктов и подпунктов определяется отдельно для каждой конкретной АФИЛС в зависимости от предметной области, содержания и характера запросов, с которыми будет осуществляться обращение к АФИЛС.

Пункты делятся на две группы. В первую группу входят пункты, заполняемые шифрами или произвольным текстом. Во вторую группу входят остальные пункты, которые заполняются обязательно нормализованными фразами (см. ниже). Пункт может состоять из нескольких подпунктов или предложений. Концом подпункта являются начало следующего подпункта или конец пункта.

Для повышения эффективности использования языка НОРМИН в системе накопления и поиска фактографических данных необходимо заполнение нормализованных пунктов НФД вести по возможности стандартными (унифицированными) предложениями. Это в первую очередь должно относиться к записям целей работ, методик, результатов, аннотаций и т. п.

Указанная унификация должна определяться специальной инструкцией, учитывающей специфику выражений в данной предметной области. В этой же специальной инструкции должны указываться конкретный бланк нормализованной формы документа, состав и назначение пунктов и подпунктов, а также состав специальных семантических категорий терминов (см. ниже).

Язык НОРМИН допускает только простые предложения, без вводных слов, деепричастных оборотов, идиоматических выражений и других необычных оборотов. В конце каждого предложения должна стоять точка с запятой. Допускается использование причастного оборота. В предложении допускается только один причастный оборот. Он должен быть выделен явно двумя или большим числом запятых сначала и одной запятой (или точкой с запятой) в конце. Число запятых перед причастным оборотом должно быть на две больше числа слов, стоящих между причастным оборотом и словом, к которому этот оборот относится. Внутри причастного оборота не должно быть запятых.

Предложение языка НОРМИН должно иметь простую структуру. Оно может состоять из одной или из нескольких четко определенных групп слов (главного члена, определительных, дополнительных, обстоятельственных, обобщающих и др.). Каждая группа внутри предложения обязательно должна относиться к определенному члену предложения. В некоторых случаях, когда определение границ групп и их связей может привести к неоднозначности, должны использоваться запятые. Сами группы должны быть простыми, т. е. не содержащими внутри себя других групп и слов (кроме определений и дополнений). Допускаются предложения, состоящие из одного слова (им может быть любая часть речи). Например:

Пневмония;

Если предложение состоит более чем из одного слова, оно обязательно должно иметь главный член. Им может быть глагол; если глагол отсутствует, то существительное в именительном падеже (назывное предложение); при отсутствии их — существительное в родительном падеже с числом. Например:

больной наблюдается;

рак желудка;

5 наблюдений;

Нельзя писать: средн. тяжести. Надо писать: состояние средн. тяжести, или: средн. тяжесть.

Если в предложении есть глагол, при нем обязательно должно быть подлежащее. Подлежащим может быть только существительное в именительном падеже или существительное в родительном падеже с числом.

Нельзя писать: данных не имеется. Надо писать: данные не имеются. Предложения могут иметь как прямой, так и обратный порядок слов. Например:

операция назначается в пятницу;

в пятницу назначается операция;

В предложении могут быть одно подлежащее (или группа однородных подлежащих), одно сказуемое (или группа однородных сказуемых). Однородные члены соединяются запятой или союзом. Предложение может содержать произвольное число обстоятельств (обстоятельственных групп) места, времени, цели и др.

При последовательном размещении слов (групп) в предложении следует учитывать, что каждая последующая группа (обстоятельство) относится к предыдущей, т. е. связанные между собой слова по смыслу следует располагать возможно ближе друг к другу.

Как правило, обстоятельственная группа начинается определенным словом-связкой: предлогом, словом или словосочетанием (см. таблицу смысловых связей НОРМИН). Если определенную группу (обстоятельство) надо связать по смыслу не с предыдущей группой (словом), а с главным членом предложения, следует поставить перед словом-связкой запятую. Например:

Исследование способа нагнетания, с помощью

измерительн. прибора;

Запятая перед связкой «с помощью» говорит о том, что «исследование» производится с помощью измерительного прибора, а не «нагнетание».

Если в предложении имеется несколько однородных групп, в которых используется одно и то же слово, то можно необходимые дополнения и определения к этому слову указывать только один раз — в первой из однородных групп (если это не приводит к искажению смысла, т. е. если указанные дополнения и определения подразумеваются и в последующих группах).

Если в предложении имеется несколько однородных членов (групп), то к каждому из предшествующих членов относятся все дополнения, характеризующие последний член предложения, если предшествующие члены не имеют подобных дополнений (т. е. существительных в родительном падеже). Например, надо указать, что поражены слизистая носоглотки и кожа носоглотки. Можно записать предложение так:

Поражение слизистой и кожи носоглотки;

А запись, составленная таким образом:

Поражение кожи носоглотки и слизистой; будет означать, что поражены кожа носоглотки и вся слизистая, без уточнения локализации, т. е. будет неверна.

Нельзя писать:

Рентгенограмма грудн. клетки и придаточн. полостей носа; Ибо это будет истолковано так:

Рентгенограмма грудной клетки носа? и придаточных полостей носа.

Надо писать:

Рентгенограмма грудн. клетки и рентгенограмма придаточн. полостей носа; Или:

Рентгенограмма придаточн. полостей носа и грудн. клетки;

Следует подчеркнуть, что определение (прилагательное, причастие, порядковое числительное) всегда характеризует только одно существительное и не распространяется на все однородные члены. Например,

Злокачественн. хондрома и синовиома;

Здесь указывается, что хондрома злокачественная, а синовиома не характеризуется как злокачественная.

НОРМИН не допускает использования местоимений. Количественные числительные должны записываться только цифрами.

Приведем теперь основные правила записи каждой части речи, допускаемой НОРМИН. При чтении этого раздела следует иметь в виду, что в следующем разделе дана сводка всех смысловых связей, допускаемых языком НОРМИН.

*Глагол.* Допускается использование глаголов в возвратной форме (оканчивающихся на *ся, съ*) только настоящего и прошедшего времени, единственного и множественного числа. Отрицательная форма глагола строится с помощью частицы «не», записываемой отдельно. Например:

Не наблюдался;

*Существительное.* Допускается использование всех падежей существительных единственного и множественного числа.

Слова, не изменяемые по падежам (пальто, НИИ, СССР), при использовании их без предлогов могут находиться либо в именительном, либо в родительном падеже. Если в предложении нет другого слова в именительном падеже, то данное слово считается в именительном падеже. В противном случае оно считается в родительном падеже. Если такое слово входит в группу однородных членов, то его падеж считается таким же, как и у первого однородного члена. Если определено, что такое слово находится в родительном падеже, то оно считается дополнением к ближайшему перед ним существительному.

Устойчивые словосочетания записываются через тире. Например:

Щитовидн. — железа;

*Прилагательное, причастие, порядковое числительное.* Эти части речи в языке НОРМИН объединяются в общее понятие определения. Прилагательные и причастия должны записываться в сокращенной форме (без флексийных окончаний), с точкой на конце, т. е. без падежей, чисел, родов (отбрасывать нужно только изменяемую часть слова).

Порядковые числительные записываются цифрами с точкой на конце. Например:

В 168. опыте...

Число с прилагательным записывается только словами. Например:

Пятиугольн.;

Определение может использоваться только с существительным (если оно не единственное слово в предложении).

Расположение определений в одном предложении везде должно быть одинаково: либо до (предпочтительнее), либо после существительного (инверсное определение). В последнем случае после определения должна стоять запятая (или точка с запятой). Например:

В мае наблюдалась пневмония левосторонн.;

Групповое определение может содержать внутри себя только прилагательные, причастия, порядковые числительные. Например:

Нельзя писать: Левосторонн., быстро прогрессирующ. паралич;

Надо писать: Быстро прогрессирующ., левосторон. паралич;

Однородные определения, составляющие групповое определение, связываются запятыми или союзом. Например:

Красн., син. шары;                   Здесь однородные определения.

Красн. и син. шары;

Больш. кирпичн. дом;               Здесь неоднородные определения.

Определения, входящие в инверсное групповое определение, могут разделяться союзами или пробелами и не могут разделяться запятыми (так как запятая означает конец инверсного определения).

*Наречие.* Наречия могут использоваться в виде отдельного модального слова (за которым стоит двоеточие) в начале предложения. Например:

Необходимо: осмотр онкологом,...

Допускается использование наречий с глаголом (отглагольным существительным и причастиями как перед, так и после этих слов для указания степени или качества действия).

Наречие может быть последним членом предложения. В этом случае оно должно характеризовать действие, выраженное главным членом предложения. Например:

Применение химиотерапии возможно;

Однородные наречия, характеризующие одно действие, связываются запятыми или союзом. Например: Лечение осуществляется быстро и успешно;

Сравнительные и превосходные формы наречий, прилагательных, причастий должны строиться с использованием наречий: более, менее, наиболее, наименее.

Следует заметить, что слова *более*, *менее* с прилагательным или причастием могут употребляться только после существительных, стоящих в именительном падеже (не обязательно в непосредственной близости), и должны использоваться с последующей связкой «по сравнению с» («чем»).

Слова *наименее*, *наиболее* употребляются, как правило, с последующей связкой «среди» (но не обязательно). Отдельные наречия используются в НОРМИН в качестве смысловых связок (см. таблицу смысловых связей НОРМИН).

*Число.* Допускается возможность записывать обычным образом числовые значения параметров с единицами измерения. Например:

Лампа мощностью 100 Вт;

Можно применять количественные числительные с существительными.

Например:

Группа 100 человек; Следует помнить, что число должно относиться к ближайшему существительному справа. Единицы измерения входят в класс существительных.

Допускается запись нескольких количественных числительных через запятую без повторения единицы измерения. Например:

Упаковки по 5, 10, 15 мг;

При записи десятичных дробей целая часть отделяется от дробной с помощью точки.

*Дата* должна характеризовать действие, процесс или состояние. Дата может быть записана цифрами и словами. Например:

Больной выписался 10 января 1978 года; Допускается краткая запись даты (момента времени) в форме:

мин мин/час час/день день/мес мес/год год. Каждая единица измерения времени должна быть выражена обязательно парой цифр и отделяться от другой наклонной чертой. При такой форме записи указывается обязательно год и перед двумя цифрами, которыми записывается год, ставится наклонная

черта. Остальные цифры даты могут быть опущены (но без пропусков более старших единиц измерения).  
Например:

Краткая запись	Полная запись
20/05/05/01/78	В 5 час 20 мин 5 января 78 года
05/01/78	5 января 78 года
01/78	в январе 78 года
/78	в 78 году

Допускается перечисление дат (моментов времени) через запятую или союз. Например:

Осмотр онкологом 05/10/78/, 10/10/78;

Наблюдалось ухудшение с /77 до /79; Связи «с» и «до» служат для указания начального и конечного моментов времени.

Семантические категории слов. В языке НОРМИН слова и словосочетания (наименования понятий), включаемые в машинный словарь (тезаурус), могут иметь признаки двух семантических категорий: одной общей и одной специальной. Некоторые термины могут не иметь этих признаков. Признаки семантических категорий нужны для уточнения смысла слов (исключения омонимии) и для уточнения использования смысловых связей.

Предусматривается следующий состав общих категорий:

1. Объект (материальные и нематериальные, в том числе одушевленные объекты, математические объекты, объекты внешней среды и т. д.).
2. Действие (существительные, образованные от переходных глаголов, в том числе математические действия).
3. Параметр (характеристика, имеющая числовое значение).
4. Информация (в том числе теоретические понятия: вывод, метод, способ, вероятность, статья и т. п.).
5. Свойство (характеристика, не имеющая числового значения: непрерывность, независимость и т. п.).
6. Материал (вещество).
7. Процесс (существительные, образованные от непереходных глаголов).
8. Время.
9. Состояние (усталость, сон, отдых и т. п. — существительные, не образованные от глаголов).

Предусматривается следующий состав специальных семантических категорий:

1. Объекты исследования, изучения, воздействия (в том числе организмы, популяции и т. д.).
2. Локализации (органы, ткани и т. п.).
3. Единицы измерения.
4. Морфология (проявления болезней или состояний).
5. Медикаменты и химические препараты.
6. Болезни.
7. Приборы, инструменты, оборудование.
8. Процедуры и мероприятия.

Специальные семантические категории служат в основном для разделения омонимов.

### *Список смысловых связей языка НОРМИН*

В списке смысловых связей языка НОРМИН для каждой связи указано ее грамматическое представление (предлог или слово-связка, падеж, знак препинания). Для краткой и четкой записи способов выражения смысловых связей используются следующие металингвистические символы:

| — вертикальная черта для перечисления альтернативных вариантов;

< > — угловые скобки для записи категорий слов, связываемых данной смысловой связью;

← → — стрелка для указания направления расположения управляющего слова. Отдельные связи имеют стрелки как влево, так и вправо. Следует помнить, что стрелка может быть направлена вправо (управляющее слово позади зависимого) лишь в том случае, если предложение начинается с данной связи. При этом обстоятельственная группа, начинающаяся с этой связи, должна быть заключена в скобки (если она вынесена в начало предложения).

{ } — фигурные скобки, для отделения изменяемой части определяющего правила от неизменяемой. В фигурных скобках указывается несколько альтернатив (через |), которые поочередно присоединяются к выражению вне фигурных скобок.

00. Категория логических и служебных отношений.

01. Конъюнкция — обязательное наличие связываемых элементов.

← И | И →

Пояснение. Нельзя: диалог врача с ЭВМ; нужно: диалог врача и ЭВМ;

02. Дизъюнкция, т. е. наличие хотя бы одного из связываемых элементов.

← ИЛИ | ИЛИ →

03. Исключающее перечисление, т. е. наличие только одного из связываемых элементов.

← ЛИБО | ЛИБО →

04. Принадлежность к множеству, классу, виду:

← ОТНОСИТСЯ К | ← ОТНОСЯТСЯ К | ← — (тире)

Пример. Холера — инфекционное заболевание;

05. Перечисление однородных членов или несвязанных компонентов предложения.

Пример. Рентгенограмма грудн. клетки, нижн. челюсти;

06. Обобщение, вывод, заголовок.

Примечание. Первое предложение должно представлять собой обобщение, а второе — пояснение или развитие первого.

07. Указание исключения.

← КРОМЕ | КРОМЕ →

08. Указание множества:

← СРЕДИ | СРЕДИ →

09. Конец предложения:

10. Объектная категория.

11. Общая объектная связь. Связь между действием и объектом, подвергающимся этому действию.

<Сущ. действие> ← <Сущ. в РП>

Пояснение. Существительные категории действия образуются от переходных глаголов.

Примеры. Операция желудка; проверка износа;

12. Отрицательная настоящая объектная связь.

НЕ <возвр. гл. в наст. вр.> ← <Сущ. в ИП> | <Сущ. в ИП> → НЕ <Возвр. гл. в наст. вр.> | НЕ <Возвр. гл. в наст. вр.> ← <Число> <Сущ. в РП> | <Число> <Сущ. в РП> → НЕ <Возвр. гл. в наст. вр.>

Примеры. Не выполняются указания; данные не имеются; не лечатся постоянно 5 больных; 5 больных не лечатся;

13. Местная объектная связь.

← НА <Сущ. объект. исследов. в ИП>

Пример. Опыт на мышах;

14. Пассивная объектная связь (связь между действием и объектом, связанным с этим действием).

{ <Сущ. действие> | <Глагол> | <Причастие> } ← ЗА

<Сущ. не время в ТП> | ЗА <Сущ. не время в ТП> → → <Глагол>

Примеры. Наблюдение за больным; Закрепляется за больным; За больным устанавливается наблюдение;

15. Направленная объектная связь (когда направление и объект воздействия совпадают):

{ <Сущ. действ.> | <Глагол> | <Причастие> } ← <Сущ. в ДП> | <Сущ. в ДП> → <Глагол> Примеры.

Введение больному; Вводится больному; Больному назначается;

16. Причастный оборот.

←, ..., Причастн. оборот

Примечание. Причастный оборот начинается с причастия и число запятых перед ним должно быть на две больше числа слов, стоящих между причастием и словом, к которому оно относится. Пример. Данные, характеризующ. состояние больного;

17. Настоящая объектная связь.

<Возвр. глагол в наст. вр.> ← <Сущ. в ИП> | <Сущ. в ИП> → <Возвр. гл. в наст. вр.> | <Возвр. гл. в наст. вр.> ← <Число> <Сущ. в РП> | <Число> <Сущ. в РП> → <Возвр. гл. в наст. вр.>

Примеры. Исследуются изменения; Диета назначается;

направляются 5 больных; 10 человек выписываются;

18. Прошедшая объектная связь.



<Возвр. гл. в прош. вр.> ← <Сущ. в ИП> | <Сущ. в ИП> → <Возвр. гл. в прош. вр.> | <Возвр. гл. в прош. вр.> ← <Число> <Сущ. в РП> | <Число> <Сущ. РП> → <Возвр. гл. в прош. вр.>

Примеры. Наблюдалось ухудшение; Операция проводилась; 10 человек выписались;

19. Отрицательная прошедшая объектная связь.

НЕ <Возвр. гл. в прош. вр.> ← <Сущ. в ИП> | <Сущ. в ИП> → НЕ <Возвр. гл. в прош. вр.> | НЕ <Возвр. гл. в прош. вр.> ← <Число> <Сущ. в РП> | <Число> <Сущ. в РП> → НЕ <Возвр. гл. в прош. вр.>

Примеры. Не производилось лечение; Ухудшение не наблюдалось; Не выписались 5 человек; 10 человек не наблюдались;

20. Категория определительных отношений.

21. Определение свойства.

<Сокращ. прилаг.> → | <Сокращ. причаст.> → | <Сокращ. порядк. числит.> → | ← <Сокращ. прилаг.> { , | ; } | ← <Сокращ. причаст.> { , | ; } | ← <Сокращ. порядк. числит.> { , | ; }

Примечание. Допускается обратный порядок, при этом после сокращенного прилагательного, порядкового числительного или причастия должна стоять запятая или точка с запятой.

22. Принадлежность (предмету, вопросу, процессу).

<Сущ. не действие> ← <Сущ. в РП>

Примеры. Температура организма; Кость черепа; Метод поиска;

23. Наличие части, признака. Совместное присутствие или проявление.

← {С|СО} <Сущ. в ТП>

Пример. Скенограф с кристаллом;

24. Тема, вопрос.

← {О | ОБ | ОБО} | {О | ОБ | ОБО} → | ← ПО <Не число>

Пояснение. Предлог ПО должен использоваться для указания темы, вопроса.

Примеры. Вопрос о переводе; О вскрытии производится запись; Конференция по методам диагностики;

25. Принадлежность объекта, заболевания, состояния или признака какому-либо объекту или процессу.

<Сущ. не действие> ← у <Сущ. в РП> | У <Сущ. в РП> → <Сущ. не действие>

Примеры. Бронхит у детей; Слух у больных; У детей бронхит сопровождается...;

26. Отсутствие части, признака, свойства,

← БЕЗ | БЕЗ →

27. Наличие параметра:

← <Сущ. параметр в ТП>

Пример. Лампа мощностью...;

28. Числовая характеристика.

<Число> → <Сущ.> | <Число> → <Ед. измер.> | <Параметр> ← <Число>

Примеры. 100 человек; 10 т.; Мощность 5 Вт;

29. Изготовление или образование из материала.

← ИЗ <Сущ. матер.> | ИЗ <Сущ. материал> →

Пример. Из стали...;

30. Пространственная категория места.

31. Расположение или действие на чем-либо.

← НА <Сущ. не объект исслед. в ПП> | НА <Сущ. не объект исслед. в ПП> →

Пример. Прибор на столе;

32. Расположение или нахождение внутри.

← В <Сущ. не время в ПП> | В <Сущ. не время в ПП> →

Пример. Давление в баке;

33. Нахождение спереди.

← ПЕРЕД <Сущ. объект в ТП> | ПЕРЕД <Сущ. объект в ТП> →

Примеры. Перед больным; Перед столом; Перед цилиндром;

34. Нахождение позади.

← ПОЗАДИ | ПОЗАДИ →

35. Нахождение под.

← ПОД < Сущ. в ТП> | ПОД < Сущ. в ТП> →

Нельзя: под конец; под музыку и т. д.

36. Нахождение над.

← НАД | НАД →

Нельзя: работа над книгой, над темой, над вопросом и т. д.

37. Нахождение около.

← ОКОЛО | ОКОЛО →

Нельзя: за, при, вблизи, у.

38. Нахождение на расстоянии.

← НА РАССТОЯНИИ | НА РАССТОЯНИИ →

Пример. На расстоянии 5 мм от...;

39. Нахождение между.

← МЕЖДУ | МЕЖДУ →

Нельзя: среди.

40. Категория направления движения, воздействия, течения времени.

41. Направление во что-то.

← В <Сущ. не время в ВП> | В <Сущ. не время в ВП> →

Примеры. В сосуд; В опухоль;

42. Направление на что-то.

← НА < Сущ. в ВП> | НА <Сущ. в ВП> →

Пример. Влияние на ...; Направление на ВТЭК.

43. Направление сквозь.

← СКВОЗЬ | СКВОЗЬ →

44. Направление вдоль.

← ВДОЛЬ | ВДОЛЬ →

45. Направление до какой-то точки (конечная точка отсчета, измерения, изменения).

← ДО | ДО →

Примеры. До января; До разрыва; До операции; До дна; До 8 см;

46. Направление движения; начало отсчета (исключающее):

← ОТ | ОТ →

Пример. От центра;

47. Направление под.

← ПОД < Сущ. в ВП> | ПОД < Сущ. в ВП> →

48. Направление из, исходное место.

← ИЗ < Сущ. не материал> | ИЗ < Сущ. не материал > →

Пример. Биопсия из бронхов;

49. Исходное направление движения, начало отсчета (включающее).

← С < Сущ. в РП> | С < Сущ. в РП> →

Примеры. Соскоб с участка; С 3 кг; С лета; С 5 см; 50. Категория временных отношений.

51. Момент времени:

← В < Сущ. время> | В < Сущ. время> → | ← В < Число> < Сущ. время> | В <Число> < Сущ. время> → |

← ВО ВРЕМЯ | ВО ВРЕМЯ → | <Сущ. время в ТП> → | ← Сущ. время в ТП> | ← <ДАТА> | < ДАТА>

Примеры. В январе; В 14 часов; Во время операции; Летом;

52. Временное соотношение перед.

←→ ПЕРЕД < Сущ. не объект в ТП> | ПЕРЕД < Сущ. не объект в ТП> → Нельзя: до.

53. Временное соотношение после.

← ПОСЛЕ | ПОСЛЕ →

Нельзя: за.

54. Соотношение одновременности.

← ОДНОВРЕМЕННО С | ОДНОВРЕМЕННО С →

Нельзя: вместе с.

55. Последующий интервал времени.

← СПУСТЯ | СПУСТЯ →

Пример. После операции спустя 2 часа;

56. Предшествующий интервал времени.

← ЗА < Сущ. время> | ЗА < Сущ. время> → | ← ЗА < Число> < Сущ. время> | ЗА < Число> < Сущ. время> →

Примеры. За 5 минут перед операцией; За год;

57. Длительность времени.

← В ТЕЧЕНИЕ | В ТЕЧЕНИЕ →

Примеры. В течение дня; В течение 3 часов;

58. Периодичность.

← С ИНТЕРВАЛОМ | С ИНТЕРВАЛОМ →

Примеры. С интервалом 3 дня; С интервалом 3 метра; 60. Исполнительские связи.

61. Активный исполнитель.

← < Сущ. не параметр и не время в ТП > | ← ПРИ ПОМОЩИ

Пояснение. С существительными, образованными от прилагательных и существительных мужского рода на ОША нужно использовать связку ПРИ ПОМОЩИ.

Примеры. Лечение онкологом; прием врачом;

62. Средство, орудие, инструмент.

← ПОСРЕДСТВОМ | ПОСРЕДСТВОМ → | ← С ПОМОЩЬЮ | С ПОМОЩЬЮ →

Нельзя: питание от сети.

63. Для указания физических явлений, свойств, процессов.

← НА ОСНОВЕ | НА ОСНОВЕ →

Примеры. На основе резонанса; На основе магнетизма;

64. Способ работы.

← ПО СПОСОБУ | ПО СПОСОБУ → | ← ПУТЕМ | ПУТЕМ →

65. Способ доступа, перемещение.

← ЧЕРЕЗ < Сущ. не время> | ЧЕРЕЗ < Сущ. не время> →

Пример. Через вену;

66. Вид применения или форма исполнения, образования:

← В ВИДЕ | В ВИДЕ →

Примеры. В виде цилиндра; В виде порошка;

67. Способ применения (медикаментов, облучения и т. п.)

<Сущ. в ИП> ← ПО <Число>

Пояснение. При использовании анной связки вся последующая часть предложения должна означать способ применения.

Пример. Аспирин по 1 таблетке;

68. Теоретический метод, принцип.

← С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ | С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ →

Примеры. С использованием моделирования; С использованием ряда Фурье;

69. Качество или степень действия.

← <НАРЕЧИЕ> | <НАРЕЧИЕ> →

Пояснение. Наречие может использоваться с глаголами или причастиями и характеризовать главный член предложения.

Примеры. Определяется точно; Быстро излечивается;

70. Категория цели и назначения.

71. Цель действия или мероприятия.

← С ЦЕЛЬЮ | С ЦЕЛЬЮ →

72. Назначение прибора, материала, объекта.

← ДЛЯ | ДЛЯ →

Пример. Диета для больного;

73. Назначение против.

← ПРОТИВ | ПРОТИВ →

Примеры. Прививка против оспы; Больной против лечения;

Нельзя: защита от облучения.

75. Роль.

← В КАЧЕСТВЕ | В КАЧЕСТВЕ →

Пример. В качестве катализатора;

76. Заменитель.

← ВМЕСТО | ВМЕСТО →

80. Категория причинно-следственных отношений.

81. Результат или следствие.

← В РЕЗУЛЬТАТЕ | В РЕЗУЛЬТАТЕ →

82. Причина или повод:

← ПО ПРИЧИНЕ | ПО ПРИЧИНЕ → | ← ПО ПОВОДУ | ПО ПОВОДУ →

83. Функциональная зависимость.

← В ЗАВИСИМОСТИ ОТ

Пояснение. Предложения, выражающие функциональную зависимость, должны строиться по единой схеме: впереди ставится функция, затем после связки В ЗАВИСИМОСТИ ОТ аргумент, затем после связи В СООТВЕТСТВИИ С может стоять вид зависимости, затем после связки ПРИ может стоять условие, при котором имеет место указанная зависимость.

85. Условие выполнения, утверждения и т. п.

← ПРИ | ПРИ → | ← ПРИ УСЛОВИИ | ПРИ УСЛОВИИ →

Пример. Прием лекарства прекращается при нормальн. температуре;

86. Определение соответствия.

← В СООТВЕТСТВИИ С (СО) | В СООТВЕТСТВИИ С (СО) →

Пример. Продукция в соответствии со стандартом;

87. Выделение аспекта, отношения к чему-либо.

← В ОТНОШЕНИИ | В ОТНОШЕНИИ → | ← К | К →

Примеры. Реакция организма в отношении облучения; чувствительность к облучению;

90. Категория отношений меры.

91. Равенство.

<Сущ. в ИП> ← { РАВНО (НА, ЕН, НЫ) | = }

Примеры. А = В; Давление равно 766 мм;

92. Нахождение в пределах.

< Сущ. в ИП > ← В ПРЕДЕЛАХ [ < Сущ. в ИП > В ПРЕДЕЛАХ ОТ... ДО | < Сущ. в ИП > ← ОТ ... ДО | < Сущ. в ИП > ← С... ДО | < Сущ. в ИП > ← ПРИБЛИЗИТЕЛЬНО | < Сущ. в ИП > ← ПРИБЛИЗИТЕЛЬНО ОТ... ДО | < Сущ. в ИП > ← ПРИБЛИЗИТЕЛЬНО С... ДО | < Сущ. в ИП > ← В ПРЕДЕЛАХ С ... ДО

Пояснение. ОТ — исключаящий предел, С — включающий предел.

Пример. ОТ 20... (без 20); С 20... (и 20 то же).

Примечание. При записи связки в формах В ПРЕДЕЛАХ ОТ... ДО, С... ДО, ПРИБЛИЗИТЕЛЬНО ОТ... ДО можно опускать ОТ (С). Оба предела должны быть выражены в одинаковых единицах. У младшего предела единицу измерения можно опускать, а у старшего она должна быть обязательно.

Примеры. В пределах грудной клетки; В пределах 5 до 10 м; От 5 до 10 м; С 3 до 6; Диаметр 1 до 2 см;

93. Больше.

<Сущ. в ИП> ← { БОЛЬШЕ | > } | < Сущ. в ИП > ← БОЛЬШЕ ЧЕМ | ← { НАИБОЛЕЕ | БОЛЕЕ } { <Прилаг.> | <Причастие> | < Наречие > }

94. Меньше.

<Сущ. В ИП>←{МЕНЬШЕ|<}|<Сущ. в ИП>←МЕНЬШЕ ЧЕМ| ←{НАИМЕНЕЕ | МЕНЕЕ} {<Прилаг. > | < Причастие> | <Наречие>}

Пояснение. Связи БОЛЬШЕ и МЕНЬШЕ могут использоваться в таких конструкциях как: А больше В в 6 раз; (Слова «раз», «раза» имеют в словаре признаки существительного в ВП, связка В имеет здесь код 41.)

А больше В НА: 5 человек; (Связка НА: имеет код 97.) Число с существительным связано связью 28. Связки БОЛЕЕ, МЕНЕЕ, НАИБОЛЕЕ и НАИМЕНЕЕ используются для образования сравнительных и превосходных степеней прилагательных, причастий, наречий.

Например: более жестк. чем...; наиболее точно;

После связок БОЛЕЕ, МЕНЕЕ может следовать связка ЧЕМ

95. Не равно.

<Сущ. в ИП> ← НЕ РАВНО (НА, ЕН, НЫ)

96. Не больше.

<Сущ. в ИП> ← НЕ БОЛЬШЕ | <Сущ. в ИП> ← НЕ БОЛЬШЕ ЧЕМ

Пример. Диаметр не больше 5 мм;

97. Удельная мера НА:

Пример. Расстояние увеличилось НА: 7 м;

98. Не меньше:

<Сущ. в ИП>←НЕ МЕНЬШЕ |<Сущ. в ИП> ←НЕ МЕНЬШЕ ЧЕМ

99. Сравнительная мера.

←ПО СРАВНЕНИЮ С | ← ЧЕМ

### **Пояснения к использованию отдельных смысловых связок.**

*Двоеточие.* Может использоваться в двух случаях:

1) в начале предложения за обобщающим словом или словосочетанием (определение с существительным; определение может быть выражено прилагательным, причастием, порядковым числительным или существительным в родительном падеже). Например:

Вывод: применение химиотерапии возможно;

Комплексн. лечение: химиотерапия и лучев. терапия  
назначается после гормонотерапии;

Вывод онколога: применение химиотерапии обязательно;

2) в середине предложения за обобщающим словом или словосочетанием, за которым идет перечисление однородных членов (групп); однородные члены (группы) должны быть связаны запятыми; использование запятых внутри однородных групп не допускается; использование причастного оборота возможно, но только в одной из групп.

Обобщающее слово или словосочетание для однородных членов следует располагать непосредственно перед двоеточием. Например:

Нельзя писать: Предлагаются следующ. диеты больному:...

Нужно писать: Больному предлагаются следующ. диеты:...

Рассматриваются следующ. методы лечения:...

*Связки сравнения* (=, >, < и т.п.). При использовании связок равенства величина или предмет, для которого делается сравнение, должны быть записаны существительным в именительном падеже.

Например:

Давление больше 100 атм;

Группа не меньше 100 человек;

*Связка «в пределах».* При использовании связки «в пределах» («приблизительно») допускается применение связок «от» и «до».

Примеры правильных записей:

1) наблюдались метастазы диаметром в пределах от 0,5 см до 1.5 см;

2) метастазы диаметром в пределах 0,5 до 1,5 см; Пояснение: предлог от можно опускать;

3) если единицы измерения записаны у обоих пределов, они должны быть одинаковы. У верхнего предела единицу измерения опускать нельзя.

Например, нельзя писать: в пределах от 5 мм до 5 см;

в пределах от 5 мм до 50;

4) возможна запись пределов с использованием только связок «от» и «до».

Например метастазы диаметром от 5 мм до 10 мм; метастазы диаметром 5 до 10 мм:

5) такую же смысловую нагрузку могут нести связки «с», «до».

Например. Замеры проводились с 5 до 10 млг.

*Связка «по»:*

1. Используется обязательно с последующим числом в предложениях, выражающих способ применения медикаментов, облучения, процедур, средств и т.п. Например:

Аспирин по 1 таблетке 3 раза в день перед едой; Нельзя: Аспирин по таблетке...;

2. Кроме того, связка «по» (без числа) может использоваться для выражения темы, вопроса. Например:

Конференция по радиоизотопн. диагностике;

Примечания:

1) при использовании всех смысловых связок (за исключением запятой, союзов «и», или») следует помнить, что за смысловой связкой обязательно должно следовать существительное (с определением или без него), которое может быть использовано с этой связкой в соответствии с таблицей смысловых связок НОРМИН;

2) нельзя писать две смысловые связки подряд, за исключением описанного раньше сочетания запятой с любой другой связкой, используемого для выражения подчинения данной группы главному члену предложения;

3) при подсчете количества слов, стоящих между причастным оборотом и определяемым словом, следует учитывать, что предлоги и слова, составляющие одну смысловую связку, а также единица измерения, дата, число, запятая должны засчитываться за одно слово. В частности, каждая из связок: «с», «от», «до» — засчитывается за отдельное слово. Само слово, к которому относится причастный оборот, при этом не учитывается.

## 4.2. Основные алгоритмы обработки нормализованных текстов

### *Структура и функции машинного словаря (тезауруса)*

В процессе автоматической обработки текстов необходимо выделить каждое слово (или устойчивое словосочетание) входного сообщения, присвоить ему определенный числовой код и определить для него грамматическую информацию (часть речи, род, падеж, число и т.д.). Это делается в ЭВМ с помощью заранее составленного машинного словаря (тезауруса), вернее, той его части, которая, называется текстовым словарем.

В процессе поиска информации в ИПС приходится иногда производить замену частных понятий более общими (и наоборот), а также осуществлять обратные переходы от числовых кодов к текстовым представлениям слов. Эти операции делаются с помощью так называемого кодового иерархического словаря, также являющегося составной частью тезауруса.

Строение текстового словаря тесно связано с алгоритмами грамматического и семантического анализа входных текстов. Возможны два принципиально различных подхода к построению алгоритмов анализа входных текстов и выбору структуры текстового словаря. При первом подходе используется морфологический анализ слов справа налево на основе заданных списков окончаний. При этом отделяется наибольшее из совпадающих окончаний, по которому определяется грамматическая информация о слове. Оставшаяся (левая) часть слова считается основой слова, которая используется для поиска слова в словаре. При этом в словаре могут храниться либо побуквенные записи основ (и в этом случае при поиске производится побуквенное сравнение основ), либо так называемые свертки основ, т. е. двоичные коды, полученные путем выполнения определенных операций над кодами букв. В последнем случае производится вычисление свертки основы искомого слова и сравнение этой свертки со свертками основ слов, хранящихся в словаре. Для исключения многозначности сверток производится также сравнение числа букв в основах (искомой и словарной). Для ускорения поиска весь словарь обычно разбивается на зоны по начальным буквам слов и поиск заданного слова производится просмотром только одной зоны словаря.

При втором подходе в словаре хранятся все возможные словоформы каждого слова (дескриптора), включенного в словарь. При поиске некоторого слова в словаре производится полное побуквенное сравнение заданной словоформы этого слова со словоформами слов, имеющихся в словаре. Естественно, что и в этом случае для ускорения поиска весь словарь разбивается на зоны по начальным буквам слов и поиск производится просмотром только одной из зон словаря.

Основные недостатки первого подхода — сложность и неоднозначность процесса морфологического анализа слов, при котором во многих случаях у одного и того же слова могут отделяться разные окончания из числа имеющихся в списке окончаний. При этом не всегда самое длинное из совпадающих окончаний правильное и требуются дополнительные проверки для установления этого факта (в конечном счете проверка на полное совпадение словоформ). Кроме того, недостатком первого подхода является неоднозначность процесса получения сверток основ; при этом разные основы слов могут давать одинаковые свертки. Достоинства первого подхода заключаются в сравнительной компактности словаря, так как каждое слово записывается в словаре один раз — в виде основы (или ее свертки), и в возможности получения грамматической информации о словах до поиска слов в словаре — в результате морфологического анализа.

Недостатками второго подхода в общем случае являются увеличение объема словаря за счет хранения всех словоформ и необходимость перебора этих словоформ при поиске. Основным преимуществом второго подхода считается высокая точность опознавания (отождествления) искомого слова в словаре, которая обеспечивается полным побуквенным совпадением соответствующих словоформ. При этом почти полностью исключаются неопределенности, связанные с морфологическим анализом и вычислением сверток. Точность поиска слов в словаре особенно важна в фактографических ИПС, работающих с текстовой информацией, так как при этом нужно выдавать или сопоставлять информацию (тексты) о конкретных фактах (предметах, явлениях, процессах), а не выдавать только ссылки на документы, в которых могут

находиться эти данные. Исходя из этих предпосылок в системе НОРМИН разработан вариант структуры и программной реализации текстового словаря для фактографической ИПС, в котором сочетаются преимущества обоих подходов и который обладает оптимальными характеристиками с точки зрения быстродействия и требуемой емкости памяти [22].

В основу построения словаря положен принцип хранения словоформ и их побуквенного сопоставления при поиске, т. е. второй подход, исключаящий морфологический анализ и использование сверток. Для экономии памяти наборы возможных словоформ каждого слова хранятся в сжатом виде — в виде общей части (как правило, основы) и списка окончаний. В общем случае в список окончаний может входить 16 окончаний (прилагательного, страдательного причастия настоящего времени, действительного причастия настоящего времени и прошедшего времени, 6 падежей единственного числа и 6 падежей множественного числа). Во многих случаях в этих списках будут отсутствовать окончания причастий (для существительных, обозначающих предметы); в ряде случаев могут отсутствовать окончания прилагательных, а также некоторых падежей существительных.

Дальнейшая экономия памяти достигается учетом правил грамматики русского языка, определяющих деление существительных на классы в зависимости от типов склонения и изменения окончаний. При этом каждый конкретный список окончаний у каждого слова в словаре заменяется адресом отсылки к списку окончаний данного класса.

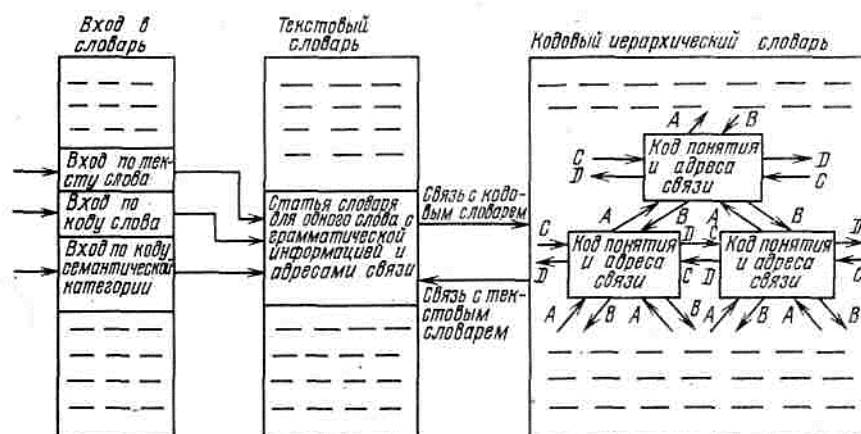


Рис. 10. Схема организации текстового и кодового словарей

Адреса связи (отсылки): *A* — к родовому понятию (АСрод); *B* — к видовому понятию (АСвид); *C* — от смежного (ассоциативного) понятия; *D* — к смежному понятию (АСсм)

Следует подчеркнуть, что разделение словоформ на основы и списки окончаний является лишь средством экономии памяти ЭВМ для записи словаря. Это разделение не требует морфологического анализа искомого в словаре слов и выделения в них основ и окончаний. При проверке текущего слова словаря на совпадение с заданным искомым словом производится вызов по адресу отсылки соответствующего списка окончаний и формирование полного списка словоформ, характерных для данного слова. После этого производится побуквенное сопоставление заданной искомой словоформы со всеми сформированными словоформами текущего слова словаря.

На рис. 10 показана схема организации текстового и кодового словарей. При работе указанных словарей имеют место четыре основных режима:

- а) поиск термина в текстовом словаре и определение для него числового кода дескриптора (КД) и грамматической и семантической информации;
- б) обращение к кодовому словарю по заданному КД и переход от него по АС к текстовому словарю с целью определения текстового представления термина (АС — адрес связи);
- в) обращение к кодовому словарю по КД и определение родовых, видовых и ассоциативных терминов;
- г) пополнение словаря новыми терминами.

Последний режим представляет принципиальный интерес, и поэтому рассмотрим его более подробно. Пополнение словаря новыми терминами должно осуществляться постепенно по мере ввода в ИПС новых документов. Термины, не найденные в словаре и использованные в документах, выдаются ЭВМ в виде отдельного списка, и человек-индексатор должен решать вопрос о вводе этих терминов в словарь ИПС или об их замене в документах. При вводе каждого нового термина (дескриптора) в словарь индексатор должен указывать для него и более общий термин (родовой); ЭВМ ищет родовой термин в словаре и выдает индексатору все имеющиеся в словаре видовые (частные) термины по отношению к этому родовому и их синонимы, имеющиеся в словаре. Индексатор просматривает этот список и определяет, есть ли среди них синонимы вводимого термина или более общие (родовые) по отношению к вводимому термину (но видовые по отношению к найденному родовому термину). После такого анализа индексатор принимает решение о том, как вводить новый термин: а) как новый смежный термин (т. е. видовой к заданному родовому); б) как синоним; в) как видовой по отношению к одному из выданных видовых терминов.

В сомнительных случаях индексатор может вызвать на дисплей (печать) все термины словаря, имеющие те же (общую и медицинскую) категории. Если в словаре не найден заданный родовой термин, то индексатор вызывает более общий родовой термин для вновь вводимого термина и повторяет для него указанную процедуру и т. д.

Описанный процесс диалогового взаимодействия индексатора и ИПС при вводе в словарь новых терминов обеспечивается соответствующей структурой текстового и кодового словарей.

При поиске родового термина работает текстовый словарь, в котором при нахождении искомого термина определяется его код дескриптора (КД). По КД производится обращение к кодовому словарю и переход по адресу связи начала видового

списка (АС<sub>вид</sub>) к первому члену цепного списка видовых терминов. Движение по этому списку идет с помощью адреса связи смежных членов (АС<sub>см</sub>).

Вообще говоря, просмотр данного списка может производиться, начиная с любого его члена. От этого члена с помощью адреса связи родового термина (АС<sub>род</sub>) можно сделать переход к родовому члену, от которого с помощью АС<sub>вид</sub> — переход к началу видового списка. С помощью АС<sub>род</sub> можно последовательно переходить к более общим (родовым) терминам более высокого уровня. Эти возможности кодового словаря используются в основном не при пополнении словаря, а при поиске документов, для варьирования дескрипторов запроса (замена родовыми и смежными терминами).

После принятия индексатором решения о способе ввода нового термина (как видового, синонима к видовому) в ЭВМ вводится необходимая информация о данном термине. Предусматриваются четыре варианта ввода терминов в словарь:

- 1) стандартный, при котором 13 словоформ (одна — прилагательного и 12 — существительного) образуются с помощью одной основы и одного списка окончаний;
- 2) задание 14 словоформ в статье словаря (две основы — единственного и множественного числа и 14 окончаний — два для прилагательных (суффиксы) единственного и множественного числа и 12 для существительных).

Если из 14 указанных полей какие-либо отсутствуют, то вместо них ставятся пробелы. Это правило справедливо и для стандартного варианта; если в списке из 13 окончаний какие-либо отсутствуют, то вместо них ставятся пробелы.

Для разделения полей в статье словаря и в списке окончаний используется символ \* (звездочка).

- 3) запись только одной словоформы прилагательного (например, «высококачествен.»);
- 4) запись двух словоформ причастий.

При поиске по стандартному варианту экономия памяти, отведенной под описки окончаний, может быть достигнута выделением суффиксов прилагательных в отдельный список. Это связано с тем, что многие слова, относящиеся к одному склонению, т. е. имеющие во всех падежах одинаковые окончания, имеют различные суффиксы для образования имен прилагательных и, таким образом, один и тот же список окончаний падежей существительных надо повторить в таблице списков столько раз, сколько возможных суффиксов прилагательных могут иметь слова, принадлежащие к данному склонению. При исключении же суффикса прилагательного из списка список, представляющий определенный вид склонения, записывается в таблице один раз.

Для суффиксов прилагательных составляется отдельный список, занимающий незначительный объем памяти (100 байтов), так как там записываются фактически не все возможные в русском языке окончания прилагательных, а лишь суффиксы (около 20). Определить, к какому из списков окончаний (указанному в статье словаря списку падежных окончаний или списку суффиксов прилагательных) надо обращаться после совпадения основ для дальнейшего побуквенного сравнения, можно по наличию или отсутствию точки в конце слова, служащей признаком имени прилагательного или причастия.

Применяя указанные варианты ввода словоформ, можно представить в текстовом словаре любые словоформы существительных, прилагательных, причастий при любых чередованиях букв в основах и окончаниях. В частности, второй вариант позволяет вводить в словарь любые словосочетания в различных формах (числах, падежах). При этом в качестве основы могут фигурировать, например, первые две буквы первого словосочетания. Для некоторых слов и словосочетаний можно применить разные способы. Например, в случае чередования букв при образовании прилагательного можно использовать либо вариант 2, либо сочетание вариантов 1 и 3. При этом по первому варианту образуются все правильные словоформы существительного и какая-то неправильная словоформа прилагательного, которая не будет использоваться; по третьему варианту образуется правильная словоформа прилагательного. При этом результат поиска в словаре будет во всех случаях одинаковым, так как в конечном счете просматриваются все словоформы. Разница будет проявляться в расходе памяти под статьи словаря и во времени поиска.

Анализ медицинских текстов, написанных в соответствии со структурой языка НОРМИН, показывает, что 50% всех встречающихся слов составляют имена существительные, 25% — имена прилагательные, имеющие с существительными общую основу, 6,4% — имена прилагательные, не соответствующие никаким существительным (например, «оранжевый»), 8,6% — причастия и 10% — остальные слова, представляющие части речи, допускаемые языком НОРМИН (наречия предлоги, числительные и т. п.). Имена существительные, имеющие различные основы в единственном и множественном числе (например, «человек — люди»), составляют около 1% всех встречающихся слов.

Кодовый словарь построен по прямому способу с использованием в качестве ключа значения кода дескриптора (КД).

Процедуры пополнения и корректировки кодового словаря содержат включение и исключение терминов, а также перестройки иерархической структуры. К таким перестройкам относятся:

- включение промежуточного родового термина для всей цепочки видовых терминов;
- исключение родового термина для всей цепочки видовых терминов с подключением этой цепочки к вышестоящему родовому термину;
- включение промежуточного родового термина для части видовых терминов цепочки с соединением этого родового термина в ассоциативный список с оставшимися видовыми терминами цепочки;
- исключение родового термина для части видовых терминов, переключаемых к вышестоящему родовому термину, и т. п.

Описанная структура текстового и кодового словарей позволяет осуществлять также весьма важный диалоговый режим поиска терминов «сверху — вниз»; ЭВМ выдает на экран список общих (родовых) терминов высокого уровня, из которых человек выбирает подходящий и указывает его. После этого ЭВМ выдает видовые термины для выбранного термина, из которых человек также должен выбрать подходящий, и т. д. Подобный процесс последовательной детализации может продолжаться до получения терминов самого нижнего уровня. При этом могут просматриваться также синонимы, делаться переходы к ассоциативным терминам вызываться списки терминов, определенных семантических категории. Гибкая структура словаря позволяет представлять в нем реально существующие в данной научной дисциплине иерархические, ассоциативные связи понятия, учесть наличие синонимии, а также перекрестных зависимостей между терминами.



**Поиск слов в словаре.** Основной текстовой единице, с которой работает программа поиска слов в словаре при вводе и автоматической индексации документов, является пункт документа, причем в словаре ищутся слова лишь тех пунктов документов, которые подлежат индексации.

Пункт документа, подлежащий индексации, заносится целиком в специально отведенную область оперативной памяти, из которой последовательно выбираются слова для поиска в тезаурусе. Признаками концов слов являются либо пробелы (разделяющие слова в предложении), либо символы «;», служащие разделителями предложений пункта.

Предложения нормализованных пунктов документа либо предложения запроса обрабатывают последовательно, т. е. каждое очередное предложение анализируется, подвергается процедурам поиска в словаре, семантико-синтаксического анализа и представления в виде дерева подчинения и только после этого происходит переход к следующему предложению.

Перед поиском по словарю в предложении выделяются слова, подлежащие поиску в словаре и в таблицах в оперативной памяти.

Поиску в таблицах в оперативной памяти подвергаются глаголы и предлоги, состоящие не более чем из трех букв. Исключение глаголов из словаря и занесение их в оперативную память объясняется тем, что состав глаголов, используемых в медицинских текстах, ограничен (около 50 глаголов, которые используются практически в каждом предложении). Таким образом, существенно сокращается время поиска. Учитывая, что в языке НОРМИН допускаются лишь возвратные глаголы, выделить их из текста легко по двум последним буквам («ся» или «сь»).

Таблица глаголов состоит из двух частей — таблицы основ и таблицы окончаний. Такое разделение возможно благодаря тому, что возвратные глаголы русского языка имеют всего четыре типа окончаний. Каждый из типов (список) окончаний содержит семь элементов — окончания: неопределенной формы, настоящего времени единственного числа, настоящего времени множественного числа, окончание мужского рода прошедшего времени, женского рода прошедшего времени, среднего рода прошедшего времени, множественного числа прошедшего времени. Каждая строка таблицы основ глаголов содержит следующую информацию: основу глагола, его код дескриптора и номер списка окончаний. По номеру окончания, совпавшего в указанном списке, определяются время, род и число глагола.

Хранение в оперативной памяти предлогов, состоящих не более чем из трех букв, и предложных сочетаний с этими предлогами и односимвольных смысловых связок («», «>», «=>» и т. п.) сокращает время поиска слов в словаре, так как эти предлоги и смысловые связки составляют примерно одну четвертую часть всех лексических и грамматических единиц, встречающихся в медицинских текстах.

Предусматриваются следующих два основных режима поиска слов в текстовом словаре, осуществляемых главной процедурой:

I — поиск слов с целью заполнения таблицы обращения к тексту грамматической и семантической информацией об этих словах для последующего семантико-синтаксического анализа предложений;

II — поиск слов (родовых терминов) с целью перехода к кодовому словарю (по коду дескриптора) при пополнении словаря новыми терминами.

Поиск в каждом из этих режимов может осуществляться в одном из подрежимов:

- 1) поиск слов, являющихся главными дескрипторами;
- 2) поиск слов, являющихся синонимами главных дескрипторов.

Эти два подрежима имеют некоторые отличия в программной реализации.

Все найденные видовые термины выдаются на печать; получив данный список, индексатор решает вопрос о режиме занесения нового слова в словарь. Информация о соответствующем режиме заносится в «бланк нового слова».

Результатом работы программы тезауруса является либо заполнение строки в таблице обращения к тексту информацией, необходимой для семантико-синтаксического анализа, либо формирование двух новых записей в текстовом и кодовом словарях, соответствующих вновь введенному дескриптору, либо формирование новой записи только в текстовом словаре, если вводимый термин является синонимом по отношению к какому-либо имеющемуся в словаре термину.

Описанный машинный словарь для текстовой обработки имеет следующие особенности:

1) обеспечивает учет синонимии терминов при работе ИПС и, что особенно важно, при вводе новых терминов. Оценка степени синонимии терминов, связанная с их семантической интерпретацией, реализуется в диалоговом режиме на базе иерархического словаря выделением общих для сравниваемых терминов родовых терминов. Синонимами могут являться только термины, имеющие общий родовой термин;

2) описанная структура словаря обеспечивает обработку текстов различной степени нормализации: от назывных предложений естественного языка научных текстов до жестко нормализованных фраз, построенных по правилам языка НОРМИН. Степень нормализации исходных текстов сказывается, естественно, на точности семантико-синтаксического анализа;

3) в словаре предусматриваются семантические категории терминов, которые обеспечивают повышение точности семантико-синтаксического анализа;

4) применение описанного словаря исключает необходимость морфологического анализа слов входных предложений и тем самым исключает неопределенность в отождествлении слов, связанную с избыточным или недостаточным отсечением окончаний;

5) программная реализация текстового словаря обеспечивает экономию памяти и сокращение времени поиска по сравнению со случаем хранения и перебора полных словоформ;

6) описанная структура словаря позволяет для повышения надежности вводить в словарь разные варианты одних и тех же словоформ (если они существуют), например можно иногда учитывать разные возможности отсечения окончаний и сокращенных прилагательных, случаи чередования букв в основах, разные варианты написания одних и тех же слов и т. д. При этом обеспечивается правильность отождествления слов, так как поиск в словаре идет до полного совпадения заданного слова с соответствующей словоформой в словаре.

### *Алгоритм семантико-синтаксического анализа*

Семантико-синтаксический анализ (ССА) нормализованных текстов условно разделен на два этапа, которые выполняются на основе грамматических и лексических средств предложения (порядок слов в предложении, предлоги, падежи существительных, знаки препинания и т. д.). При этом производится анализ сочетаемости слов, принадлежащих к определенным семантическим категориям, что позволяет в ряде случаев исключить многозначность синтаксических связей.

На первом этапе определяются синтаксические связи между словами, соответствующие их грамматическим признакам. На втором этапе каждое предложение представляется в виде дерева, узлами которого являются члены предложения, а ветвями — семантико-синтаксические связи между ними.

Согласно структуре входного нормализованного языка НОРМИН вершиной дерева (с точки зрения синтаксиса — главный член предложения) является глагол или первое в предложении имя существительное в именительном падеже (в случае назывного предложения). Главный член предложения представляет собой первый уровень в структуре предложения, а слова, непосредственно от него зависящие, — второй. В свою очередь каждое из зависимых слов может быть управляющим для слов следующего, более низкого уровня и т. д.

Таким образом, в результате обоих этапов ССА предложение преобразуется в многоуровневую структуру, соответствующую структуре языка НОРМИН. При этом с помощью семантических признаков слов происходит полное или частичное устранение синтаксической многозначности.

Наличие в словаре признаков семантических категорий слов и словосочетаний позволяет проверить каждую полученную синтаксическую структуру с точки зрения смысловой сочетаемости языковых единиц (слов и устойчивых словосочетаний) и уточнить синтаксические связи между словами. Последнее обеспечивается благодаря более четкому определению в языке НОРМИН семантических значений предлогов, функциональных связок и смысла падежных окончаний по сравнению с естественным языком. В общем случае представления информации в фактографических ИПС можно выделить следующие контуры информации:

1. Модельный контур, представляемый общим фактографическим массивом данных и тезаурусом, определяющим полную информационную модель изучаемой предметной области,
2. Событийный контур, представляемый отдельными документами (машинными записями), определяющими описания конкретных событий, предметов или явлений.
3. Аспектный (прагматический) контур, представляемый пунктами и подпунктами документов и стандартными обобщающими словами (выводы, рекомендации, даты и др.).
4. Фактовый контур, представляемый отдельными нормализованными предложениями, каждое из которых выражает определенный факт.
5. Предметный контур, представляемый основным (информативным) членом предложения, обозначающим какой-либо предмет или процесс.
6. Обстоятельный контур, представляемый группами слов, связанных определенными функциональными смысловыми связями с подлежащим.
7. Признаковый контур, представляемый определениями и дополнениями, относящимися к подлежащему или к обстоятельствам.

В соответствии с этими представлениями в общем алгоритме семантико-синтаксического анализа должны предусматриваться соответствующие уровни анализа текстовой информации. Основу общего алгоритма составляет алгоритм, реализующий четыре нижних уровня анализа, т. е. анализ отдельных предложений. Результаты этого анализа будут основой для выполнения более высоких уровней анализа — анализа предложений в пределах подпунктов и пунктов документа, а также анализа данных в пределах всего документа и полного фактографического массива.

Перед ССА проводятся поиск слов в словаре и определение границ пунктов, подпунктов, предложений и слов. С помощью словаря текстовые представления слов заменяются кодами дескрипторов, причем всем словам (словоформам), имеющим одну и ту же основу, а также всем синонимам присваивается один и тот же код дескрипторов. Таким образом устраняется синонимия слов.

На основе информации, полученной из словаря, формируется таблица обращения к тексту (ТОТ), используемая при ССА. В этой таблице для каждого слова указаны его номер в предложении, грамматический класс, падеж, число, род, если они приводятся в словаре, признаки семантических категорий. Таблица обращения к тексту формируется для всех пунктов документа, записанных на языке НОРМИН, и подлежит анализу и переводу на машинный информационный язык (МИЯ). Каждому слову соответствует одна строка ТОТ. Последовательность строк соответствует порядку следования слов и предложений в пункте.

Первым шагом семантико-синтаксического анализа является определение для каждого слова предложения его управляющего слова и вида управления. Эта информация является исходной для следующего шага ССА — построения дерева подчинения и представления предложения в виде формальной структуры.

Как уже говорилось, в тезаурусе для отдельных дескрипторов указаны признаки семантических категорий двух типов — общих (объекты, свойства, вещества и т. д.) и специальных медико-биологических (организмы, болезни, медикаменты и т. д.). В процессе ССА общие семантические категории используются для уточнения смысла некоторых многозначных предлогов (таких, как «в», «на» и др.) и беспредложных связей, имеющих одинаковую синтаксическую структуру, но различный смысл. Например, два существительных в именительном и родительном падежах могут быть связаны различной смысловой связью:

- 1) облучение опухоли — объектное отношение «воздействия»;
- 2) ткань мозга — отношение принадлежности «часть — целое». Медицинские семантические категории в процессе ССА используются для проверки допустимости полученной синтаксической структуры, а также для выбора наиболее верной структуры из нескольких возможных вариантов. Например, термины категории «морфология» могут проверяться на наличие дополнений либо в родительном, либо в винительном падеже («отек легких», «кровоизлияние в желудок»). Термины категории «локализация» могут иметь дополнения, относящиеся лишь к той же категории, например из двух вариантов синтаксической структуры правильней принять второй вариант, так как термин «миндалина» («локализация») не может



иметь дополнение «без наркоза».

Для выбора наиболее правильной синтаксической структуры из нескольких возможных у отглагольных существительных, т. е. у существительных, относящихся к общей семантической категории «воздействие», необходимо проверить насыщение валентностей, т. е. обязательное наличие прямого дополнения (существительного в РП). Учитывается также недопустимость нескольких обстоятельств одного вида в одном предложении, относящихся к одному и тому же слову.

Таким образом, особенностью рассматриваемого метода ССА является использование семантических характеристик терминов не после, а в процессе и даже до синтаксического анализа предложений.

Для семантико-синтаксического анализа термины языка НОРМИН подразделяются на 72 грамматических класса, определенных в работе Г. Г. Белоногова и В. И. Богатырева [3]. Строится квадратная матрица, в которой строки и столбцы соответствуют указанным грамматическим классам, причем некоторые классы слов (существительные, глаголы и т. п.) представлены в обобщенном виде. Строки представляют собой предыдущие члены предложения, а столбцы — последующие. На пересечении строки и столбца ставится 1, если грамматическая структура языка НОРМИН в принципе допускает, чтобы за членом предложения класса, указанного в строке, следовал член предложения класса, указанного в столбце.

Рассматриваемый алгоритм ССА работает на основе информации, заложенной в данной матрице. В общем случае слова в предложении анализируются подряд, начиная с первого, и класс слова, указанный в таблице обращения к тексту, сравнивается со строками данной матрицы. При совпадении анализируются данная строка и следующее слово, причем класс слова сравнивается лишь с теми элементами строки (столбцами), которые имеют признаки, равные единицам. В случае совпадения с одним из единичных членов строки производится анализ, может ли данная пара слов быть связана каким-либо видом связи. Если да, то зависимому слову присваиваются данный вид связи и соответствующий номер 'управляющего слова'. Например, пара слов «метод лечения» имеет управляющее слово «метод» и зависимое слово «лечения». Вид связи — определительная.

Если слова грамматически не могут быть непосредственно связаны смысловой связью, то происходит переход к следующим словам в предложении; этот процесс продолжается до тех пор, пока не встретится слово, которое может быть грамматически связано с первым словом из рассматриваемой цепочки слов. После присваивания этому или найденному слову (в зависимости от грамматических классов каждого из слов) вида смысловой связи и номера управляющего слова алгоритм возвращается к первому из непроанализированных слов. Например, пара слов «метод оперативн.» не может быть связана никаким видом смысловой связи. Поэтому алгоритм перебирает все последующие слова, пока не встретится имя существительное в именительном падеже, например «лечения», которому в зависимости от падежа будет присвоен соответствующий вид связи и указан номер управляющего слова «метод» — «метод оперативн. лечения». После этого происходит переход к следующему члену предложения, при этом текущее анализируемое слово «оперативн.» меняет свою роль: оно из последующего члена пары «предыдущий член — последующий член» превращается в предыдущий. Производятся поиск класса этого слова и сравнение класса слова, следующего за словом «оперативн.» с классами слов, имеющими единицы в данной строке, и т.д.

**Устранение многозначности семантико-синтаксического анализа.** В процессе анализа предложения возможны следующие основные виды многозначности:

1) многозначность словоформ, или морфологическая многозначность, заключающаяся в том, что одна и та же словоформа может соответствовать существительным в различных падежах;

2) многозначность конструкций, или собственно синтаксическая многозначность, при которой одинаковые синтаксические конструкции могут представлять различные варианты синтаксической зависимости членов предложения.

Морфологическая многозначность в свою очередь может быть разделена на следующие подвиды:

для существительных мужского и среднего рода возможно совпадение именительного и винительного падежей, причем как в единственном, так и во множественном числе (например, «сердце» — «на сердце»);

совпадение именительного и винительного падежей единственного и множественного числа у существительных женского рода, оканчивающихся на мягкий знак (например, «жидкость» — «в жидкость»);

совпадение дательного и предложного падежей единственного числа у большинства существительных женского рода, имеющих в именительном падеже единственного числа окончания «а» и «я» (например, «диагностике» — «при диагностике»);

совпадение у существительных мужского и среднего рода родительного падежа единственного числа и именительного падежа множественного числа (например, «у окна» — «окна»).

Устранение морфологической многозначности производится путем анализа наличия перед существительным предлога или другого существительного.

Многозначность синтаксических конструкций устраняется на этапе синтаксического анализа предложения. В предложении выделяются указанные многозначные конструкции и слова, входящие в эти конструкции, последовательно проверяются на смысловую сочетаемость друг с другом. Эта проверка производится после проверки по грамматической матрице с помощью семантических матриц, начиная с наиболее вероятного вида синтаксической зависимости слов в данной конструкции. При отрицательном результате первой проверки проверяется следующий вид синтаксической зависимости и т. д. Последовательность проверяемых слов на возможность управления данным словом определяется близостью их расположения по отношению к данному слову.

Строками и столбцами семантических матриц являются названия семантических категорий слов; на пересечении строк и столбцов указываются номера смысловых связей, допустимых для данного сочетания семантических категорий слова.

Особое место в семантико-синтаксическом анализе занимает алгоритм анализа смысловых связей между словами, связанными такими многозначными предлогами, как «в», «на», «с» и т. п. Эти предлоги могут представлять несколько смысловых связей между словами, причем выбор определенного вида связи зависит не только от семантических категорий управляющего и зависимого слов, но также и от падежа, в котором стоит зависимое слово.

Таким образом, в процессе анализа многозначных предлогов к процедуре проверки по семантическим матрицам добавляется проверка падежа, который может принимать шесть значений (если не учитывать числа). Следовательно, значение смысловой связи является функцией значений трехмерного массива. Первым аргументом является номер общей семантической категории управляющего слова, вторым аргументом — номер общей семантической категории зависимого слова, третьим — падеж зависимого слова. Подобный трехмерный массив должен быть построен для каждого из многозначных предлогов. Анализ многозначных предлогов может происходить иногда и без использования специальных семантических категорий, так как удается разрешить многозначность только на основе общих семантических категорий.

**Построение дерева разбора (подчинения).** После установления смысловых связей между членами предложения формируется описанная выше таблица обращения к тексту. В ТОТ для каждого слова заносится номер управляющего слова и вид смысловой связи. На основании этой таблицы для каждого предложения строится дерево подчинения. Это дерево имеет вид таблицы, каждой строке которой соответствует определенное слово в предложении, причем строки, соответствующие предлогам, знакам препинания, функциональным связкам и словам, не имеющим зависимых слов, исключаются. На первом этапе построения дерева слова заносятся в таблицу в том порядке, в каком они следуют в предложении. Каждая строка содержит код дескриптора и список триад, соответствующих словам зависимым от данного слова. Первым элементом триады является код дескриптора зависимого слова, вторым элементом — код смысловой связи между ним и управляющим словом, третьим — номер общей и специальной семантической категории.

Для управляющих слов в таблице сохраняется следующая информация: номер общей и специальной семантической категории и код дескриптора. На втором этапе построения дерева подчинения происходит перестановка строк таблицы в соответствии с синтаксической структурой предложения: первая строка соответствует главному члену предложения, следующие строки — словам, от него зависимым, имеющим в свою очередь зависимые слова, и т. д.

Формально язык НОРМИН, для которого разработана описанная выше методика семантико-синтаксического анализа, относится к категории формальных грамматик, известной под названием «грамматика непосредственных составляющих» (ГНС). Построение дерева подчинения, изображающего структуру разбора предложений ГНС, является одной из возможных реализаций общего метода синтаксического разбора, учитывающей специфику реализации языка НОРМИН.

### *Поиск информации и сопоставление нормализованных предложений*

Для обеспечения эффективности поиска документов, соответствующих запросу, в основу стратегии поиска должны быть положены следующие основные принципы:

1. Возможность регулирования параметров полноты и точности найденных документов.
2. Возможность диалогового общения пользователя и ИПС в процессе поиска документов.
3. Возможность итеративного поиска с учетом оценки результатов поиска пользователем.
4. Возможность автоматического сужения или расширения запроса.

Одним из основных факторов, влияющих на стратегию поиска, является организация поискового массива. Принципиально различают два общих способа организации поисковых массивов — прямой и инверсный.

В случае прямой организации каждый поисковый образ документа (ПОД) представляет собой единую запись, с которой необходимо сравнить запрос для выявления соответствия. Все записи в массиве располагаются подряд.

Основными достоинствами прямой организации поискового массива являются простота, удобство внесения изменений и дополнений в записи, компактное размещение документов (ПОД), упрощающее учет синтагматических отношений между дескрипторами. Недостатком прямой организации является повышенный расход машинного времени при поиске.

В случае инверсной организации каждая запись представляет собой совокупность кода дескриптора и номеров или адресов тех документов, в поисковых образах которых он содержится. Основным достоинством инверсной организации является сокращение времени поиска. Однако подобная организация имеет ряд существенных недостатков:

- 1) результатом информационного поиска являются лишь номера найденных релевантных документов, а не полные поисковые образы документов;
- 2) при инверсной организации приходится зачастую включать в тезаурус в качестве отдельных дескрипторов числовые данные, имена собственные и другие, что значительно увеличивает его объем;
- 3) поиск в инверсном массиве может производиться по отдельным дескрипторам; учет синтаксических связей между дескрипторами достаточно сложен.

Анализ основных способов организации поисковых массивов показывает, что наиболее эффективной является комбинированная организация поискового массива. При этом поиск осуществляется в два этапа. Сначала из инверсного массива с помощью логических операций отбираются все номера документов, содержащих дескрипторы запроса, и формируется прямой подмассив отобранных документов. Затем из этого прямого подмассива выбираются документы, соответствующие смысловому содержанию исходного запроса.

Набор поисковых дескрипторов для первого этапа поиска может задаваться отдельно либо выделяться автоматически из полного исходного запроса. Автоматический выбор поисковых дескрипторов из текста производится после семантико-синтаксического анализа предложения и определения главных и второстепенных членов различных уровней.

Отбор поисковых дескрипторов начинается с верхнего уровня и заканчивается в зависимости от нужного числа дескрипторов. Выбранные дескрипторы поступают на вход иерархического словаря, содержащего адреса отсылок к соответствующим записям инверсного массива. Основной операцией при поиске на втором этапе является сопоставление нормализованных предложений запроса и документов, сводящееся к сравнению их синтаксических деревьев.

Учитывая возможности синтаксической неоднозначности нормализованного естественного языка, помимо системы парадигматических замен для эффективного сопоставления предложений предусматривается система эквивалентных синтаксических замен, не изменяющих смыслового содержания запроса.

Таким образом, в системе поиска документов с учетом текстуальных отношений между дескрипторами основными средствами обеспечения эффективности поиска являются:

- 1) двухуровневая организация поискового массива;
- 2) использование иерархического кодового словаря;
- 3) применение эквивалентных и полуквивалентных преобразований запросов.

Возможность применения перечисленных средств определяется выбранной стратегией поиска. Поиск представляет собой многоэтапный процесс, состоящий из ряда операций, результат каждой из которых используется для выполнения последующих операций.

Каждый документ, находящийся в поисковом массиве, имеет два представления — текстовое и кодовое. Поисковый образ документа (ПОД) в текстовом виде представляет собой совокупность пунктов и подпунктов в исходном виде, т. е. в том виде, в котором они заполнялись индекатором. При этом ряд пунктов заполняется кодами или произвольным текстом, а ряд пунктов — нормализованными предложениями.

Поисковый образ документа в кодовом представлении содержит следующую информацию:

- 1) признак начала документа;
- 2) единый инвентарный номер документа (ЕИН);
- 3) совокупность нормализованных пунктов и подпунктов документа;
- 4) признак конца документа.

В процессе поиска документов по запросу предложение запроса, представленное в виде дерева подчинения, сравнивается с предложениями нормализованных пунктов документов.

Дерево запроса считается совпавшим с деревом предложения документа в следующих случаях:

- 1) дерево запроса оказывается вложенным в дерево предложения документа;
- 2) имеет место однозначное соответствие между узлами деревьев при условии совпадения видов смысловых связей.

Таким образом, критерием смыслового соответствия запроса и документа является либо полное совпадение деревьев, либо вхождение дерева запроса в дерево документа. В этих случаях предполагается использование эквивалентных и неэквивалентных преобразований запроса.

В рассматриваемой системе применяется модифицированный метод сравнения деревьев, сочетающий два метода, изложенных в [25]: «узел за узлом» и «часть за частью». Каждый узел дерева запроса (КД) последовательно сравнивается с каждым узлом сравниваемого дерева документа. При совпадении узлов анализируются виды связей. При несовпадении видов связей в зависимости от требований точности и режима сравнения (полное совпадение КД и видов связей на всех Уровнях синтаксического дерева либо совпадение лишь КД) устанавливается либо совпадение, либо несовпадение деревьев.

Словосочетания, встретившиеся в тексте запросов, играют роль неделимых единиц (подструктур). При этом в зависимости от удельного веса словосочетаний в словаре данный метод может трансформироваться в метод сравнения «часть за частью».

При автоматическом опознавании тождественности двух элементов языка НОРМИН приняты следующие предпосылки:

1) два узла дерева (термина) являются тождественными, если они либо синонимы, либо находятся на соседних уровнях родовидовой цепочки в кодовом словаре, либо один из терминов представляет собой сочетание общего слова с другим термином;

2) два вида связи являются тождественными, если замена одного вида связи на другой либо не изменяет основного смысла, либо меняет лишь прагматическое значение фразы, не изменяя семантического;

3) две структуры являются тождественными, если они содержат или тождественные узлы и виды связи (ветви), или тождественные виды связи и узлы, находящиеся в конверсивных отношениях (по одному узлу в каждой структуре).

Тождественность узлов определяется либо по текстовому (в случае наличия синонимии), либо по кодовому (при наличии родовидовых отношений) словарю. Тождественность видов связей определяется по матрице эквивалентных преобразований, в которой каждому допустимому в языке НОРМИН виду связи сопоставлены эквивалентные ему связи.

Синонимия терминов автоматически устраняется на этапе поиска слов в словаре, где всем синонимам присваивается один и тот же код дескриптора (КД).

Лексическая неоднозначность, связанная с представлением близких по смыслу слов в виде различных КД, может быть устранена с помощью обращения к кодовому словарю, отражающему родовидовые отношения между дескрипторами. При этом может происходить либо уточнение, либо расширение запроса.

Влияние синтаксической неоднозначности на результаты поиска устраняется за счет использования системы эквивалентных преобразований фраз, позволяющих получить различные варианты синтаксической структуры фразы в рамках данного ИПЯ.

При этом из двух фраз, подлежащих сравнению (фразы текста, хранящегося в ЭВМ, и фазы запроса), процедуры эквивалентных преобразований целесообразно применять к фразам запроса, так как, во-первых, эти фразы, как правило, являются более короткими и простыми и легче подвергаются процессу преобразований, а во-вторых, объем преобразуемой информации в этом случае оказывается значительно меньшим.

В зависимости от требований полноты и точности поиска объем эквивалентных преобразований запросов может варьироваться. Для языка НОРМИН разработана многоуровневая система эквивалентных преобразований, соответствующая трем уровням критериев оценки степени совпадения запроса и текста, хранящегося в ЭВМ.

Критерий первого (низшего) уровня предусматривает наличие всех существительных первого уровня фразы запроса среди существительных второго уровня фразы текста. Этот критерий предусматривает совпадение членов, несущих основную смысловую нагрузку, а также существительных, непосредственно от них зависящих. Словом, несущим основную смысловую нагрузку, является либо подлежащее фразы (если слово не является отглагольным существительным семантической категории

«действие»), либо прямое дополнение подлежащего (если подлежащее имеет семантическую категорию «действие»). Например, во фразе «удаление опухоли» основным словом будет считаться «опухоль», а не «удаление».

Критерий второго уровня предусматривает, во-первых, вхождение всех существительных фразы запроса во фразу текста и, во-вторых, совпадение видов связей у существительных на первом уровне сравнения. На втором, а также на третьем (высшем) уровнях сравнения (полное вхождение фразы запроса и совпадение всех смысловых связей) может применяться разработанная система эквивалентных преобразований.

Язык НОРМИН допускает следующие виды преобразований лексико-синтаксических структур.

1. Лексические преобразования.
2. Лексические преобразования и связанные с ними синтаксические преобразования.
3. Синтаксические преобразования.

К лексическим преобразованиям относятся:

1) замена слов-синонимов; производится автоматически при обращении к словарю, так как всем синонимам в словаре присваивается один и тот же код дескриптора;

2) замена однословных понятий словосочетаниями и наоборот без изменения синтаксической структуры предложения;

3) удаление (добавление) слова без изменения синтаксической структуры предложения — преобразование подлежащих, относящихся к категории общих слов, не несущих смысловой нагрузки («вопрос», «пример» и т. д.);

4) замена слов-дериватов, т. е. слов, имеющих одинаковый смысл, но относящихся к различным частям речи, без изменения направления связи, например «Температура изменилась» и «Изменение температуры»;

5) замена слов-дериватов с изменением отношения подчинения, например «удаленн. опухоль» и «удаление опухоли».

Практически четвертый и пятый виды лексических замен фактически являются синтаксическими, так как в словаре все словоформы одного и того же слова, представляющие различные части речи, имеют один и тот же КД и, таким образом, при замене выражений изменяются лишь виды связи между дескрипторами.

К лексическим и связанным с ними синтаксическим заменам можно отнести следующие виды преобразований:

замена слов-конверсивов, т. е. слов, противоположных по смыслу, имеющих отношение не менее чем с двумя другими членами предложения, например «Исследование введения радиоактивн. йода в щитовидн. железу» и «Исследование поглощения радиоактивн. йода щитовидн. железой»; отношения подчинения и видов связи, например «Применение счетчика для измерения радиоактивности», и «Измерение радиоактивности посредством счетчика»;

замена слов на словосочетания и наоборот и изменение видов связи без изменения отношения подчинения, например «Характер опухоли в послеоперацион. периоде» и «Характер опухоли после операции».

К синтаксическим заменам относятся следующие виды преобразований:

замена одного вида связи другим без изменения направления связи, например «Бронхит у детей» и «Бронхит детей»;

замена видов связи, направления связи и порядка слов в предложении, например «Радиоизотопн. препарат для диагностики» и «Диагностика посредством радиоизотопн. препарата».

При сравнении двух предложений (запроса и документа) сначала в предложении документа ищется главный член предложения запроса и при его наличии ищутся члены предложения, непосредственно зависящие от него (дескрипторы второго уровня дерева подчинения предложения запроса).

При отсутствии какого-либо из дескрипторов запроса в документе производится анализ данного слова, и если это слово является общим, то оно исключается в случае совпадения остальных дескрипторов.

При неполном совпадении остальных дескрипторов происходит обращение к кодовому словарю и последовательное сравнение с дескрипторами предложения документа всех родовых, видовых, и ассоциативных терминов каждого из несовпадающих дескрипторов, зависимых от не найденного в документе общего слова запроса.

Эквивалентные преобразования запроса производятся с помощью матрицы эквивалентных преобразований. Столбцами и строками этой матрицы являются номера тех видов связи, которые могут участвовать в заменах. Для языка НОРМИН определено 28 видов таких связей. На пересечении строк и столбцов могут стоять четыре значения:

- 0 — если в принципе данная замена недопустима,
- 1 — если заменяются лишь виды связи,
- 2 — если заменяются виды связей и изменяется порядок слов,
- 3 — если заменяются виды связей и изменяется главный член предложения.

Следует заметить, что описанная методика поиска информации с использованием эквивалентных преобразований нормализованных предложений запросов предусматривает необходимость адаптации ее к специфике конкретной предметной области, а также постепенное совершенствование в процессе эксплуатации. При этом должно производиться как бы «обучение» системы, накопление опыта распознавания и отождествления предложений запросов и документов, выработка унифицированных структур записи типовых фактов.

Для иллюстрации возможностей системы НОРМИН приведем примеры сопоставления формальных структур нормализованных предложений.

**Пример 1.** Пусть в некотором документе имеется следующее предложение.

«Наблюдается (1) улучшение (2) общ. (3) состояния (4) организма (5), нормализация (6) количества (7) лейкоцитов (8) в результате проведения (9) лучев. (10) терапии (11)»;

Допустим также, что запрос задан в виде следующего предложения:

«Улучшение (2) состояния (4) организма (5) после проведения (9) лучев. (10) терапии (11)»;

После этапа семантико-синтаксического анализа предложений получаем для каждого из этих предложений формальные структуры, представленные на рис. 11 и 12.

Числа в кружочках — условные коды дескрипторов, а числа у стрелок — номера смысловых связей, принятые в системе НОРМИН; 05 (запятая) относится к категории логических и служебных отношений; 11 и 17 — к категории объектных связей; 21 и 22 — к категории определительных связей; 81 — к категории причинно-следственных связей; 53 — к

категории временных отношений.

Сопоставление запроса и документа в рассматриваемой системе НОРМИН производится с использованием критерия

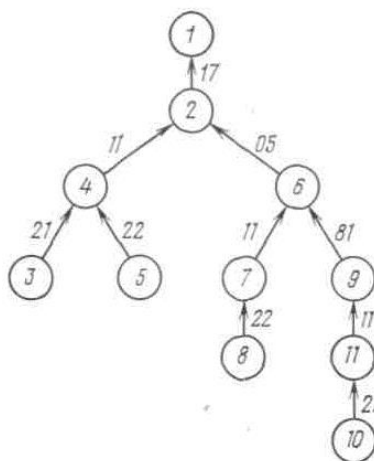


Рис. 11. Структура предложения документа

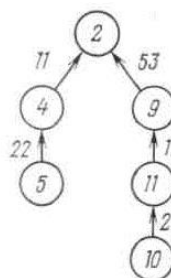


Рис. 12. Структура запроса

вхождения дерева запроса в дерево документа. В данном примере это будет иметь место благодаря следующим эквивалентным преобразованиям, предусмотренным в системе НОРМИН:

а) смысловые связи 81 (в результате) и 53 (после) при сравнении данных деревьев будут считаться эквивалентными;

б) к однородным членам первого предложения «улучшение» (2) и «нормализация» (6), связанным смысловой связью 05 (запятая), применяется правило «перевешивания» обстоятельственных групп, имеющих у последующего однородного члена, на предшествующие однородные члены (если они не имеют подобных групп).

Таким образом, ветвь дерева первого предложения 9—11—10 при сравнении предложений присоединяется также к узлу 2. После указанных преобразований дерево первого предложения будет в явном виде содержать дерево второго предложения.

**Пример 2.** Допустим, что требуется произвести автоматическое кодирование следующего диагноза:

«Аденокарцинома (1) глоточн. (2) отростка (3) околоушн. (4) железы (5)»;

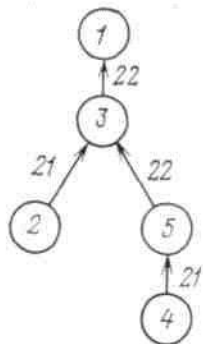


Рис. 13. Структура записи диагноза

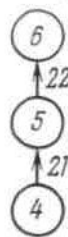


Рис. 14. Структура записи классификатора

Этот текст диагноза в данном случае играет роль запроса к системе. Система производит сравнения данного предложения с одной из записей классификатора диагнозов (шифр — 152.0):

«Злокачественн. — новообразование (6) околоушн. (4) железы (5)»;

Словосочетание «злокачественн. — новообразование» воспринимается системой как единое понятие, и ему присвоен один код дескриптора.

Формальная структура для первого предложения представлена на рис. 13, а для второго — на рис. 14. Для решения задачи шифрования диагнозов необходимо, чтобы дерево текста диагнозов (рис. 13) содержало дерево записи классификатора (рис. 14).

При сравнении двух деревьев основную роль играет имеющийся в системе НОРМИН кодовый (иерархический) словарь. В иерархическом словаре отражены следующие родовидовые отношения для рассматриваемых предложений: дескриптор аденокарцинома является видовым по отношению к словосочетанию «злокачественн. — новообразование». В связи с этим с помощью кодового словаря произойдет отождествление рассматриваемой пары дескрипторов, так как два узла считаются совпавшими, если коды дескрипторов их тождественно совпадают, либо код дескриптора узла запроса является родовым по отношению к коду дескриптора узла дерева документа.

В результате будет определено, что дерево первого предложения содержит дерево второго предложения; шифр 152.0 присвоен рассматриваемому диагнозу.

### *Семантико-синтаксический синтез предложений нормализованного языка НОРМИН*

Как уже говорилось, в результате ССА каждое предложение текста представляется в кодированной форме — в виде дерева подчинения, в котором узлы являются кодами (номерами) дескрипторов (терминов), а ветви — кодами смысловых связей (из числа предусмотренных в языке НОРМИН). Подобное кодированное представление предложений удобно для эквивалентных

преобразований, сопоставления и поиска информации; с этого представления возможен обратный перевод в текстовую форму на любой нормализованный естественный язык, имеющий сходство с исходным языком. Описываемый ниже алгоритм синтеза нормализованных Русских предложений служит для перевода из кодированной машинной формы в текстовую; он реализует процесс, обратный процессу семантико-синтаксического анализа нормализованных предложений.

Указанный алгоритм семантико-синтаксического синтеза (ССС) может применяться для выдачи информации из АФИЛС, найденной в процессе поиска и обработки. В принципе, можно использовать для выдачи найденных текстов исходные нормализованные тексты. Однако применение программного способа СССР

Для получения текстового представления закодированных документов обладает рядом преимуществ по сравнению со способом хранения и выдачи текстов исходных документов. К числу этих преимуществ относятся:

1) значительное сокращение емкости памяти, занимаемой для хранения полных документов. Проиллюстрируем сказанное.

При постоянной длине текста документа 1920 байтов (принятой в экспериментальном варианте системы НОРМИН) емкость памяти под массив в 10 000 документов составит 534 цилиндра на МД.

При программном способе получения текстового представления закодированных предложений емкость памяти, необходимая под тот же массив документов, сократится в 4 раза, т. е. составит 134 цилиндра;

2) возможность получения текстов кодированных документов не только на русском, но и на другом нормализованном языке. Для этого необходимо иметь соответствующие словари (в памяти ЭВМ) и таблицы соответствия смысловых связей. При этом для получения текстов документов на различных языках должны использоваться соответствующие алгоритмы СССР;

3) выдача текстов в виде стандартных унифицированных предложений, принятых в данной предметной области.

Исходной информацией для работы программ является закодированное предложение (или пункт документа), находящееся в памяти ЭВМ в виде дерева подчинения в сжатом машинном представлении. Первым этапом работы алгоритма СССР является перевод сжатого дерева в полное представление.

Основным и наиболее сложным этапом алгоритма СССР является определение порядка слов в предложении, так как информация о номерах слов или их относительном расположении в предложении в дереве подчинения отсутствует.

Предложение, представленное в виде дерева подчинения, восстанавливается последовательно, по уровням зависимости. Сначала устанавливается порядок слов первого уровня зависимости, затем второго уровня и т. д. При анализе очередного уровня цепочка кодов дескрипторов, сформированная для предыдущих уровней, раздвигается в соответствующем месте либо вправо, либо влево в зависимости от управляющего слова и признака, определяющего левосторонний или правосторонний вид связи.

К левосторонним видам связи относятся определения с существительным (№ 21), связь числа с единицей измерения или существительным (№ 28), связь наречия с глаголом или причастием (№69). Все остальные виды связи (предложные и беспредложные) относятся к правосторонним.

Формируется массив, который определяет вид связи, соответствующий каждому дескриптору и содержащий признак числа для каждого из существительных. На основании этих значений с помощью обратной таблицы смысловых связей формируется массив, определяющий часть речи и падеж каждого слова, представленного своим кодом дескриптора. Специального анализа требуют виды связи, относящиеся к категории логических и служебных отношений — «и», «или», «либо», «,». По значению этих видов связей без учета контекста невозможно определить падеж слова, связанного с управляющим с помощью этих связей. В этом случае зависимые слова берутся в том же падеже, что и первое слева от смысловой связки существительное.

Таким образом, результатом работы программы СССР до обращения к словарю и замены кодов дескрипторов текстовыми представлениями является формирование четырех векторов:  $KT(N)$  — коды дескрипторов,  $PR(N)$  — признаки частей речи,  $WS(N)$  — коды смысловых связей,  $C(N)$  — признаки числа у существительных. Здесь значение  $N$  соответствует номеру слова в предложении. При этом элементы вектора  $WS(N)$ , соответствующие предлогам, принимают нулевые значения.

После формирования указанных векторов по каждому из кодов дескрипторов происходит обращение к кодовому словарю и от него переход по  $AC_{\text{текст}}$  к текстовому словарю для определения текстового представления основ дескрипторов.

После получения текстового представления основы слова (существительных, прилагательных и причастий) в текстовом словаре происходит переход по  $AC_{\text{ок}}$  к списку окончаний (при стандартном варианте записи) и к соответствующему окончанию (при нестандартном варианте) для получения словоформы в требуемом падеже, который определяется признаком  $PR(N)$ . При организации словаря, включающего наряду с отдельными словами словосочетания для программы СССР предложений (так же, как и для программы ССА), необходим признак  $KC(N)$ , указывающий число членов в словосочетании. При замене кодов дескрипторов их текстовым представлением строка слов раздвигается на соответствующее число членов. При  $KT(N) = 0$  происходит переход к таблице соответствия смысловых связей и в зависимости от признака  $WS(N)$  определяется текстовое представление предлога или другой смысловой связи.

Входами в таблицу соответствия смысловых связей являются коды смысловых связей языка НОРМИН, а выходной информацией являются данные: текстовое представление, признаки предложной или беспредложной связи (число членов в смысловой связи), признак левосторонней или правосторонней связи, требуемый падеж.

Последним этапом СССР предложений является правильное относительное расположение предлогов и определений. Первоначально предлоги устанавливаются непосредственно перед существительным; в дальнейшем при наличии определений предлоги ставятся перед определением. Например:

1. «Запись приемн. в покое».
2. «Запись в приемн. покое».

**Некоторые особенности реализации СС на других языках.** Для получения текстов предложений на каком-либо другом языке для работы описанного алгоритма СССР необходимо сформировать таблицы соответствия смысловых связей. Эти таблицы для конкретных языков должны иметь следующие особенности.

*Для немецкого языка.* Необходимо иметь признак оцепления слов и признак наличия артикля.



Например, словосочетание «история болезни» будет представлено на немецком языке в виде одного слова «*Krankheitsgeschichte*».

Признак наличия артикля указывает на необходимость артикля, который определяется по словарю в зависимости от падежа и от рода.

Для *английского языка*. Необходимо вместо значения конкретного падежа иметь признак наличия окончания «s», так как другие падежи в английском языке отсутствуют. Кроме того, необходимо иметь признак наличия артикля перед существительным с указанием определенного или неопределенного артикля (некоторые предлоги требуют обязательно определенного артикля «the», например предлог «in»).

Для *французского языка*. Необходимо иметь признак наличия частицы «de» перед дескриптором и признак наличия артикля (конкретный вид артикля определяется по словарю в зависимости от рода).

Словари, предназначенные для работы программ ССС нормализованных предложений, могут иметь более простую структуру, чем для ССА (совмещение кодовой и текстовой частей словаря, отсутствие признаков семантических категорий, отсутствие адресов связей слов одной и той же семантической категории, отсутствие признаков главного дескриптора и синонимов и адресов связи синонимов).

Для ССС предложений на немецком и французском языках в словаре необходимо иметь признаки рода для правильного установления артикля. Так же, как и ССС на русском языке, ССС предложений на немецком языке требует указания для каждого конкретного дескриптора номера списка окончаний, что не требуется для английского и французского языков, в которых различие в окончаниях слов в рамках описанного алгоритма не осуществляется (например, не различаются слова «ассистент — ассистентка»). Дополнительно для немецкого и французского языков требуется указание номера списка артиклей. Кроме того, во всех словарях необходимо иметь признак количества членов текстового представления (словосочетания), представляемого данным кодом дескриптора. Это необходимо для правильного установления соответствия между массивами  $KT(N)$ ,  $WS(N)$ ,  $PR(N)$ ,  $C(N)$  и т. д.

**Ограничения алгоритма семантико-синтаксического синтеза нормализованных предложений. Рассмотренный алгоритм ССС имеет следующие основные ограничения:**

1) по исходному предложению в виде дерева подчинения невозможно определить признак числа для существительных. В связи с этим все существительные условно берутся в единственном числе;

2) слова, которые могут употребляться как в мужском, так и в женском роде («больной — больная»), имеют один и тот же код дескриптора, и, таким образом, трудно определить исходную форму слова. Поэтому подобные слова, представляющие одушевленные предметы, берутся только в мужском роде;

3) для немецкого, английского и французского языков трудно алгоритмически (без учета контекста) отличить определенную и неопределенную формы артиклей. Видимо, употребление того или иного вида артикля должно устанавливаться в зависимости от конкретной области применения.

Описанный алгоритм семантико-синтаксического синтеза нормализованных предложений является первым приближением к процессу семантико-синтаксического синтеза. Он позволяет строить унифицированные нормализованные русские предложения, обеспечивающие достаточно точное и полное представление смысла предложений для человека при наличии ряда стилистических и грамматических неправильностей. Этот алгоритм может быть положен в основу при построении аналогичных алгоритмов для синтеза нормализованных предложений на других языках с единого машинного кодированного представления этих предложений в системе НОРМИН.

### 4.3. Возможности применения языка НОРМИН

Описанный выше язык НОРМИН является входным и выходным языком для автоматизированных фактографических информационно-логических систем (АФИЛС). Нормализация лексических и грамматических средств языка НОРМИН по сравнению с естественным языком обеспечивает возможности более точного и единообразного выражения содержания входных документов и более точного семантико-синтаксического анализа входных текстов (документов и запросов).

После семантико-синтаксического анализа (ССА) нормализованные входные тексты представляются в памяти ЭВМ в виде деревьев разбора (подчинения) на машинном информационном языке (МИЯ), в котором все слова (дескрипторы) заменены их числовыми кодами (КД), а смысловые связи между словами в предложениях заменены кодами указателей вида связей с указанием для каждого слова текста его управляющего слова. При замене дескрипторов их кодами (с помощью словаря) исключается синонимия, так как всем синонимам присваивается один и тот же код; смысл омонимов уточняется с помощью семантических категорий терминов (общих и специальных), указанных в словаре. Набор смысловых связей включает разнообразные связки, разделенные на 10 смысловых категорий.

Таким образом, язык НОРМИН представляет собой нормализованное подмножество естественного языка медицинских текстов, ограниченное в части лексического состава и грамматических средств. Однако указанные ограничения и нормализация не превращают язык НОРМИН в жестко фиксированную схему табличной записи определенных фактов. НОРМИН сохраняет в значительной степени гибкость и выразительность естественного научного языка. По-видимому, его можно рассматривать как одну из попыток общей унификации естественного научного языка (унификация терминологии и структуры текстов и состава предложений). Очевидно, что такая унификация должна проводиться путем создания, общей унифицированной основы и создания на этой основе специализированных языков для различных областей знаний.

Методика применения языка НОРМИН, т. е. методика записи на нем входных текстов, тесно связана с назначением ИПС. Можно выделить два основных направления применения НОРМИН:

1. НОРМИН может применяться для документального (библиографического) поиска повышенной точности, при котором в качестве промежуточных результатов поиска выдаются развернутые аннотации документов (статей, отчетов, патентов, историй болезней и т. д.). Указанные аннотации пишутся индексаторами (или сразу же авторами) на языке НОРМИН и

используются в ИПС в качестве поисковых образов документов (ПОД) и в качестве библиографических справок, Задания на поиск пишутся индексаторами на языке НОРМИН на основе запросов, написанных заказчиками на естественном языке.

Запись подобных аннотаций документов (ПОД) не предъявляет каких-либо особых требований к применению языка НОРМИН. Необходимо, чтобы эти аннотации достаточно полно и сжато отражали основное содержание работы и ее главные аспекты. Желательно использовать однотипные обороты и терминологию при составлении аннотаций работ из одной и той же области. Запись на языке НОРМИН заданий на поиск (поисковых предписаний) требует учета структуры словаря ИПС, состава смысловых связей языка, а также учета общей стратегии поиска документов, заложенной в алгоритмы поиска и сопоставления запросов и документов.

В крупных многотематических ИПС поиск обычно проводится в три этапа:

1) выбор тематического массива (или подмассива). Этот этап часто выполняется вручную установкой в ЭВМ соответствующего пакета МД или МЛ;

2) грубый поиск на простое вхождение основных дескрипторов запросов в ПОД. При этом не учитываются семантико-синтаксические связи между словами текстов;

3) точный отбор среди ПОД, найденных при грубом поиске, тех ПОД, которые соответствуют полному заданию на поиск. При этом учитываются семантико-синтаксические связи между словами текстов запросов и ПОД.

Для повышения полноты и точности поиска необходимо в задании на поиск предусматривать меры по устранению влияния на поиск трех типов информационной несовместимости: лексической, синтаксической, семантической.

Лексическая несовместимость может проявляться в том, что в запросе будут использованы более общие термины, а в ПОД — более частные термины. Для исключения влияния лексической несовместимости каждое задание на поиск может быть автоматически преобразовано ЭВМ с помощью кодового словаря в дизъюнктивную форму (при наличии соответствующего указания в запросе). При этом к каждому общему термину задания дизъюнктивно добавляются частные термины. Обратные преобразования задания на поиск с заменой в них частных терминов общими производятся ЭВМ также автоматически в случаях недостаточной полноты поиска документов (для этого в задании на поиске должно быть специальное указание).

Синтаксическая несовместимость запроса и ПОД может проявляться в использовании для выражения одного и того же смысла различных синтаксических конструкций и смысловых связей (из числа предусмотренных в языке НОРМИН). Как правило, такие связки будут относиться к одной и той же смысловой категории, что определяется по совпадению первых (старших) цифр в числовых кодах связей (например, определительная связь с помощью прилагательного имеет код 21, а с помощью существительного в родительном падеже — код 22).

Для устранения синтаксической несовместимости в языке НОРМИН предусматривается набор эквивалентных преобразований смысловых связей, который кратко был описан выше.

Семантическая несовместимость может проявляться в использовании в запросе (задании) и в ПОД различных выражений и фраз, которые в определенных типах документов могут считаться эквивалентными по смыслу. Примерами подобных выражений могут быть «Показания к применению» и «Применение при условии». Влияние семантической несовместимости запроса и ПОД на поиск должно снижаться путем «обучения» системы в процессе ее эксплуатации, т. е. путем накопления в памяти системы специфических типовых выражений и оборотов, которые могут иметь различные эквивалентные представления на языке НОРМИН. При этом каждый запрос (поисковый образ запроса ПОЗ), вводимый в ИПС, будет сначала проверяться на наличие в нем подобных оборотов и при их наличии в ПОЗ будут добавляться (дизъюнктивно) соответствующие эквиваленты.

Следует заметить, что как синтаксическая, так и семантическая несовместимости (многозначность) связаны в основном с тем, что при массовой записи аннотаций на языке НОРМИН могут быть случаи недостаточно четкого использования средств этого языка, особенно лицами с небольшим опытом. Естественно, что в процессе эксплуатации подобных систем точность их работы повышается.

2. НОРМИН может применяться в качестве внешнего языка в собственно АФИЛС, которые должны строиться для узких областей знаний и к общим средствам языка НОРМИН должны добавляться конкретные правила построения унифицированных фактографических записей для каждой узкой области знаний. Эти правила должны четко описывать структуру записей (состав пунктов и подпунктов), а также структуру типовых предложений, применяемых в этих записях. Для облегчения работы индексаторов такая информация должна указываться в инструкции или выдаваться на дисплей по запросу индексатора для инструктирования (обучения) индексатора.

Стандартные предложения должны начинаться определенными (зарезервированными) дескрипторами и иметь в своем составе фиксированные дескрипторы, играющие роль наименований переменных, за которыми указываются их значения. Стандартные предложения могут сопровождаться нестандартными (записанными также на языке НОРМИН). Подробные фактографические текстовые записи после ввода и семантико-синтаксического анализа образуют текстовый фактографический поисковый массив, который может использоваться для поиска, логической обработки и выдачи фактических справок по различным тематическим запросам.

Для более глубокой систематизации и анализа фактов на базе указанного фактографического поискового текстового массива может быть построена фактографическая матричная или сетевая модель знаний в данной предметной области.

Вопросы построения указанных фактографических моделей составляют самостоятельный раздел теории информационных систем, который мы здесь рассматривать не будем.

Возможны различные промежуточные варианты применения языка НОРМИН, в частности применения НОРМИН в документально-фактографических ИПС (ДФИПС). Такие системы должны производить не только поиск работ (документов) по их основному содержанию, но и поиск отдельных частей и разделов документов по различным аспектам описания работ. Эти системы не заменяют полностью самих источников, так как не содержат в себе всей фактической информации работы и не могут выдавать в ответ на запрос конкретные фактические ответы. Однако подобные системы, в отличие от обычных библиографических систем, могут выдавать краткие фактические справки и достаточно точно указывать, где, в каком разделе или параграфе, содержится полная информация, соответствующая узкому тематическому запросу. ДФИПС занимают

промежуточное положение между АФИЛС и документальными системами и, по-видимому, в наибольшей степени соответствуют современному состоянию науки и имеют наибольшее распространение.

Сейчас еще нет возможности в полной мере заменить печатную форму распространения информации электронной, так как отсутствуют необходимые технические средства, а также лингвистические и математические методы автоматического анализа и синтеза фактографической текстовой информации. Эти методы еще только разрабатываются. С другой стороны, обычные библиографические ИПС, выдающие в ответ на запрос перечни заглавий документов с их краткими общими аннотациями, уже не обеспечивают потребностей практики, так как не освобождают ученых и практических работников от необходимости просмотра большого объема источников, выданных ИПС.

Основным методом обеспечения точности и гибкости применения языка НОРМИН в АФИЛС является структуризация входных документов (и машинных записей), т. е. разделение их на пункты и подпункты, и унификация предложений путем использования стандартных типовых оборотов и выражений, а также ключевых слов. Эти структуризация и унификация должны выполняться для каждой конкретной области применения НОРМИН. Примерами таких областей могут служить:

- поиск рефератов по научно-исследовательским отчетам;
- поиск аннотаций статей, книг (по главам), докладов и т. п.; поиск эпикризов историй болезней;
- поиск инструкций по применению медикаментов;
- поиск алгоритмов и программ по их описаниям в фонде алгоритмов и программ и т. д.

На основе единой формы бланка поискового образа документа (ПОД) для каждой из этих областей разрабатывается своя модификация бланка с уточнением смысла и назначения отдельных пунктов и подпунктов и определением для них наборов стандартных выражений и дескрипторов. В процессе индексации документов и заполнения бланков ПОД могут происходить пополнение стандартных выражений и дескрипторов и определение конкретных значений этих дескрипторов и других терминов.

Стандартные выражения и дескрипторы, а также другие использованные термины и выражения (законченные понятия) заносятся в тезаурус АФИЛС. При этом в текстовый словарь заносятся в виде отдельных дескрипторов типовые выражения (устойчивые словосочетания), представляющие законченные понятия» Следует заметить, что устойчивые словосочетания (как было сказано в описании языка НОРМИН) пишутся через дефис.

Таким образом, отдельные термины и установившиеся словосочетания (выражения, представляющие типовые понятия) будут иметь свои коды дескрипторов (КД) и выступать в кодовом словаре как отдельные дескрипторы. Естественно, что одно и то же выражение в различных падежах, а также синонимичные выражения будут иметь один и тот же КД.

Заметим, что благодаря тому, что в языке НОРМИН используются прилагательные, причастия и порядковые числительные в сокращенной форме (без окончаний), в большинстве случаев изменения выражений по падежам изменяется окончание только у одного существительного. Это обстоятельство приводит к существенной экономии памяти, занимаемой текстовым словарем (по сравнению со случаем, если бы изменялись все окончания слов выражения).

Рассматривая возможности применения системы НОРМИН в различных областях, необходимо особо остановиться на возможности использования языка НОРМИН в качестве основы для построения общего нормализованного языка медицинской и медико-технической информации для ряда естественных языков (русского, английского, французского, немецкого и др.).

Создание подобного нормализованного языка для ряда естественных языков будет иметь большое значение для повышения эффективности обмена информацией в международном масштабе. На основе нормализованных языков можно будет создать международные фактографические информационные системы по отдельным, наиболее важным проблемам (по онкологии, сердечно-сосудистым заболеваниям и др.). Указанные системы будут осуществлять накопление, анализ и поиск фактографической информации по данной проблеме, учитывать приоритеты и вклады ученых и организаций, выявлять общие вопросы и взаимные связи между различными исследованиями, учитывать ход, состояние и перспективы развития работ.

Для обеспечения выполнения подобных работ в АФИЛС должны вводиться полные и точные новые данные, имеющиеся в публикациях, научных отчетах и сообщениях. Принципиальной особенностью указанных систем является диалоговое взаимодействие (информационный симбиоз) человека и ЭВМ при поиске, вводе и анализе данных и принятии решений (постановке гипотез, формулировке выводов). Указанные системы будут способствовать не только повышению эффективности работы исследователей, но и лучшему планированию и организации работ в международном масштабе. АФИЛС будут автоматически сопоставлять вновь вводимые данные с аналогичными ранее введенными данными и выявлять связи и различия в описаниях тем, методик, результатов, а также отсутствующие аспекты во вновь вводимых описаниях.

Интересно заметить, что 20 лет назад на международном симпозиуме «Communication in Science», проводимом США Foundation в докладе Herbert Menzel (New York University), отмечались такие преимущества обмена научной информацией путем личных связей между учеными по сравнению с получением информации из публикаций:

- а) целенаправленность и активная форма;
- б) селективный отбор содержания и формы изложения с учетом конкретных интересов адресата;
- в) направление информации одному ученому, полученной в результате отбора, анализа и синтеза другим ученым, т. е. в готовом для использования виде;
- г) приспособление информации (по отбору данных, языку, примечаниям) к конкретному потребителю (практику, теоретика, экспериментатору и т. д.);
- д) передача с необходимыми деталями и пояснениями (know — how);
- е) наличие обратной связи, ответственности и возможностей уточнения.

Перечисленные свойства личного обмена информацией могут быть реализованы с помощью рассматриваемой нами АФИЛС, которая, кроме того, будет обладать новыми возможностями автоматизации анализа и синтеза научных данных.

Следует заметить, что при разработке подобных АФИЛС возникает кажущееся противоречие (парадокс) между огромным объемом информации, накапливаемой (вырабатываемой) в международном масштабе даже по узким, но актуальным вопросам (например, по изотопной диагностике злокачественных новообразований определенных видов), и необходимостью полной и точной записи всей фактической информации из документов в АФИЛС. Однако именно в силу огромного числа документов и необходимо создание указанных АФИЛС.

В обычных ИПС в процессе поисков выдается большое число документов в «сыром» несистематизированном виде, в то время как исследователю нужна систематизированная, конкретная и воспроизводимая информация по конкретным задачам, результатам, методам и т. д. В АФИЛС подобная систематизация будет производиться автоматически и постоянно при каждом вводе новых данных, при этом возможна многократная выдача по многим запросам систематизированных данных. Ясно, что создание АФИЛС требует узкой специализации; по одному какому-нибудь направлению, теме или вопросу должна систематизироваться и вводиться полностью вся имеющаяся информация, т. е. создаваться своя специализированная АФИЛС. Отдельные АФИЛС должны быть информационно совместимыми благодаря единству тезаурусов, принципов построения нормализованных языков, алгоритмов анализа, поиска и обработки. С помощью этих АФИЛС можно будет проводить обобщения фактов и выявление связей не только внутри научной дисциплины, но и между разными научными дисциплинами, причем сами научные дисциплины, проблемы, темы (как уже говорилось выше) будут автоматически формироваться путем концентрации в АФИЛС всей относящейся к изучаемому явлению информации, включая и данные, которые при современном (достаточно формальном) делении науки (например, на дисциплины, проблемы) считаются принадлежащими к разным дисциплинам. Для будущего существенно, что эти АФИЛС будут непрерывно пополняться, обновляться совершенствоваться; их распространение приведет к изменению форм и методов подготовки специалистов и к замене активной и унифицированной формой старой пассивной формы представления и обмена научной информации с помощью публикаций. Этот процесс нужно начинать уже сейчас, несмотря на то, что это потребует огромных затрат и большого времени, а также переучивания кадров.

Перечислим следующие конкретные задачи, которые могут решаться с помощью АФИЛС, основанной на автоматической обработке нормализованных текстов:

- а) автоматическая индексация и классификация вводимых документов, их проверка на новизну и полноту описания, сопоставление с ранее введенными данными, постановка дополнительных вопросов к индексаторам;
- б) точный тематический поиск информации по запросам с учетом смысловых связей между словами предложений в ПОД и ПОЗ;
- в) автоматическое выявление некоторых закономерностей изучаемых явлений, а также зависимостей между методами и результатами, целями и методами, а также между отдельными компонентами методов, целей и результатов;
- г) человеко-машинный полуавтоматический анализ данных в диалоговом режиме на нормализованном языке с целью выявления нового процесса или объекта. Следует подчеркнуть, что во многих случаях, можно использовать человека в качестве наблюдателя, описывающего явление (результат эксперимента, состояние большого и т. п.) на естественном языке, а ЭВМ — для обобщения и анализа этих наблюдений;
- д) человеко-машинный обзор (просмотр и анализ) данных по определенной проблеме и смежным вопросам с целью выработки обобщающей картины и составления обзорной статьи для достаточно широкого круга специалистов. Следует подчеркнуть чрезвычайную важность этого пункта, так как в настоящее время составление научных обзоров является при традиционных формах распространения информации трудным и неблагоприятным делом; составляются они, как правило, поверхностно и не выполняют роли сжатого, точного аналитического изложения в доступной форме состояния всей проблемы и взаимосвязи ее отдельных направлений и вопросов. В то же время в связи с постоянно углубляющейся специализацией и дифференциацией наук необходимость в таких обзорах, предназначенных для ознакомления узких специалистов с состоянием всей проблемы и смежными вопросами, является исключительно большой.

### *Методика применения системы НОРМИН в качестве ИПС по рефератам и тематическим картам научно-исследовательских работ*

**Состав и правила заполнения бланка (ПОД).** Для индексации рефератов научных отчетов, статей, монографий, инструкций, методических писем и других информационных материалов индексатор должен заполнить «Бланк поискового образа документа» (см. с. 140). Бланк ПОД начинается и кончается символами □; он содержит 22 пункта (параграфа) и таблицу стандартных дескрипторов. Четыре пункта (ЕИН, гриф, допуск, форма) используются системой для внутренних служебных целей и не заполняются индексатором. Каждый пункт начинается с порядкового номера, за которым ставится знак #; пункт заканчивается знаком @. Допускается разделение пунктов на подпункты. Каждый подпункт начинается буквой, за которой стоит #, концом подпункта являются начало следующего пункта или знак конца пункта @. Первое предложение считается заголовком подпункта.

Пункты с 5-го по 22-й делятся на две группы. В первую группу входят пункты, заполняемые произвольным текстом; сюда относятся 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 21, 22. Пункты 11, 12, 13, 15, 16 заполняются в соответствии с общепринятой системой библиографических ссылок (см. дальше). При индексации тем НИР пункт 11 служит для записи данных о финансировании работы по годам. Указывается год (двумя цифрами), затем тире и объем финансирования (в тыс. руб.), затем ставится запятая и пишутся данные для следующего года и т. д.

Во вторую группу входят остальные пункты (6, 17, 18, 19, 20), они заполняются обязательно нормализованными фразами по правилам языка НОРМИН.

Пункты бланка входного документа системы НОРМИН имеют фиксированные номера и наименования, указанные на бланке. При индексации тематических карточек и планов НИР в п. 18 (методика) записываются этапы работы по годам, а в п. 19 указываются ожидаемые результаты. При индексации НИР в п. 21 указываются ЕИН предшествующих или смежных тем, отчетов.

Пункт 4 «Данные о вводе» содержит код индексатора — двухзначный номер, который закрепляется за каждым индексатором, код перфораторщицы — двухзначный номер, закрепленный за каждой перфораторщицей. Далее число, месяц и год индексации (например, если индексация проведена 8 февраля 1981 года, то это записывается в соответствующих клетках 81 02 08).

Пункт 5 «Код стандартных дескрипторов» заполняется индексатором после заполнения таблицы стандартных дескрипторов (в правом верхнем углу). Стандартные дескрипторы — фиксированных 32 признака, записанных на бланке ПОД. Наличие определенного признака у индексируемого документа индексатор отмечает, записывая «1» против

соответствующего наименования признака. Если индексируемому документу соответствует несколько признаков, то следует против каждого из них поставить «1».

Пункт 6 «Рубрика и подрубрика» предназначен для классификации документа по тематическому рубрикату, который должен быть составлен заранее для данной предметной области. Рубрики и подрубрики записываются в виде отдельных названий, взятых из рубрикатора, отделенных друг от друга точкой с запятой. Число рубрик и подрубрик не ограничено. В этот же пункт должны быть включены и основные ключевые слова (тематические дескрипторы) — термины, выбранные индексатором для общего отображения содержания индексируемого документа. Эти основные термины должны включать названия болезней, органов, препаратов, наименований приборов, о которых говорится в индексируемом документе, а также объект исследования (вид животного). Названия веществ записываются в том виде, в каком они приведены в источнике. Число ключевых слов 4—8. Название рубрик, подрубрик, основные ключевые слова записываются в именительном падеже через точку с запятой.

В пункте 7 «Заказчик работы» произвольным текстом записывается сокращенное название организации, являющейся заказчиком данной работы (например, ГКНТ).

В пункте 8 указывается организация (отдел, лаборатория), где выполнена работа. Эти данные записываются сокращенными наименованиями или шифрами.

В пункте 9 указываются годы начала и окончания работы, причем первые две цифры не указываются. Например, если работа выполнялась с 1973 г. по 1975 г., то следует записывать 73—75. Если известно лишь время окончания работы, то следует поставить тире и две последние цифры года — 75. Если известно начало, но неизвестен год окончания работы, то ставят тире после двух цифр, означающих год 73 — . Букву «г» и точку ставить не следует.

### *Бланк поискового образца документа АФИЛС НОРМИН*

В пункте 10 записывается сокращенное название библиотеки (например, ГЦНМБ); далее указываются местный инвентарный номер и шифр, если они указаны.

В пункте 11 записываются название журнала, год выпуска, том, номер, страница. Название журнала записывается в кавычках в общепринятом сокращенном виде — однословные названия журналов не сокращаются, например, «Кардиология», «Программирование» и т. д. Далее указываются год выпуска, том, номер, страницы, например, «Тер. арх.», 1973, № 4, с. 25—30. Этот пункт заполняется только для журнальных статей.

Пункт 12 заполняется для всех остальных видов документов, кроме научно-исследовательских отчетов. Указывается место издания — страна, город сокращенно, название издательства записывается в кавычках, год издания. Например: М., «Медицина», 1973.

В пункте 13 «Авторы, руководители и исполнители» полностью указываются фамилии и инициалы. Если авторов несколько, то необходимо перечислить всех. Если работы отечественных авторов помещены в различных иностранных изданиях, то фамилия и инициалы авторов пишутся сначала на русском языке в скобках, а затем фамилия и инициалы — на том языке, на котором напечатана данная работа, например (Иванов С. А.) Ivanov S. A. Фамилии зарубежных авторов, работы которых помещены в русском издании, записываются аналогично — в скобках пишутся фамилии и инициалы на иностранном языке, например (Krasner M. N.) Краснер М. Н. Если в документе приведено одно написание фамилии автора, то только оно и записывается.

Пункт 14 — указывается шифр темы или проблемы и дается ссылка на план, постановление, приказ, которыми задана эта тема.

Пункт 15 — полное наименование работы на русском языке. Для иностранных работ в этом пункте приводится перевод названия работы на русский язык и указывается в скобках язык. Для работ на русском языке язык не указывается.

Пункт 16 — полное название работы на иностранном языке — записывается полностью, как в источнике, кавычки не проставляются. Если индексируемая работа на русском языке, то пункт 16 не заполняется, а название работы записывается лишь в пункте 15.

Пункт 17 «Цель работы». Пункт 18 «Методика». Пункт 19 «Результат исследования». Пункт 20 «Аннотация» должен содержать заключение по индексируемой работе, оценку полноты, новизны и качества ее, рекомендации, а также отражать наличие отзывов и актов.

Пункты 17 — 20 заполняются обязательно нормализованными фразами в соответствии с правилами, указанными в описании языка НОРМИН (§ 4.1). Нужно избегать повторений одних и тех же сведений в различных пунктах. Допускается некоторое дублирование информации, указанной в пунктах 17, 18, 19, 20, в пункте 15 — название работы на русском языке, а также в составе основных терминов в пункте 6.

При заполнении пунктов нормализованными фразами не следует употреблять такие общие слова, как исследование, рассмотрение, изучение, анализ и т. д. Если для записи не хватит места то можно перечеркнуть соответствующее поле, а пункт записать на обороте. В этом случае в начале необходимо проставить порядковый номер пункта, знак #, затем изложить содержание пункта. В конце пункта должен стоять знак @. При необходимости к бланку могут добавляться дополнительные листы.

Если указанный бланк входного документа АФИЛС НОРМИН применяется для ввода данных по тематической (регистрационной) карточке НИР, то необходимо учитывать следующее:

а) в стандартных дескрипторах делается пометка против строки «план»;

б) в служебном пункте «форма» ставятся шифр формы планового или отчетного документа и год. Например:

Тематическая карточка на 1977 г. — ТК-77; форма № 6 на 1977 г. — Ф6—77; этапный отчет за 1977 г. — ЭО-77; окончательный отчет за 1982 г. — ОО—82; корректировка тематической карточки на 1980 г. — КТ—80; корректировка формы № 6; К6—80;

в) в пункте 14 «Шифр темы» указывается шифр темы по плану института. Если это часть темы, то указывается шифр подтемы;

г) в пункте 21 «Отсылка к связанным документам» указываются для предшествующих или связанных тем через точки с запятыми: шифр темы — форма — ЕИН;

д) в пункте 19 «Результаты» записываются ожидаемые результаты и перспективы применения;

е) в пункте 18 «Методика» приводится содержание этапов выполнения НИР по годам или кварталам в зависимости от вводимой в ИПС формы документа (ТК или ф. 6);

ж) в пункте 20 «Аннотация» даются обоснование темы и ее связь с предыдущими, аналогичными или связанными работами данного учреждения или других учреждений.

ЕИН	□	@	Н. обзор	Реферат	Моделир.	Технол.					
Гриф	1#	@	Н. отчет	Методик.	Проект.	Орг. пр.					
Допуск	2#	@	Моногр.	Реценз.	Разраб.	Эконом.					
Форма	3#	@	Статья	Рис: Фото	Програм.	АСУ					
Данные о вводе	Инд.	Пер.	Год	Месяц	Число	@	Сообщен	Граф: таб.	Внедр.	План	
							Дис. док.	Компл.	Экспл.	Акт закл.	
	4#							Дис. кан.	Эксп. ис.	Испыт.	СМ,ГКНТ
КСД	5#							Ин.язык	Теор. ис.	Статист	МЗ СССР
Рубрика; подрубрика; основные ключевые слова ( схема метод.; прибор; болезнь; лекарство; и т.п. )	6#										@
Заказчик работы	7#										@
Организация , отдел, лаборатория	8#										@
Начало-конец работ	9#					@	Библиотека, инв. №, шифр	10 #			@
Название журнала, год, том, №, страницы	11#										@
Страна, город, издательство, год	12#										@
Авторы, руководители и исполнители	13#										@
Шифр темы и ссылка на документ	14#										@
Полное наименов. на русском языке (язык)	15#										@
Наименование работы на иностранном языке	16 #										@
Цель работы	17#										@
Отсылка к связанным документам	21#										@
Сокращения	22#										@ □

Подпись индексатора:

Подпись руковод. группы:

Примечание: Пункты: 18(Методика), 19(Результаты) и 20 (Аннотация, заключение, оценка полноты и качества данных, рекомендации наличие отзывов, актов и- др.) заполняются на обратной стороне бланка и дополнительных листах. После номера пункта (18,19,20) ставится знак # и в конце пункта-знак @

**Методика индексации для АФИЛС.** Индексация для АФИЛС предполагает тщательное изучение исходного документа и составление его нормализованного реферата в соответствии со структурой описанного выше бланка ПОД. Индексация должна осуществляться специалистом в данной узкой области. В дальнейшем, возможно, такая работа будет проводиться самими авторами в процессе написания статей, отчетов или монографий.

Основным методическим принципом индексации является использование нормализованного информационного языка медико-биологической информации для записи научных фактов с последующей автоматической систематизацией этих фактов на основе фактографической модели данной области знаний.

При индексации документов и запросов необходимо выдерживать однообразие в использовании терминов и функциональных слов. Например, слово «осложнение» нужно использовать, когда речь идет об осложнениях болезни или состояниях организма. При осложнениях диагностики или обследований нужно использовать слово «затруднение». Также не следует использовать в подобных случаях такие слова, как «помеха», «маскировка», «шум», «искажение» и т. п. Все эти слова следует заменять одним словом «затруднение».

-Вообще индексаторы должны ознакомиться с соответствующими разделами терминологического словаря АФИЛС и при индексации документов и запросов стараться пользоваться имеющимися в словаре терминами. Однако при этом не следует ограничивать применение новых и важных терминов, встречающихся в документах.

При индексации следует четко различать смысловые связи, например связь *для* (назначение) и связи *с помощью, посредством, по способу, путем, на основе* (средство, метод, способ). Смысловую связь *для* следует использовать, когда речь идет вообще о назначении чего-либо. Если речь идет о конкретных результатах выполненной работы, процедуры, то следует применять подходящую смысловую связь из семантической категории исполнительских связей (60), например прибор для диагностики (вообще); диагностика *с помощью* прибора (в данном конкретном случае).

Однородные члены предложений могут разделяться смысловыми связями «и», «или», «либо», а также запятыми. Следует помнить, что однородные члены предложения должны относиться обязательно к одному и тому же управляющему слову и находиться в одном и том же падеже. При перечислении через запятую последний член перечисления должен отделяться от предыдущего не союзом «и», а запятой. Союз «и» определяет не перечисление, а обязательное совместное использование или наличие обоих компонент.

Индексация для АФИЛС представляет собой процесс четкого сжатого изложения имеющихся в статье, отчете или другом документе основных новых научных фактов и запись их в нормализованном виде — в виде ПОД.

При индексации для ИПС не должны учитываться в данном ПОД:

а) обзорная часть статьи (за исключением новых конкретных фактических знаний);

б) описания известных (взятых из учебников или ранее опубликованных работ) методических, теоретических или экспериментальных данных, установок, методов и т. п. Вместо них должны приводиться ссылки на соответствующие публикации (книги). Если известные методы, установки используются с модификацией, то должна конкретно фиксироваться в данном ПОД только суть модификации (в пунктах «Методика» или «Результаты»). В пункте «Аннотация» нормализованным текстом допускается указание существенных ссылок на данные а) и б). Все конкретные наименования и обозначения (болезней, медикаментов, веществ, машин, приборов, инструментов, учреждений и т. п.), используемые индексатором в составе вводимого в систему документа и отсутствующие в словаре, должны выписываться в отдельный список с указанием против каждого из них более общего термина (класса веществ, машин и т. д.). Эти списки будут учитываться при пополнении словаря. Списки отсутствующих в словаре терминов, введенных в ИПС в составе нового ПОД, выдаются (печатаются) ЭВМ после ввода документов или запросов в ЭВМ и поиска слов в словаре.

Болезни, медикаменты, методы, приборы и другие названия должны записываться, как правило, в единственном числе.

Для обеспечения унификации терминологии при описании диагнозов, медикаментов, медицинских приборов и установок, методов лечения индексаторы должны вести для каждой конкретной области (проблемы, темы) свои узкоспециализированные словари, которые постепенно (по мере накопления) должны включаться в единый машинный словарь (тезаурус). При необходимости в тезаурусе могут производиться изменения, исключаящие или уточняющие ранее введенные термины, но при этом должны автоматически производиться и изменения в информационном массиве документов, хранящихся в АФИЛС. Ввод данных в систему осуществляется поддокументно; при этом для каждого документа (или его автономной части — главы) составляется отдельный ПОД. Данные в ПОД систематизируются по единой структуре пунктов и подпунктов. Помимо общей унификации формулировок пунктов и подпунктов таких, как цель, методика, результат, аннотация, в каждой конкретной области должна осуществляться своя внутренняя унификация способов представлений и типов исследуемых явлений, зависимостей, применяемых методов, приборов, используемых обозначений и терминов. Вся эта информация будет последовательно систематизироваться и фиксироваться в памяти ЭВМ, образуя некоторую фактографическую модель данной области знаний. Каркас модели составляется априорно в виде тематического рубрикатора данной области; модель постепенно уточняется и дополняется в процессе индексации и ввода новых документов.

Фактически построение априорного каркаса фактографической модели области знаний и последующее развитие модели в процессе ввода документов означает систематизацию и стандартизацию информации в данной области знаний, включая методы и средства исследований, способы описания целей и результатов исследований. Таким образом, создание подобных АФИЛС выходит за рамки собственно проблемы автоматизации накопления и поиска научной информации. В основе этой задачи лежит применение нормализованного и стандартизованного языка описания фактов и выводов в каждой конкретной области науки. Этот язык в будущем, по-видимому, будет использоваться не только в автоматизированных системах, но и в обычных публикациях, научных отчетах и других документах. Таким образом, научные документы будут приобретать точность и лаконичность изложения, нормализованную стандартную форму изложения, допускающую машинную обработку, а также однозначный перевод на различные естественные нормализованные научные языки. Этот процесс является неизбежным, но сложным; он потребует длительного времени. Будут создаваться языки для отдельных областей знаний, которые со временем объединятся в единый нормализованный информационный язык науки.

## Глава 5

### АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ

Автоматизация обработки информации о деятельности медицинских учреждений обеспечивает повышение качества управления, оптимальное использование ресурсов, сокращение административно-

управленческого персонала. Основным средством автоматизации информационных процессов являются ЭВМ.

Можно указать четыре основных направления автоматизации обработки данных в здравоохранении:

1) сбор и обработка данных внутри медицинского учреждения, для обеспечения руководства этих учреждений своевременной и достоверной информацией и рационального планирования деятельности учреждений;

2) автоматизация процессов управления в отрасли здравоохранения (в областных, республиканских, ведомственных системах здравоохранения и на союзном уровне);

3) автоматизация сбора и обработки данных в специализированных службах здравоохранения (онкологической, психиатрической, противотуберкулезной и др.);

4) автоматизация сбора и обработки данных в сфере материально-технического снабжения здравоохранения и прежде всего в области медикаментозного обеспечения здравоохранения.

### **5.1. Автоматизация сбора и обработки данных в больничном стационаре**

Современная организация больничной работы характеризуется широким использованием сложной диагностической, терапевтической и другой медицинской техники. Высокая техническая оснащенность и возрастающая специализация отделений, служб и медицинского персонала повышают эффективность лечения и обслуживания больных, но вместе с этим усложняют работу медицинского персонала и повышают стоимость лечения. Современная больница должна рассматриваться как большое производственное предприятие со сложной организацией взаимодействия различных подразделений. В связи с этим важными являются автоматизация сбора и обработки данных в больнице и системный подход к планированию обслуживания и обеспечения лечения больных, контролю работы всех служб и анализу результатов. Организация больницы должна соответствовать возрастающим и изменяющимся задачам, и здесь должны быть использованы методы системного анализа.

Эффективность работы больницы зависит не только от квалификации и численности медицинских работников, наличия необходимой аппаратуры и медикаментов, но и от качества и сроков обработки и передачи медицинской информации. Необходимо, чтобы информация своевременно и в удобной форме была представлена врачам и медицинским сестрам для обеспечения лечебно-диагностического процесса.

Администрация больницы должна своевременно получать соответствующую информацию о движении больных, использовании коечного фонда, наличии запасов медикаментов и других предметов материально-технического снабжения, о кадровом составе больницы с тем, чтобы можно было принимать оптимальные решения по оперативному управлению больницей и планированию ее развития. Все это привело к необходимости создания больничных автоматизированных информационных систем (БАИС), предназначенных для решения лечебно-диагностических задач и обработки учетной, статистической и планово-экономической информации.

Техническая база БАИС включает в себя в основном ЭВМ, работающую в режиме разделения времени и в реальном масштабе времени, связанную сетью терминалов-дисплеев с различными подразделениями больницы.

В составе БАИС обычно выделяют:

1) подсистему сбора и обработки информации о больных (лечебную подсистему);

2) административную подсистему, обеспечивающую учет и планирование работы больницы;

3) подсистему обработки лабораторных данных и результатов электрофизиологических и рентгеновских обследований.

С помощью терминалов в память ЭВМ могут вводиться как числовые, так и текстовые данные, получаемые в различных пунктах больницы или поликлиники. Информация на ЭВМ может запрашиваться также с помощью терминалов. Информацию о больном могут запрашивать врачи перед осмотром больного и во время его, во время конференций, во время операции; необходимые сведения могут запрашивать сестры при выполнении назначений врачей и т.д.

Первые данные о больном вводятся в БАИС еще до его госпитализации, при первом амбулаторном приеме в связи с данным заболеванием; БАИС, по указанию врача, планирует сроки необходимых лабораторных, рентгенологических и других обследований больного, собирает и хранит все результаты и выдает их врачу, осматривающему больного. При госпитализации больного эти данные пополняются направлением на госпитализацию и врачебными комментариями. При первом амбулаторном приеме



больному присваивается так называемый идентификационный номер, включающий пол, его инициалы (Ф.И.О.), год, месяц и день рождения. С помощью такого условного номера данные о любом больном могут быть быстро найдены в памяти ЭВМ без риска их перепутать с данными другого больного. Таким образом формируется и постоянно пополняется машинная история болезни для каждого госпитализированного или амбулаторного больного. Особенностью этой истории болезни является высокая степень оперативности информации, а также ее четкость, определенность и унификация форм представления.

Особое внимание при построении больничных информационных систем уделяется вопросу обеспечения надежности функционирования.

Для этого используются резервирование аппаратуры, технические и программные способы контроля работы. При поступлении новых данных ЭВМ осуществляет их логическую проверку, исключает нереальные значения параметров и запрашивает подтверждение сомнительных данных.

Такие информационные системы помимо непосредственной лечебной работы применяются при подготовке кадров, в частности при разборах случаев болезней, методов лечений, видов осложнений и т.д. Для пользования подобной информационной системой не требуется длительная подготовка персонала. Эти системы удобны для работы врачей и медицинских сестер, в них широко используется обычная текстовая форма представления информации.

При построении подобных систем обеспечивается сохранение врачебной тайны, т.е. разрешается допуск к данным о больных только тем лицам, которым это положено. Вопрос обеспечения конфиденциальности врачебной информации в автоматизированных медицинских системах имеет важное практическое значение. Для получения доступа к определенным данным, хранящимся в памяти ЭВМ, соответствующее лицо набирает свой персональный код или вставляет в специальное отверстие терминала свою персональную кодовую карточку. Все попытки запросов неположенной информации регистрируются ЭВМ с выдачей на печать сообщений о таких случаях.

Лечению больного предшествуют диагностические обследования, позволяющие установить диагноз его заболевания. Определенные стадии обследования, такие, как сбор анамнеза и выполнение типовых анализов, могут быть сделаны перед врачебным осмотром; более того, ряд диагностических исследований при плановом поступлении больного в стационар может и должен быть проведен до поступления больного в стационар. Это может быть выполнено при условии полной преемственности лабораторных, рентгенологических и других исследований между данной поликлиникой и больницей.

Для сбора анамнеза и предварительных сведений о состоянии больного в БАИС широко используется метод типовых вопросников различного профиля (ориентированных на различные классы заболеваний). Получив заблаговременно такой вопросник, больной дома отвечает на перечисленные в нем вопросы, а также выполняет назначенные процедуры.

Вопросники построены в основном с учетом двух возможных видов ответов — «да», «нет». Кроме того, больной может добавлять свои замечания в виде произвольного текста. После заполнения ответов регистрационный бланк и вопросник возвращаются в больницу. Через несколько дней больной получает письмо, содержащее напечатанное ЭВМ приглашение в больницу с указанием времени и места приема. Иногда вместо вопросников применяется прямой диалог больного с ЭВМ с помощью экранных терминалов (дисплеев), установленных в поликлиниках.

После выполнения обследований больной поступает в больницу для лечения. В приемном отделении дежурный врач определяет состояние больного при поступлении в стационар и необходимость в дополнительных срочных мерах, учитывая новую и ранее полученную информацию о больном, взятую из БАИС. Указанная информация с помощью терминала сразу же вводится в БАИС, определяющую врача и сестру, которые будут лечить больного, номер его отделения, палаты и койки. Для контрольных целей дежурный врач устанавливает (по среднестатистическим данным) ориентировочно конечную дату выписки больного. Медицинская сестра приемного отделения дает больному соответствующий вопросник и сообщает ему фамилию лечащего врача и медицинской сестры. После заполнения ответов больным и ввода этих сведений в БАИС формируется первая часть машинной истории болезни стационарного больного. В дальнейшем к этим сведениям добавляются результаты обследований, сведения о состоянии больного, назначения врачей, данные о выполнении назначений и т.д. Следует заметить, что уже перед первым осмотром больного лечащий врач должен ознакомиться с помощью дисплея со всей информацией о данном больном, имеющейся в БАИС. Это позволит ему лучше уяснить состояние больного и наметить диагноз заболевания и план лечения.

Каждый раз при поступлении больного медицинская сестра приемного отделения запрашивает БАИС, имеется ли история болезни этого больного в памяти ЭВМ. Если больной поступает в больницу впервые, то медицинская сестра с помощью клавиатуры дисплея вводит в ЭВМ его регистрационные данные. После ввода и проверки данных ЭВМ выдает сообщение о том, что регистрация больного выполнена. Если пациент находился в этой больнице ранее, то машина сообщает прежние сведения о нем: в каком отделении лечился и по какому поводу. Эта информация учитывается при госпитализации больного.

Машинное ведение истории болезни обычно сочетается с полуавтоматическим ведением бумажных историй болезней. Медицинская сестра приемного отделения сразу же заготавливает папку для сбора информации о больном в течение периода его пребывания в больнице. Эта папка будет играть роль обычной (бумажной) истории болезни. В папку вкладываются все распечатки, выдаваемые ЭВМ, листы регистрации, вопросники с ответами, бланки обследований, данные лабораторных анализов, заключения врачей и т.д. Сюда же записываются фамилии лечащих врача и медицинской сестры, предполагаемая дата окончания лечения. После окончания лечения все эти бумажные документы уничтожаются, но информация остается в так называемом банке данных (в машинном архиве на магнитных лентах и на других носителях-микрофишах), откуда ее всегда можно получить по запросу.

На всех документах, относящихся к больному, а также во всех машинных записях о нем присутствует его идентификационный номер, позволяющий быстро и точно находить в БАИС необходимую информацию.

Параллельное ведение машинных и бумажных историй болезней обеспечивает сохранность информации в случае неисправностей ЭВМ, а также юридическую сторону ведения медицинской документации (подписи врачей). Однако это не приводит к дублированию записей и работы, так как в бумажную историю болезни вкладываются документы, напечатанные ЭВМ; врач только должен их просмотреть и подписать.

Данные о больных хранятся в БАИС в виде банка данных, который состоит из основной части, расположенной в памяти ЭВМ на МД и архива на МЛ и микрофишах. Архив используется для выдачи справок и для периодической ретроспективной обработки. Основная запись истории болезни, хранимая на МД, содержит информацию, которая должна быть доступна в течение нескольких секунд или минут. Архивные записи содержат информацию, обращения к которой совершаются по мере необходимости. В архиве накапливается медицинская и анкетная информация о всех предыдущих пребываниях больного в больнице. Конфиденциальная часть этих данных хранится отдельно с соблюдением упомянутых выше условий. Связь между основной и архивной записями о больном обеспечивается благодаря общему идентификационному номеру. В записях историй болезней допускается использование различных видов буквенно-цифровой информации, причем данные могут храниться как в кодированном, так и в текстовом виде. Стандартные первичные регистрационные данные и результаты обследований обычно хранятся в кодированном цифровом виде, предусмотренном стандартными бланками обследований, вопросниками для сбора анамнеза и т. д.

При заполнении подобных бланков и вопросников допускается дополнение кодированных данных произвольной информацией.

Банк данных, содержащий истории болезней, непрерывно пополняется новыми сведениями. Из этого банка можно получать по запросам как целые истории болезней, так и их определенные части: можно легко находить информацию по любому набору признаков и обрабатывать ее для получения обобщенных выводов; можно выбирать данные по комбинации симптомов физического состояния, по значениям лабораторных данных и по видам диагнозов. Для каждого набора признаков можно получать статистические оценки — абсолютные и относительные значения, средние, максимальные и минимальные значения и характеристики отклонений.

Дополнительными функциями БАИС, связанными с машинным ведением историй болезней, являются следующие.

Регулярно ЭВМ выдает контрольные листы, т. е. списки больных, которые не выписаны до назначенной контрольной даты. Эти листы позволяют привлечь внимание заведующего отделением к данным больным.

С помощью ЭВМ осуществляется оформление назначений лекарств и контроль за их выполнением. Для регистрации назначений лекарств используются предварительно отперфорированные и отпечатанные карты. Когда больному предписывается необходимое лекарство, медицинская сестра вводит определенную перфокарту вместе с перфокартой, содержащей номер больного, в ЭВМ. На основе назначений лекарств, сделанных врачами, ЭВМ составляет дневные заявки на медикаменты для всех

отделений в больничную аптеку, ведет учет назначений лекарств для всех больных, проверяет допустимость доз и сочетаний лекарств, ведет учет расходов и наличных запасов, лекарств в аптеке (см. ниже).

**Машинное ведение историй болезней.** Существующие методики и формы ведения бумажных историй болезней традиционно сложились в соответствии с применяемыми ручными способами заполнения и использования медицинских данных. Бумажная история болезни выполняет в основном две роли: памятных записей врачей, которые дополняют личные впечатления и сведения, хранящиеся в памяти врача, и юридического документа, фиксирующего состояние больного и проводимые медицинские мероприятия. Традиционная история болезни содержит в основном несистематизированную описательную информацию, которая не приспособлена для автоматизированной машинной обработки, поиска ответов на запросы с помощью ЭВМ и выработки оптимальных решений, касающихся диагностики и лечения больного. В связи с этим в течение последних 15 лет в СССР и за рубежом усиленно ведутся работы по созданию машинно-ориентированных форм историй болезней, удобных для заполнения и чтения как врачами, так и ЭВМ, в составе автоматизированных информационных систем медицинского назначения. В СССР наиболее успешно эта работа проводится в Институте кибернетики АН УССР, во Всесоюзном научно-исследовательском институте медицинского приборостроения (ВНИИМП), в Институте сердечно-сосудистой хирургии им. Бакулева, а также в Институте экспериментальной и клинической хирургии Министерства здравоохранения СССР. Основным принципом построения машинной истории болезни является то, что она должна представлять собой типовую стандартную систему записей, входящих основной частью в унифицированный банк медицинской информации, предназначенный для решения разнообразных клинических, статистических и административно-хозяйственных задач в крупной многопрофильной больнице.

Выделяются три основных вида историй болезней: для стационара, для амбулаторно-поликлинического учреждения, для родильно-акушерского учреждения. История болезни стационарного больного должна иметь универсальную часть, включающую общие данные о больном, анамнез и некоторые другие данные, и ряд специализированных частей, соответствующих профилям отделений больниц.

Составной частью системы машинного ведения историй болезней является диалоговый режим опроса больных с помощью автоматизированных вопросников, реализуемых либо на ЭВМ в реальном масштабе времени, либо путем предварительного заполнения больным стандартизованных опросных листов. В указанных листах, как правило, допускаются ответы трех типов: «да», «нет», «не знаю». Благодаря такому характеру ответов можно построить программы обработки ответов на ЭВМ с целью выдачи сжатых сводок ответов больного для анализа врачом и для фиксации их в машинной истории болезни. Машинная история болезни имеет стандартизованную структуру, включающую основные части традиционной истории болезни, представленные в формализованном виде, позволяющем врачу заполнять их с минимальной затратой времени (путем постановки ответов «да», «нет» или цифровых данных). При этом сразу же получается закодированная информация, пригодная для перфорации и ввода в ЭВМ. Эти же данные могут вводиться с помощью клавиатур терминалов экранного типа (дисплеев).

Кроме формализованных частей в машинной истории болезни обязательно должна присутствовать текстовая описательная информация, дающая возможность врачу выразить индивидуальные особенности больного и специфику применяемых методов лечения и диагностики. В этих записях отражаются логика мышления врача и его индивидуальный опыт и подход к данному больному. С целью автоматизации поиска и обработки подобного рода медицинских записей, в первую очередь диагнозов, эпикризов и предписаний врачей, может использоваться система автоматизации обработки нормализованных текстов, описанная достаточно подробно в гл. 4. Подробные и точные текстовые медицинские записи особенно важны в сложных случаях, когда у больного имеется несколько заболеваний или осложнений, что характерно для больных пожилого возраста, удельный вес которых в общем составе больных резко увеличивается за последние годы.

Машинная история болезни должна строиться с учетом общей технологической схемы прохождения больного через все стадии обследования и лечения, и в этом отношении должна быть обеспечена преемственность между историей болезни амбулаторного и стационарного больного.

Идентификационный шифр (номер), полученный больным при посещении врача в поликлинике (профилактическом центре), является общим как для поликлиники, так и для стационара (если больной в будущем будет госпитализирован).

В первую очередь в историю болезни выносятся данные анамнеза, лабораторных анализов, рентгеноскопии. Последующие результаты осмотров, диагностических и лечебных процедур, диагнозы, предписания и т. д. в хронологическом порядке вводятся в историю болезни с помощью терминалов или перфокарт. После выписки больного сжатая сводка основных данных вводится в специальный статистический массив, а полные данные переносятся из текущего накопителя на МД в накопитель на МЛ (в машинной архив) для длительного хранения.

Во время нахождения истории болезни в текущем накопителе (что соответствует периодам амбулаторного или стационарного обследования и лечения больного) она используется для выдачи оперативной информации врачам по следующим основным разделам;

- а) общие данные больного, группа крови, лекарственная переносимость, идентификационный номер, данные анамнеза;
- б) диагнозы, врачебные заключения, включая записи из диагностических кабинетов и лабораторий;
- в) врачебные назначения и сведения о их выполнении и результатах, в первую очередь сведения о лекарствах;
- г) проведенные операции, осложнения, результаты лечения;
- д) все патологические проявления.

Весь текущий файл историй болезней больных данного учреждения должен строиться в виде банка данных с использованием эффективных способов организации поисковых и справочных массивов, обеспечивающих быстроту и надежность поиска данных и их корректировки и пополнения. Этот файл необходим не только для лечебных целей, но и для планирования работы больницы и для административно-хозяйственных расчетов. Основными требованиями к машинной истории болезни являются удобство использования ее непосредственно лечащими врачами и надежность обработки и поиска данных с помощью ЭВМ. Последнее обстоятельство требует периодической выдачи на печать основных данных машинной истории болезни и хранения их в виде бумажных документов на случай выхода из строя ЭВМ и других технических средств, а также применения при ведении машинной истории болезни разветвленной системы логического и формального контроля входных, промежуточных и выходных показателей.

Важным требованием к машинной истории болезни является сочетание полноты информации с селективностью и компактностью выдаваемых ответов. Это достигается за счет иерархической структуризации историй болезни. Программная реализация массива машинных историй болезней может быть осуществлена в виде ИПС, описанной в гл. 4, с использованием методов обработки нормализованных фраз.

Для обеспечения конфиденциальности информации о больных она делится на виды в соответствии с различием в категориях персонала, имеющего доступ к этой информации. Для этих целей применяются специальные жетоны — ключи, вставляемые в терминалы и идентифицирующие личность запрашивающего лица, а также специальные условные шифры или слова, вводимые в ЭВМ с терминалов в виде паролей.

Рассмотрим основные принципы создания машинных историй болезней, разработанные в Институте кибернетики АН УССР.

Первым этапом построения системы сбора и обработки медицинской информации является домашняя обработка формализованных историй болезней (ФИБ), заключающаяся в построении иерархической классификации историй болезней по клиническим профилям и в стандартизации признаков, симптомов, синдромов, диагнозов, методов лечения, методов исследования. Сюда же относятся разработка клинических классификаторов болезней, согласованных с Международным классификатором Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ); разработка номенклатуров лекарственных средств; анализ потоков информации в типовых больницах и определение структуры медицинской информационной системы, в которой будет использована данная ФИБ; обучение кадров и подготовка инструктивно-методических материалов для работы с ФИБ.

Вторым этапом является непосредственное использование ФИБ в практике работы данного лечебного учреждения, связанное с последовательным формированием банка медицинской информации и решением на его основе лечебных, административных и др. задач. Для амбулаторных больных должны применяться в качестве истории болезни формализованные амбулаторные карты (ФАК), обеспечивающие удобство работы врачей амбулаторно-поликлинических учреждений и пригодные для машинной обработки. В ФАК должны фиксироваться данные всех посещений, все диагнозы и врачебные назначения в хронологическом порядке, особенно назначения лекарств и данные о их приеме. Данные

основных лабораторных анализов (мочи, крови, желудочного сока, желчи) должны фиксироваться последовательно, отражая характер их изменения во времени.

Записи о временной и стойкой нетрудоспособности, записи ВКК, ВТЭК, направления на госпитализацию должны быть формализованы и иметь постоянное поле (раздел) ФАК. В ФАК должны переноситься основные сведения из формализованной -амбулаторной карты развития ребенка (ФАКРР). При направлении в стационар из ФАК должны передаваться необходимые сведения в ФИБ. Кроме того, лечащий врач стационара должен иметь возможность запросить любые более подробные сведения из ФАК, если они ему потребуются. Особенности ФАКРР являются большая динамика изменения основных антропометрических показателей, подробный учет прививок и реакций на них, учет особенностей формирования личности ребенка. Формализованная амбулаторная карта диспансерного наблюдения за беременной (ФАК ДНБ) помимо идентификатора и общих данных должна содержать диагнозы перенесенных заболеваний (взятые из ФАК и ФИБ), данные социологических обследований, записи консультаций специалистов и подробные сведения о ходе беременности и родах.

Описанные принципы построения формализованной истории болезни (ФИБ) разработаны под руководством академика АН УССР Н.М. Амосова и профессора А.А.Попова. Эти ФИБ показали свою жизнеспособность и высокую информативность наряду с наглядностью и удобством практической и технической реализации. Как определяет проф. А.А.Попов, ФИБ представляет собой пространственно-временную информационную модель течения болезни у конкретного человека с ее проявлениями компенсаторно-адаптационного характера. ФИБ уже свыше 10 лет успешно используются в клинике грудной хирургии известного хирурга и кибернетика академика АН УССР Н.М.Амосова, в отделении острой коронарной недостаточности и реабилитации НИИ кардиологии им. Н.Д.Стражеско, а также во многих санаториях курортов УССР. Применение ФИБ вместо обычных историй болезней позволяет более эффективно использовать рабочее время и знания врачей, так как при этом сокращается трудоемкость бумажной работы и высвобождается время для обследования больных и анализа получаемой информации.

Формализованные истории болезни вполне совместимы с нормализованным языком медицинской информации типа НОРМИН, так как отдельные пункты ФИБ, а также дополнительные сведения о больном могут записываться на языке НОРМИН, что повысит полноту и точность машинной обработки ФИБ.

На основе перечисленных машинно-ориентированных документов должна формироваться в будущем унифицированная история здоровья гражданина СССР, которая будет содержать всю информацию о здоровье человека, начиная с рождения.

Важным требованием к этой истории здоровья является соблюдение преемственности при обращениях в различные лечебные учреждения и при перемене места жительства, а также высокая надежность хранения информации.

**Справочно-консультационные информационные системы медицинского назначения.** В последние годы развернулись работы по применению ЭВМ для накопления и систематизации медицинских знаний с целью выдачи справок (машинных консультаций) в практической клинической работе и проведения исследований по анализу эффективности различных методов диагностики и лечения. Примером таких работ является создание системы МАРИС (MARIS) в медицинском институте университета ЭМОРИ в г. Атланта (США) [34].

Система предназначена для справочной службы практическим врачам по внутренним болезням (internal medicine) и использует в качестве информационной базы массив записей историй болезней. Эти записи распределены по четырем подмассивам:

- а) приемные данные (заполняемые при поступлении пациента в больницу);
- б) исходный план лечения и обследований, выработанный лечащим врачом;
- в) полный список всех болезней, осложнений и нарушений (аномалий), имевших место у данного больного;
- г) эпикризы выписанных (или переведенных) больных.

Таким образом, к каждому больному относятся четыре документа. Указанные данные заполняются в соответствии с 243 пунктами машинной истории болезни, принятой в упомянутом медицинском институте: 122 пункта относятся к анамнезу, 91 пункт — к физическим и клиническим обследованиям, 30 пунктов — к лабораторным анализам.

Одним из основных принципов отбора и записи данных в информационный массив системы является представление их в исходном (конкретном) виде (до последующего медицинского обобщения или

заклучения). Например, должна вноситься запись «боль в груди», а не «сердечный симптом» или должна делаться запись «давление крови 170/110», а не «гипертония» и т.д.

Исходный план лечащего врача включает перечень критериев, подтверждающих диагноз, перечень назначенных врачом диагностических тестов или процедур, а также описание назначенных терапевтических мер (лекарств, процедур и др.).

Полный список болезней и аномалий пациента состоит из перечня диагнозов основных и сопутствующих заболеваний, осложнений, жалоб, обнаруженных аномалий. Эти данные представляются в описательном текстовом виде и имеют ссылки (прямые и обратные) к общему справочнику базы данных и к соответствующим пунктам раздела исходного плана лечащего врача.

Выписной эпикриз является заключительным документом в системе; он содержит в сжатой форме результаты диагностических тестов, перечень примененных методов лечения и процедур с описанием их результатов.

Основной эксплуатационной характеристикой подобных справочно-консультационных систем является их «мощность», т. е. способность выдавать ответы на определенный круг вопросов. Система должна «понимать», т.е. интерпретировать запросы пользователей (врачей) и выполнять поиск и обобщение данных в массиве для формирования необходимого ответа. Таким образом, «мощность» системы оценивается степенью сложности процедур поиска и обобщения данных в исходном массиве, реализуемых системой. Очевидно, что такие оценки в настоящее время могут быть сделаны в основном интуитивно, на качественном уровне. Например, вопрос: «Какой план лечения должен быть выбран для данного конкретного больного?» — требует значительно более сложного алгоритма анализа информации, чем вопрос: «Какое количество ненормальных результатов имеется, в данном массиве записей историй болезней по данному пункту (тесту)?».

Описываемая система МАРИС обеспечивает поиск индивидуальных историй болезней по заданному набору признаков (поиск клинического прецедента) и, кроме того, выполняет широкий круг запросов, требующих статистической обработки данных, зафиксированных в различных пунктах историй болезней. К числу типовых запросов, реализуемых в системе, относятся:

а) какова частота ненормальных значений по заданным пунктам или комбинациям пунктов анамнеза, физическим или лабораторным обследованиям?

б) Какова частота определенных болезней, нарушений или диагнозов в данном контингенте пациентов?

в) Какие сопутствующие заболевания или нарушения обычно имеют место у пациентов с заданным основным диагнозом?

г) Какие особенности или аномалии в анамнезе, физических или лабораторных тестах были у предшествующих больных с таким же основным диагнозом и общими характеристиками, как и у данного больного?

д) Какие критерии использовали другие врачи для формулировки данного (или подобного) диагноза?

е) Какие диагностические тесты или процедуры назначали другие врачи, столкнувшиеся с аналогичной картиной заболевания?

ж) Какие результаты с нормальными исходами имели место в прошлом при заданных диагностических тестах и процедурах?

з) Какие лечебные методы и меры применялись другими врачами при аналогичных заболеваниях и диагнозах?

и) Какие положительные или отрицательные результаты и исходы имели место при заданных методах и способах лечения?

Система МАРИС была сдана в опытную эксплуатацию в конце 1977 г. Она реализована на ЭВМ фирмы DEC PDP-11/45 с оперативным запоминающим устройством емкостью 232 Кбайта и дисковыми запоминающими устройствами общей емкостью 226 млн. байтов. Программное обеспечение МАРИС работает под управлением операционной системы №11X, разработанной фирмой «Лаборатория Белл» №11X — универсальная многопользовательская операционная система с диалоговым режимом взаимодействия. Язык программирования алголоподобного типа с включением операторов обработки строк и средствами управления базой данных.

Первоначальная база данных включала в себя файлы, состоящие из упомянутых выше четырех типов документов. По мере эксплуатации системы происходило расширение круга решаемых задач и состава базы данных: добавлялись файлы по медикаментам, диагностическим тестам, диагностическим процедурам, методам и способам лечения, а также файл классификатора заболеваний и учебный файл.

Первичные записи вводятся двумя способами: с помощью терминалов в диалоговом режиме заполнения пунктов и с помощью фиксированных бланков, заполняемых автоматически считываемыми отметками.

Исходные записи фиксированного формата с фиксированной длиной пунктов вводятся в первоначальном виде, без преобразований и редактирования. Документы, включающие в себя свободный текст, хранятся в файлах с переменной длиной записей. Пункты со свободным текстом в процессе обработки и использования подвергаются анализу с целью поиска и кодирования ключевых слов. Кодирование осуществляется с помощью машинного словаря, в котором числовые коды присваиваются отдельным терминам и выражениям в простом последовательном порядке. Последнее обстоятельство облегчает использование системы МАРИС в других медицинских учреждениях, в которых применяются свои схемы классификации терминов (понятий). Предусматривается автоматический контроль правильности написания слов; в случае ошибок ЭВМ выдает списки подходящих правильно написанных слов для выбора из них оператором нужного слова и исправления ошибки. Опытная эксплуатация системы МАРИС показала ее работоспособность и эффективность использования. Авторы предполагают осуществить дальнейшее развитие системы МАРИС в следующих двух направлениях:

исследование возможностей автоматической выработки предварительных медицинских эмпирических рекомендаций и правил диагностики и лечения;

исследование возможностей использования МАРИС в качестве источника практических медицинских знаний, соответствующего новейшим тенденциям в медицинском образовании, при стажировке врачей.

Очевидно, что реализация подобных перспективных целей в медицинской информационной системе, потребует включения в нее помимо описанного выше источника медицинских знаний в виде историй болезней пациентов данной больницы также двух других основных источников медицинских знаний: литературных данных и экспертных данных опытных специалистов. В отличие от записей историй болезней конкретных больных, носящих эмпирический характер, последние два источника представляют медицинские знания в более или менее систематизированном (или структурированном) виде. Использование литературных или экспертных медицинских знаний требует более сложной предварительной обработки и отбора материала, чем накопление историй болезней конкретных пациентов. Однако систематизированные литературные и экспертные медицинские данные обеспечивают более глубокий и надежный подход к решению проблемы машинной диагностики и выбора планов лечения, чем простой эмпирический подход, заключающийся в накоплении и обработке конкретных историй болезней. По-видимому, оптимальный путь построения медицинской справочно-консультационной системы должен представлять собой сочетание двух упомянутых выше подходов: систематического и эмпирического.

#### *Обработка данных в приемном отделении и в больничной аптеке*

К числу практических первоочередных задач медицинской кибернетики, решаемых с помощью ЭВМ в крупных многопрофильных больницах, относится задача обработки данных по приему, выписке и перемещению больных и составлению отчетности по использованию коечного фонда больницы.

Основным оперативным документом, отражающим загруженность коечного фонда и движение больных в стационаре, является «Листок учета больных и коечного фонда» (форма № 7), который составляется медицинскими сестрами лечебных отделений и передается в приемное отделение (при обычных неавтоматизированных формах работы). Этот документ содержит суммарные данные по отделению о прибывших, убывших и о находящихся больных за истекшие сутки, о наличии свободных коек, а также персональные сведения о поступивших, выбывших и переведенных больных. На основе этих данных приемное отделение осуществляет работу по приему и направлению больных в отделения, а также составляет ежедневно к 10 час. утра сводную форму № 7 по больнице в целом, которая представляется в кабинет медицинской статистики и главному врачу больницы. Кроме того, состояние коечного фонда отражается в таких нерегламентированных документах как «Листок учета закрытия коек в связи с ремонтом» и «Листок учета перепрофилированных коек». В этих документах указываются количество и номера коек, свертываемых в связи с ремонтом или развертываемых после ремонта, количества и номера мужских и женских коек, подлежащих перепрофилизации.

В приемном отделении ведется «Журнал учета приема больных и отказов в госпитализации» (форма №1), в котором содержатся списки больных с краткими сведениями о них и ведется учет случаев отказов в госпитализации. Этот журнал используется для анализа работы больницы и для ответов на текущие вопросы администрации больницы и вышестоящих органов, связанные с госпитализацией больных. В

приемном отделении составляется «Сводная ведомость учета больных и коечного фонда по стандартным отделениям или профилям коек» (форма № 16), а также рассчитываются показатели, предусмотренные формой «Движение больных и статистические показатели работы больницы».

На каждого выбывшего из больницы составляется «Карта выбывшего из стационара»; в обычном общепринятом варианте эта карта (форма № 266) содержит 14 показателей, а в опытном варианте (форма ВР-185/78/4), предусматривающем более глубокое изучение больничной деятельности, эта карта содержит 66 показателей. В составлении этих карт принимают участие лечебные отделения и приемное отделение, завершающее выписку больных. В приемном отделении формируется архив карт выбывших из больницы.

Исходя из приведенного выше краткого

обзора деятельности приемного отделения определяются следующие основные задачи автоматизации процессов управления движением больных в стационаре:

1. Оперативный учет и выдача сведений о свободных и занятых койках по отделениям.
2. Оформление приема, выписки и перемещения больных, в том числе формирование титульного листа истории болезни и карты выбывшего из стационара.
3. Составление отчетности по движению больных в стационаре и использованию коечного фонда больницы.

Первая задача решается в оперативном диалоговом режиме между дежурной медицинской сестрой приемного отделения и БАИС. При поступлении больного сестра запрашивает БАИС с помощью дисплея о наличии свободных мест (мужских или женских) в соответствующем отделении. Получив ответ, сестра выбирает палату и койку и вводит эти данные, а также анкетные данные больного в БАИС. БАИС производит обработку данных, осуществляет корректировку свободных коек, вводит данные о поступившем больном в соответствующие массивы и печатает два документа: а) титульный лист истории болезни, который вкладывается в обычную историю болезни<sup>1</sup>; б) сопроводительную справку для данного больного, указывающую номер палаты и койки и их расположение (в каком корпусе и на каком этаже). Таким образом, больной оказывается зарегистрированным в БАИС. В дальнейшем эта запись (титульный лист истории болезни) пополняется текущими сведениями о больном (результаты обследований, проведенные операции, осложнения и т.д.).

Периодически БАИС выдает отчетные и статистические сводки по использованию конечного фонда и движению больных в больнице. Кроме того, БАИС на основе указанной входной информации может выдавать периодически и по запросам алфавитные списки больных по отделениям и в целом по больнице, а также расширенную карту выбывшего из больницы.

Диалог медицинской сестры приемного отделения с БАИС при запросе свободных коек проходит с помощью древовидной схемы вопросов, которые задаются БАИС сестре. Сначала запрашивается название (или номер) отделения, затем ставится вопрос о том, какая койка требуется, мужская или женская, затем предлагается выбрать палату, койку и т.д. В тех случаях, когда сестра дает неправильный ответ (ошибочное наименование), БАИС просит повторить ответ и предлагает список возможных правильных ответов.

Следующая группа практических задач обработки информации в больнице относится к больничной аптеке. Здесь имеется в виду автоматизация сбора и обработки данных по обеспечению больницы медикаментами и другими аптечными товарами, в частности:

1) оприходование товаров в аптеке и контроль выполнения заявок аптеки снабженческими органами. По мере расхода товаров должно производиться их пополнение; товары поступают в аптеку еженедельно с центрального аптечного склада в сопровождении пачки нарядов и платежного требования с указанием номера счета, по которому должна производиться оплата через бухгалтерию больницы. Исходными документами для решения данной задачи являются: заявка на аптекарские товары; наряд на полученный товар; платежное требование. Выходным документом БАИС по данной задаче является контрольная таблица, содержащая количества заказанных и поступивших товаров;

2) учет расхода товаров в аптеке.

Аптечные товары распределяются аптекой между отделениями и другими подразделениями больницы в соответствии с установленными лимитами. При этом автоматически осуществляется таксировка требований (расчет стоимости товаров), поступивших из отделений в аптеку, и составляются ведомости

---

<sup>1</sup> На первом этапе создания БАИС историю болезни целесообразно вести традиционным способом, а с помощью ЭВМ оформлять только титульный лист. В дальнейшем по мере накопления опыта работы с БАИС можно постепенно расширять объем машинной обработки истории болезни.



ежедневной выборки медикаментов по отделениям больницы (в количественном и денежном выражении).

Ежедневно из отделений в аптеку поступают требования на аптечные товары, в основном на медикаменты. При работе БАИС эти требования вводятся в ЭВМ с помощью заранее подготовленных наборов перфокарт, хранящихся в отделениях. На перфокартах пробиты шифр отделения, шифр товара, его количество и некоторые другие данные. Для заказа нужного количества товара сестра отделения может скомбинировать несколько перфокарт с разными количествами данного медикамента.

Выходными документами БАИС по этой задаче являются протаксированные требования по отделениям и сводная ведомость дневной выборки товаров по больнице. Эти документы используются заместителем главного врача больницы, который контролирует расход медикаментов отделениями, а также заведующими отделениями и персоналом аптеки;

3) составление аптечной отчетности. На основе информации, полученной при решении двух предыдущих задач, БАИС ежемесячно составляет отчеты о работе аптеки для бухгалтерии больницы. Эти отчеты включают данные о приходе и расходе товаров за месяц в денежном выражении и специальную ведомость учета ядовитых, остро дефицитных медикаментов и спирта. Кроме того, выдаются сведения об остатках медицинских товаров на начало следующего месяца.

В целом весь технологический процесс аптечного обеспечения больницы имеет следующие четыре цикла:

ежедневный расход товаров в аптеке;

еженедельное пополнение запасов и их оприходование в аптеке;

ежемесячная отчетность для бухгалтерии больницы;

ежегодная подача заявок в снабженческие органы и составление отчетности.

В среднем в крупной многопрофильной больнице номенклатура аптечных товаров составляет 3500 — 4500 наименований. Имеется большое количество синонимов и сокращенных наименований или обозначений медикаментов, различных дозировок, единиц измерения, форм упаковок. Кроме того, больницы используют большое количество различных «прописей», т.е. лекарств, приготовляемых самой больничной аптекой по предписаниям врачей отделений. Поэтому требуется проведение кропотливой работы по систематизации указанной информации и построению словарей и шифраторов аптекарских товаров. Последующие задачи подсистемы аптечного обеспечения БАИС включают в себя автоматизацию учета приема медикаментов отдельными больными, автоматический контроль дозировок и совместимости лекарственных препаратов, учет побочных эффектов лекарств, а также индивидуальной восприимчивости больных к определенным медикаментам. Важной задачей этой подсистемы является также справочная функция БАИС по наличному составу медикаментов в аптеке и их возможным заменителям (при отсутствии или нежелательности использования).

## **5.2. Автоматизация процессов управления в здравоохранении**

Рост масштабов и повышение роли здравоохранения в жизни общества, а также непрерывное увеличение средств, вкладываемых в здравоохранение, требуют внедрения автоматизированных систем управления в эту важнейшую отрасль народного хозяйства. В нашей стране созданием и эксплуатацией АСУ здравоохранения занято большое количество учреждений союзного и республиканского подчинения и имеющийся опыт нуждается в систематическом освещении и критическом анализе с тем, чтобы повышать координированность работ, внедрять положительные результаты и избегать ошибок.

Основу оптимального планирования и управления здравоохранением, как и другими отраслями народного хозяйства, должна составлять комплексная модель функционирования и развития здравоохранения, в которой должны быть отражены не только внутренние взаимосвязи в системе здравоохранения между различными ее функциональными частями, но и внешние связи здравоохранения с народным хозяйством и внешней средой.

Вопросы системного моделирования здравоохранения и построение модели здравоохранения разрабатываются под руководством докт. мед. наук Д. Д. Бенедиктова специалистами различных профилей: здравоохранения, математики, кибернетики и др. Эта модель предназначается для использования как общая методологическая основа при построении локальных моделей здравоохранения в союзных и автономных республиках, в областях, городах, а также для общей ориентировки при разработке моделей здравоохранения в разных странах.

Основные черты разрабатываемой модели здравоохранения сводятся к следующему.

Вводятся формализация и типизация функциональной структуры здравоохранения путем определения трех основных функциональных блоков модели (профилактика, лечение, медицинская наука), двух обеспечивающих блоков (кадры, ресурсы) и одного блока управления здравоохранением. Для каждого блока определен набор подфункций, или задач. Например, блок профилактики предназначен для решения следующих проблем: иммунизация населения, массовые медицинские осмотры, медицинское просвещение и др. Блок управления здравоохранением включает сбор и анализ информации о состоянии управляемой совокупности объектов, выработку решений, доведение решений до исполнителей и контроль за выполнением решений, анализ результатов и корректировка решений и т.д.

В модели в формализованном виде представляются взаимосвязи между системой здравоохранения и экономическими, социальными факторами и характеристиками условий внешней среды.

В рассматриваемой модели здравоохранения предусматриваются формализация и стандартизация организационной структуры здравоохранения путем определения основных типов медицинских учреждений и видов административного подчинения этих учреждений руководящим органам. Общее число различных типов медицинских учреждений составляет 113 (больничные стационары, поликлиники, санитарно-эпидемиологические станции, родильные дома, диспансеры и т. д.). В модели представляются два вида подчинения медицинских учреждений: местным (территориальное подчинение) и центральным (отраслевое подчинение) административным органам. Такие виды деятельности системы здравоохранения, как развитие медицинской науки и внедрение ее достижений в практику, а также планирование подготовки кадров — прерогатива центрального органа.

Важной составной частью модели являются матрицы информационных взаимосвязей между:

1) различными функциями и подфункциями (задачами). В этой матрице показываются виды входной и выходной информации для каждой функции и задачи, фиксируются источники и потребители информации;

2) различными типами медицинских учреждений (включая органы управления).

В этих матрицах фиксируются два типа информационных связей: сильные и обычные. К сильным связям относятся регламентированные потоки информации, обусловленные иерархическим подчинением медицинских учреждений, к обычным связям — остальные виды обмена информацией.

В модели реализован общий алгоритм планирования здравоохранения методом последовательных приближений в диалоговом режиме взаимодействия человека и ЭВМ. Разработка и реализация модели осуществляются по этапам. Первый этап предусматривает выработку решений по следующим аспектам: а) планирование подготовки и оптимального распределения кадров медицинских специалистов; б) оптимизация процессов массовых медицинских осмотров населения (при этом ставится задача обеспечить оптимальное соотношение между стоимостью и эффективностью указанных мероприятий); в) определение нормативов и стандартов в системе здравоохранения, обеспечивающих оптимальное соотношение между стоимостью и эффективностью как всей системы, так и ее отдельных секторов или отдельных медицинских учреждений.

Описываемая модель отражает не только статические, но и динамические свойства системы здравоохранения. Определено, что наиболее подходящей единицей приращения модельного времени является 1 месяц. С точки зрения программной реализации комплексная модель строится в виде набора взаимодействующих программных модулей, представляющих отдельные блоки модели («сеть медицинских учреждений», «население», «ресурсы», «кадры», «управление здравоохранением» и др.). Например, предусматриваются три разных модуля для представления заболеваемости: хронические и длительные болезни; острые и инфекционные болезни; отравления и несчастные случаи.

Все население делится на три группы: здоровые, невыявленные больные и зарегистрированные больные. Каждая из групп подразделяется на подгруппы в зависимости от пола и возраста. В результате профилактических мероприятий, массовых медицинских осмотров населения, лечения в стационарах и поликлиниках, иммунизации и других мер происходят переходы населения из одних групп и подгрупп в другие.

На основе описанной модели можно изучать различные варианты отношений между объемом профилактической и лечебной деятельности, влияние уровня технической оснащенности на стоимость и эффективность массовых осмотров, анализировать нормы загрузки медицинского персонала и т. д. Для функционирования модели необходимо задаться и ввести в нее сведения, характеризующие предполагаемые тенденции роста и распределения населения, данные о перспективах развития диагностических и терапевтических средств и их эффективности.

В результате расчетов согласно описанной модели из ЭВМ будет выдаваться набор альтернативных решений по планированию здравоохранения. Окончательный выбор и принятие решений должны осуществляться лицами, ответственными за систему здравоохранения или ее соответствующие участки,

Подобные комплексные модели могут использоваться для количественной оценки уровня здоровья, определения видов и характеристик взаимосвязей системы здравоохранения и других отраслей народного хозяйства, определения эффективных критериев оценки деятельности системы здравоохранения.

Полное построение комплексной модели здравоохранения и реализация на ее основе задач оптимального планирования и управления здравоохранением представляют собой весьма сложную и трудоемкую проблему, которая потребует нескольких лет работы и решения ряда принципиальных методологических вопросов. К таким вопросам следует отнести в первую очередь вопрос о принципах построения единой информационной системы здравоохранения.

Системный анализ показывает, что основными принципами построения информационной системы здравоохранения следует считать единство массивов информации, возможность последовательного укрупнения или детализации данных, сочетание машинных и обычных форм, а также органическую связь информационной системы с процессом принятия решений.

Информационная система в общем случае включает в себя обработку всех видов информации, в том числе выработку оптимальных решений, передачу команд исполнительным органам и контроль выполнения (обратная связь).

Целесообразно проводить классификацию автоматизированных информационных систем в здравоохранении по следующим трем аспектам:

1) по уровням использования: высший—национальный, средний — региональный (ведомственный или отраслевой) и нижний — уровень учреждения (предприятия);

2) по направлениям применения: экономико-административные, технологические (клинические), научно-информационные;

3) по принципам функционирования (фактографические, документальные, комбинированные).

Не имеет смысла говорить вообще об информационных системах в медицине и здравоохранении. Нужно говорить об информационных системах с учетом их уровней использования, направлений применения и принципов функционирования. Приведенная схема классификации предусматривает 27 подразделений. Очевидно, что могут быть предложены более детальные схемы классификации, но для обсуждения принципиальных положений вряд ли имеет смысл усложнять схему классификации.

Необходимо особо подчеркнуть роль статистической информации как основы информационных систем, применяемых в сфере управления. Эта информация должна обеспечить управляющему органу адекватное представление фактического состояния управляемой системы и тенденции ее развития. Основными требованиями к статистической информации являются необходимая широта и глубина охвата, достоверность представления. В связи с этим важное значение приобретают разработка и применение обобщенных критериев оценки состояния систем здравоохранения.

В настоящее время в теории и практике оптимальных решений и вообще в кибернетике имеет место поиск новых возможностей автоматического выбора оптимальных решений неформализованных задач. Повышается роль человеческой интуиции и опыта, и в связи с этим основным методом принятия решений в сложных неформализованных ситуациях считается метод информационного симбиоза человека и ЭВМ.

Для реализации этого метода необходим прежде всего язык общения человека и ЭВМ, удобный для человека и отвечающий требованиям машинной обработки. Создание подобных информационных языков является одним из основных направлений развития современных информационных систем.

В диалоговых человеко-машинных информационных системах не только человек задает вопросы и получает ответы от ЭВМ, но и ЭВМ задает вопросы человеку, а также подсказывает ему, какие вопросы он может и должен задавать. Подобный информационный симбиоз человека и ЭВМ может иметь место не только при решении управленческих задач, но и в процессе научного творчества (при постановке и проверке гипотез, при машинном проектировании и т. п.), в процессе постановки медицинского диагноза и выбора метода лечения и в других областях творческой деятельности. Следует отметить, что реализация подобных режимов работы требует двусторонней адаптации: ЭВМ — к особенностям человека, а человека — к особенностям организации массивов, алгоритмов поиска и обработки данных, к составу и структуре языка общения.

Важнейшей проблемой в области информационных систем здравоохранения, особенно в международном масштабе, является проблема классификации и кодирования информации и унификации терминологии. Следует подчеркнуть неразрывную связь этих сторон единой проблемы. Классификация

и кодирование медицинской информации — это прежде всего медицинская проблема, так как главная трудность здесь не в определении системы цифровых кодов, которые должны представлять то или иное понятие, а в определении самих понятий, их систематизации и унификации. Существующие системы классификации и кодирования медицинской информации могут быть разделены на два типа: ориентированные на статистику; ориентированные на клинические применения.

Сейчас действует международная система классификации болезней, травм и причин смерти девятого пересмотра (ICDA-9).

Предшествовавшие международные системы классификации болезней (ICDA-7, ICDA-8) были ориентированы на задачи статистики. Они обладали рядом недостатков и не отвечали требованиям машинной обработки. Последняя система классификации ICDA-9 также ориентирована в основном на решение статистических задач, но она более приспособлена к условиям машинной обработки. Следует заметить, что общепринятых международных систем классификации и кодирования, ориентированных на клинические применения, пока что не существует. Наибольшее значение в этой области имеют следующие американские системы классификации и кодирования:

HCDA — клинический вариант ICDA; этот вариант используется 6% клиник США;

SNDO — стандартизованная номенклатура болезней и операций; используется 15% клиник США;

CMT—текущая медицинская терминология; используется 4% клиник США;

SNOP — стандартизованная номенклатура болезней; используется 3% клиник США; переведена на шесть языков;

CPT—текущая терминология процедур; используется 1% клиник США.

Наиболее подходящей для клинических применений является система SNOP, которая имеет такие разделы, как этиология, морфология, топография, функция. Структура SNOP и ее состав позволяют успешно применять ее, например, для кодирования диагнозов, причин заболеваний, осложнений, т. е. непосредственно для автоматизации обработки клинической информации.

Необходимо произвести внедрение девятой версии ICDA в информационные системы здравоохранения и вести систематическую постоянную работу по совершенствованию и развитию информационных систем здравоохранения. Необходимы международные системы классификации и кодирования, ориентированные на клинические применения и включающие классификации диагностических и терапевтических методов и процедур, осложнений, объективных оценок результатов лечения и состояния пациентов, медицинских специальностей и профилей.

Такие системы должны строиться теперь на базе ICDA-9 путем ее детализации и учета специфики клинических применений. Наибольшее внимание в этом отношении заслуживает опыт применения усовершенствованного варианта системы SNOP, получившей наименование SNOMED. Важной проблемой, связанной с созданием автоматизированных информационных систем в здравоохранении, является автоматизация процессов кодирования диагнозов. Интересные результаты получены в этом отношении В. А. Литвиновой и Е. И. Дубининой, составившими программы кодирования диагнозов и наименований медикаментов, написанных на языке НОРМИН (см. гл. 4). Создание клинической системы автоматической классификации и кодирования диагнозов, совместимой по высшим классификационным группировкам с международной системой классификации болезней, обеспечит более точное кодирование диагнозов и их сопоставимость при статистической обработке данных в масштабе стран и регионов.

Решение перечисленных принципиальных вопросов построения информационной системы здравоохранения позволит более успешно продвигаться по пути создания комплексной модели здравоохранения и будет способствовать более эффективному решению конкретных задач автоматизации обработки информации, а также облегчит обмен медицинской информацией в международном масштабе.

Ниже рассматриваются конкретные задачи обработки информации в здравоохранении, получившие практическую реализацию.

### **5.3. Автоматизация сбора и обработки данных о лечебной деятельности больничных стационаров**

В условиях централизованного управления сетью лечебно-профилактических учреждений (в масштабе страны, республики, области или в рамках ведомственных систем здравоохранения) большое значение имеет анализ деятельности больничных стационаров. Это обусловлено важной ролью стационаров в сохранении здоровья обслуживаемого контингента населения и значительными расходами на их строительство, содержание и развитие. Предполагается, что в функции центрального органа

управления входят контроль и оценка деятельности стационаров, а также планирование их специализации и развития, распределения денежных, материальных и других ресурсов.

Как известно, лечебная деятельность стационаров определяется прежде всего данными о численности, составе больных, сроках и результатах их лечения.

Анализ показывает, что необходимый для центрального органа управления объем информации о лечебной деятельности стационаров получается с достаточной степенью точности и оперативности путем сбора и централизованной обработки на ЭВМ карт о каждом больном, выбывшем из стационара. Для центрального органа управления нет необходимости получать более подробные данные о всех промежуточных этапах и стадиях пребывания каждого больного в стационар.

Однако для центрального органа оказываются недостаточными годовые, квартальные и даже месячные отчеты стационаров, содержащие суммарные данные о больных, выбывших из стационаров. Оптимальным является вариант ведения централизованного массива карт о каждом выписанном из стационара. Такой массив позволяет оперативно получать в центре не только заранее установленные сводные отчеты, но и любые абсолютные или относительные данные, касающиеся разных стационаров, заболеваний, методов лечения, категорий больных, периодов деятельности и т. д.

Принципы построения подобных систем легче всего уяснить из рассмотрения конкретного примера одной из реализованных систем.

Описываемая автоматизированная система сбора и обработки данных о деятельности больничных стационаров прошла две стадии развития. На первой стадии в качестве первичного документа была принята карта выбывшего из стационара, содержащая следующие 14 признаков: регистрационный номер, специальность (профиль коек), возраст, житель города или села, порядок поступления (экстренно или нет), время доставки, исход заболевания, дата выписки или смерти, число проведенных дней, основной клинический диагноз, патологоанатомический диагноз, название операции, наличие послеоперационного осложнения, метод лечения злокачественных новообразований.

Все эти сведения передаются в ВЦ с помощью аппаратуры передачи данных; от близлежащих стационаров данные передаются в виде Документов и перфорируются в самом ВЦ.

В результате обработки выдаются сводные и сопоставительные таблицы, характеризующие использование коечного фонда и движение больных в стационарах, больничную заболеваемость и летальность, длительность пребывания в стационарах больных туберкулезом органов дыхания, использование различных методов диагностики и лечения злокачественных новообразований, хирургическую деятельность стационаров, состав, сроки и исходы лечения больных, госпитализированных по экстренным хирургическим показаниям.

Программное обеспечение описываемой централизованной системы обработки данных о лечебной деятельности стационаров состоит из трех унифицированных программ:

- 1) контроля входной информации и формирования машинного массива документов;
- 2) формирования и печати таблиц абсолютных и относительных показателей;
- 3) поиска отдельных документов или их групп в машинном массиве по заданным наборам признаков.

Важная роль в обеспечении надежного функционирования данной системы принадлежит автоматизации контроля входной информации. Это связано прежде всего с тем, что в систему непрерывно поступает большое число первичных документов, причем большинство из них поступает по каналам связи от удаленных абонентов.

Программа контроля входной информации и формирования машинного массива документов состоит из пяти основных программ, выполняющих следующие функции: формальный контроль документов, логический контроль документов, печать ошибочных документов с указанием выявленных ошибок, формирование машинного массива из проверенных документов, печать всех включенных в машинный массив документов в виде «квитанций», высылаемых для подтверждения в соответствующие стационары (абонентам).

Формальный контроль документа заключается в проверке соответствия кодов стационара и лица, пославшего сообщение, проверке количества реквизитов в документе, их разрядности, нахождения значений реквизитов в заданных пределах (например, дата 30 февраля невозможна, шифр диагноза не может быть больше заданного числа и т. д.).

Кроме формального существует логический контроль, смысл которого заключается в том, например, что при определенных заболеваниях не могут иметь место операции и послеоперационные осложнения. В общем случае логический контроль состоит в проверке соблюдения смысловых зависимостей, подобных упомянутой выше.

Так, наличие числовых значений одних реквизитов может требовать обязательного наличия числовых значений других реквизитов, если один из реквизитов имеет определенное значение, то некоторые другие могут иметь только определенные значения или, наоборот, не могут принимать определенных значений, или же должны быть обязательно больше (или меньше) некоторых значений и т.п.

Возможно применение и других видов контроля без переделки программы. Программа является унифицированной, т. е. может быть использована для контроля различных документов по различным видам проверок (отношениям между реквизитами). Программа настраивается на контроль конкретных документов с помощью задания, содержащего в табличной форме описание контролируемых соотношений документа.

Ошибки, выявляемые с помощью программы логического контроля, делятся на условные и безусловные. К условным ошибкам относятся случаи появления редких, но, вообще говоря, допустимых отношений между реквизитами. Документы с такими ошибками пропускаются в массив с пометкой «условно» и выдаются на печать для анализа специалистами. Безусловными ошибками являются явно недопустимые соотношения. Документы с такими ошибками в главный машинный массив не включаются, а возвращаются абонентам для исправления. После исправления такие документы вводятся в массив как новые документы. Если же исправляется условная ошибка, то такие документы вводятся в массив с признаками «повторно».

Работой отдельных подпрограмм программы контроля и формирования массива управляет специальный диспетчерский блок, который осуществляет ввод группы документов — сообщения в ЭВМ из периферийного устройства, контроль служебных признаков в сообщении, формирование из сообщения блоков машинных документов, вызов подпрограмм формального и логического контроля и других подпрограмм.

В программе контроля около 5000 общих команд. Эта программа ведет статистический учет ошибок, распределяя их по видам ошибок, источникам получения, периодам работы и т. д. Кроме того, в системе ведется общий учет ошибок, допускаемых на различных стадиях технологического процесса. Анализ ошибок, проведенный в процессе практической эксплуатации описываемой системы, показал, что удельный вес ошибочных документов составляет 1,4%, причем около 1% ошибок приходится на шифровку и перфорацию первичных документов и 0,4% ошибок — на передачу данных по каналам связи и их ввод в ЭВМ. С помощью описанной системы контроля обнаруживается приблизительно 90% ошибок. Остальные ошибки выявляются на заключительной стадии обработки документов, а иногда даже в процессе использования выданных из ЭВМ результатов.

Многолетняя практическая эксплуатация первой очереди системы сбора и обработки карт выбывших из больничных стационаров показала положительные результаты. Регулярно составляется отчетность, создан в памяти ЭВМ многолетний массив карт выбывших из стационаров, обработка которого позволила получить важные выводы по анализу и планированию стационарной медицинской помощи. Повысился общий уровень медицинской статистики и решены общие методические вопросы (кодирование диагнозов, хирургических операций, осложнений и т. д.). В процессе практической эксплуатации указанной системы возросли потребности заказчиков (руководителей лечебно-профилактической службы) к полноте и качеству информации, к глубине анализа больничной заболеваемости и к оценкам деятельности стационаров. В связи с этим объем информации, имеющейся в обычной карте выбывшего из стационара, оказался явно недостаточным, и была разработана и внедрена в ряде стационаров расширенная карта выбывшего из стационара. Эта карта содержит 66 показателей, распределенных по 6 разделам: первый раздел содержит общие данные о выбывшем, второй заполняется в случае летального исхода, третий содержит сведения о хирургических операциях, четвертый — данные о движении больного по отделениям, пятый раздел относится к родильнице, шестой — к ребенку до одного года.

Принципиальными моментами в расширенной карте выбывшего из стационара является:

- а) отражение движения по отделениям стационара с указанием диагноза и количества проведенных дней в каждом отделении;
- б) развернутая характеристика произведенных операций, включающая профиль коек, вид обезболивания, осложнения в ходе операции и после;
- в) расширенное описание определенных контингентов, находящихся в стационаре, а именно детей до 1 года и родильниц.

Пребывание больного в нескольких отделениях стационара, отраженное в расширенной карте, существенно повышает достоверность показателя «средняя длительность лечения по отдельным

нозологическим формам», так как раньше койко-дни учитывались только по одному (основному) заболеванию.

В расширенной карте отражается непосредственная связь диагноза заболевания с профилем коек и длительностью пребывания по поводу каждого заболевания, что существенно облегчает анализ деятельности отделений. Имеющийся в расширенной карте раздел «хирургические операции» позволяет связать произведенные операции с профилем коек, а также рассмотреть применение различных видов обезболивания при разнообразных операциях. Учитываются осложнения, возникающие не только в послеоперационном периоде, но и в ходе операции. Дополнительные признаки, характеризующие в карте детей до 1 года и родильниц, позволяют проводить углубленный анализ родовспоможения и педиатрической помощи.

Исходя из требований, предъявляемых задачами к точности информации, а также с учетом реальных возможностей автоматизированной системы сбора, передачи, хранения и обработки карт выбывших из стационаров разработаны дифференцированные требования к точности информации различных видов. Часть информации должна выдаваться со 100%-ной точностью; это сведения об умерших и количестве фактически развернутых коек. Большая часть сведений машинных отчетов требует точности 2%. Некоторые данные требуют точности 0,5%.

Перечисленные требования к точности информации подкреплены соответствующими звеньями технологической схемы обработки информации. Так, точность данных об умерших достигается тем, что документы на умерших передаются в вычислительный центр дважды: в течение года и в конце года. Требования к точности основной части информации (2%) выдерживаются благодаря техническим возможностям системы.

Совершенствование централизованной системы сбора и обработки данных о выбывших из стационаров потребовало разработки целого ряда классификаторов, кодификаторов и перечней. Это вызвано, с одной стороны, тем, что имеющиеся классификаторы (как, например, перечень хирургических операций, состоящий из 23 операций) перестали удовлетворять требованиям жизни. С другой стороны, появление некоторых классификаторов, как, например, перечень основных врачебных манипуляций, вызвано необходимостью четко определить понятие хирургических операций, отграничив их от смежного понятия врачебных манипуляций. Точно так же введение перечня послеоперационных осложнений позволяет конкретизировать понятие «послеоперационное осложнение», вложив в него строго определенный смысл. Конкретизация понятий «хирургическая операция», «послеоперационное осложнение», «врачебная манипуляция» и других позволяет получить сопоставимые сведения в различных лечебно-профилактических учреждениях, что служит повышению достоверности статистического учета.

Ниже приводится методика заполнения и шифровки расширенной карты выбывшего из стационара, разработанная Н. Т. Ивановой, Л. В. Павловской и А. Г. Твердохлебом.

Карта выбывшего из стационара заполняется на каждый случай выписки, перевода в другой стационар или смерти заболевшего лица, беременной, родильницы, а также лица, оказавшегося здоровым. На выбывшего, находившегося в нескольких отделениях стационара, заполняется одна карта, его перемещения фиксируются в четвертом разделе карты.

На новорожденных, заболевших в родильном доме (родильном отделении), заполняется карта выбывшего из стационара. При переводе заболевшего новорожденного из родильного дома в другое отделение, например детское соматическое, в карте выбывшего указывается: «переведен в другой стационар»; в детском соматическом отделении как на вновь поступившего на него заполняются история болезни и новая карта выбывшего из стационара.

Карта состоит из шести разделов. Первый раздел заполняется на всех выбывших из стационара. Заполнение остальных разделов зависит от возраста, пола, наличия оперативного вмешательства и внутрибольничных переводов у выбывших из стационара. Все признаки карты подразделяются на две части:

предназначенные для передачи в ВЦ и последующей машинной обработки; каждый из этих признаков имеет порядковый номер;

непередаваемые в ВЦ и используемые для работы внутри стационара (фамилия, имя, отчество больного, номер истории болезни).

Заполнение карты производится вписыванием соответствующих Данных (диагнозы, операции др.) или обведением цифровых номеров значений признаков. Лицом, ответственным за выполнение карты, является лечащий врач.

Признак «шифр стационара» шифруется согласно перечню стационаров, который составляется для всей сети стационаров, включенных в данную систему.

Регистрационный номер присваивается карте по выбытии больного из стационара. Карта на первого больного, выбывшего из стационара в отчетном году, получит регистрационный номер 1, на второго — 2 и т. д. Если в составе крупного медицинского учреждения несколько стационаров, каждый из которых имеет самостоятельный шифр, то нумерация карт выбывших из стационара идет независимо по каждому из стационаров. Не допускается присвоение одного и того же регистрационного номера нескольким картам, а также пропуск одного или нескольких регистрационных номеров. Желательно вести нумерацию карт в порядке выписки больных из стационара.

Шифровка признака «дата рождения» осуществляется последовательным вписыванием в соответствующий прямоугольник двух цифр порядкового номера месяца и последних двух цифр года рождения. У детей в возрасте до 30 дней шифруются также час и дата рождения, а у детей до 1 года — дата рождения. Если час, число или месяц выражаются одной цифрой, то впереди добавляется цифра 0. Например, для ребенка в возрасте 29 дней, родившегося 18 января 1978 г. в 4 часа, шифр возраста будет 04 18 01 78, а для взрослого, родившегося в ноябре 1932 года, — 11 32. Шифровка признака «пол» осуществляется обведением цифры 1 или 2.

Признак «семейное положение» заполняется в основном с 18-летнего возраста. Однако, если брак был зарегистрирован до 18 лет, указывается гражданское состояние на момент заполнения карты.

Признак «обслуживаемые контингента населения» состоит из реквизитов «группа» и «подразделение». Реквизит «группа» шифруется согласно приводимому ниже перечню:

работник промышленного предприятия	1
член семьи работника промышленного предприятия	2
рабочие и служащие прочих учреждений	3
военнослужащий	4
инвалид Великой Отечественной войны	5
пенсионер	6
сельский житель	7
прочие	8

Если выбывший из стационара принадлежит одновременно к двум перечисленным группам, например работает на предприятии и является инвалидом ВОВ, то в прямоугольник вписывается одновременно два шифра.

Реквизит «подразделение» шифруется в соответствии с перечнем предприятий и подразделений (цехов), который принят при учете заболеваемости с временной утратой трудоспособности.

Признак «направившее учреждение» состоит из реквизитов «тип учреждения» и «номер учреждения». Реквизит «тип учреждения» шифруется согласно приводимому ниже перечню:

поликлиника	1
детская поликлиника	2
поликлиника по обслуживанию рабочих промышленных предприятий	3
здравпункт (врачебный и фельдшерский)	4
женская консультация	5
родильный дом	6
станция скорой и неотложной помощи	7
диспансер	8
прочие	9

Шифровка реквизита «номер учреждения» производится только в том случае, если имеется несколько лечебно-профилактических учреждений одного и того же типа (например, несколько здравпунктов, заводских поликлиник и др.). Для присвоения учреждениям номеров в конкретных населенных пунктах составляются перечни однотипных учреждений, а затем производится их нумерация.

При заполнении признака «порядок поступления» госпитализацию следует считать экстренной, если больной направлен в срочном порядке для оказания неотложной помощи по витальным показаниям. Госпитализацией обычным порядком следует считать все случаи госпитализации для обследования и лечения больных, за исключением экстренных больных.

Признак «начало заболевания» заполняется только на больных, поступивших по экстренным



медицинским показаниям. Шифровка признака осуществляется последовательным вписыванием в шифровальный прямоугольник двух цифр даты, двух цифр порядкового номера месяца и последних двух цифр года.

Шифровка признака «поступление в приемный покой» осуществляется последовательным вписыванием в шифровальный прямоугольник двух цифр даты, двух цифр порядкового номера месяца и последних двух цифр года поступления больного в приемный покой. Для больных, поступивших по экстренным медицинским показаниям, шифруются час и минуты поступления в приемный покой. Например, поступление больного по экстренным медицинским показаниям в 14 час. 8 мин. 23 февраля 1976 г. будет шифроваться 14 08 23 02 76, а поступление обычным порядком 2 марта 1976 г. будет шифроваться 02 03 76.

При заполнении признака 10 «выписка из стационара» указываются час, дата, месяц и год выписки из стационара (или смерти).

Признак «проведено дней в стационаре» не предназначен для машинной обработки, а поэтому не имеет порядкового номера. Он используется для работы внутри стационара.

Признак «профиль коек» заполняется и шифруется в соответствии с существующим перечнем профилей коек. В случае пребывания больного на койках различного профиля указывают тот профиль, где больной находился по поводу основного заболевания.

Признак «выписан (переведен) для долечивания и наблюдения» отражает преемственность в лечении и наблюдении за больным между стационаром и другими лечебно-профилактическими учреждениями (поликлиникой, санаторием-профилакторием, больницей восстановительного лечения). Под наблюдение врача амбулаторно-поликлинического учреждения могут поступать после пребывания в стационаре не только больные, но и практически здоровые лица, перенесшие инфекционные заболевания (реконвалесценты). Для долечивания в санатории и санатории-профилактории могут также направляться практически здоровые лица после перенесенного острого заболевания.

Признаки «исход заболевания», «выписан для долечивания», «методы лечения больных злокачественными новообразованиями», «обследование на выявление сифилиса» и «обследование на онкозаболевания» шифруются обведением цифровых номеров значений признаков.

Шифровка диагнозов осуществляется в соответствии со «Статистической классификацией болезней, травм и причин смерти», основанной на Международной классификации болезней (МКБ). Шифр диагноза может выражаться пятизначным числом. Обязательным является проставление нуля, стоящего перед диагнозом. Например, стафилококковая септицемия шифруется 038.1, а прерванная беременность — 773. Несчастные случаи, отравления и травмы (класс XVII МКБ, шифруются только по характеру травм).

При заполнении признака «диагноз направившего учреждения» указывается название основного заболевания (или синдрома), по поводу которого больной госпитализируется. При направлении на обследование проставляется шифр 1001.

Заполнение признака «диагноз стационара» с подразделением на основной диагноз, осложнения основного диагноза и сопутствующие заболевания осуществляется только лечащим врачом. Если больной находился в нескольких отделениях, определение основного диагноза происходит в том отделении, из которого больной выписывается. Решающее значение в этом случае имеет тяжесть заболевания. В особо сложных случаях этот вопрос решается заместителем главного врача больницы по лечебной работе.

Шифруется только основное заболевание. Клинический диагноз «здоров» следует обозначить шифром 1000. Бациллоносители, бацилловыделители и реконвалесценты также обозначаются шифром 1000. Пневмония, возникшая не позднее двух недель после острого респираторного заболевания, шифруется 467. Выбывшие из стационара с диагнозом профессионального заболевания шифруются в соответствии с МКБ.

Туберкулез органов дыхания в соответствии с приказом № 361 Министерства здравоохранения СССР от 23 апреля 1974 г. «Об утверждении новой клинической классификации туберкулеза» следует шифровать:

Первичный туберкулезный комплекс	012.0
Туберкулез внутригрудных лимфатических узлов	012.9
Диссеминированный туберкулез легких	011.1
Очаговый туберкулез легких	011.2
Инфильтративный туберкулез легких	011.3

Туберкулема легких	011.4
Кавернозный туберкулез легких	011.5
Фиброзно-кавернозный туберкулез легких	011.6
Цирротический туберкулез легких	011.7
Туберкулезный плеврит (в том числе эмпиема)	012.2
Туберкулез верхних дыхательных путей, трахеи, бронхов и др.	012.3
Туберкулез органов дыхания, комбинированный с пылевыми профессиональными заболеваниями легких	010.0
Остаточные изменения после излеченного туберкулеза легких	019.0

Для больных с активным впервые диагностированным туберкулезом легких в диагнозе добавляется пятая цифра, которая характеризует течение туберкулезного процесса: цифрой 1 обозначается активный туберкулез; цифрой 2 — активный туберкулез в фазе распада (при поступлении в стационар); цифрой 3 — активный туберкулез с распадом и с закрытием полости распада к моменту выписки из стационара. Так, диссеминированный туберкулез легких в фазе распада и с закрытием полости распада к моменту выписки из стационара шифруется 011.13, а с незакрывшейся полостью распада к моменту выписки шифруется 011.12.

При шифровке онкологических заболеваний пятый знак шифра диагноза (вторая цифра после разделительной точки) предназначен для указания стадии процесса. Например, злокачественное новообразование кардинальной части желудка II стадии шифруется 151.02.

При шифровке родов и осложнений послеродового периода (650 —, — 678) пятый знак шифра диагноза предназначен для указания повторности родов: первородящая шифруется цифрой 1, повторнородящая — цифрой 2. Например, роды, осложненные несоответствием размеров таза и плода у первородящей с применением вакуум-экстрактора, шифруется 655.51; роды без упоминания об осложнениях у повторнородящей шифруются 650.02.

Второй раздел карты заполняется только в случае летального исхода. Шифруются диагноз, послуживший причиной смерти, и патологоанатомический диагноз. Диагноз, послуживший причиной смерти, проставляется в стационаре лечащим врачом. Часто этот диагноз будет совпадать с основным диагнозом стационара. Однако в ряде случаев они будут отличаться. Например, больной находится на лечении в стационаре по поводу сахарного диабета. Смерть наступает от острого инфаркта миокарда. В этом случае основным диагнозом стационара будет сахарный диабет, а диагнозом, послужившим причиной смерти, — острый инфаркт миокарда.

Признак «патологоанатомический диагноз» заполняется на основании результатов вскрытия умершего. При задержке патологоанатомического вскрытия карта заполняется и передается по получении результатов вскрытия. Патологоанатомический диагноз построен по образцу врачебного свидетельства о смерти (учетная форма № 246, утвержденная Министерством здравоохранения СССР 12 февраля 1966 г.).

Непосредственной причиной смерти чаще всего является осложнение основного заболевания, которое привело к смерти. Таким осложнением могут быть легочно-сердечная недостаточность, застойная пневмония, кровоизлияние в мозг, уремия, диабетическая кома и др. Непосредственной причиной смерти могут быть также заболевание или травма. Нельзя указывать как непосредственную причину смерти остановку сердечной деятельности и так далее, т.е. механизм наступления смерти.

Основным заболеванием являются те первоначальные заболевания или травма, которые непосредственно или через ряд последующих болезненных процессов вызвали смерть.

Под сопутствующими заболеваниями понимаются прочие заболевания, существующие к моменту смерти, этиологически не связанные с основным заболеванием и его осложнениями.

Например, больной в течение многих лет страдал хроническим бронхитом, вызвавшим эмфизему легких; были выражены явления атеросклеротического кардиосклероза. Умер от легочно-сердечной недостаточности. Непосредственная причина смерти — легочно-сердечная недостаточность. Основной диагноз — хронический бронхит. Сопутствующее заболевание — атеросклеротический кардиосклероз. Шифровка патологоанатомического диагноза осуществляется проставлением шифров одного основного заболевания. Если заболевание (или травма), указанное в строке «непосредственная причина смерти», является одновременно основным заболеванием (например, смерть ребенка от дизентерии), то оно шифруется как основное заболевание.

Раздел III карты заполняется в случае проведения больному одной или нескольких хирургических операций. Предусмотрено место для записи четырех хирургических операций. При заполнении этого

раздела недопустимо пропускать незаполненные строки; первая операция должна быть записана в первой строке, следующая — во второй строке и т. д. Признак 22 заполняется в случае смерти оперированного больного.

Признак «профиль койки» заполняется и шифруется согласно перечню профилей коек. Здесь, как правило, указываются койки хирургического профиля, откуда больной поступил на операцию или куда переведен после операции. Если больной до операции и после нее находился на койках терапевтического профиля, необходимо указывать койки терапевтического профиля.

Заполнение и шифровка признака «операция» производятся в соответствии с классификацией оперативных вмешательств. Имеются также перечень и шифры видов анестезии, необходимые для заполнения признака «анестезия». В случае использования нескольких видов анестезии, например местной инфильтрационной анестезии и масочного наркоза, в шифровальный прямоугольник вписываются два или три шифра. При заполнении признака «осложнения» учитываются осложнения, возникающие в ходе операции и в послеоперационном периоде. Предусмотрено место для записи двух осложнений, одно из которых может быть связано с наркозом. Имеются специальный перечень и шифры осложнений. В случае смерти оперированного больного от операции при наличии нескольких оперативных вмешательств последней указывается та операция, которая явилась причиной смерти. Если смерть больного произошла по причине, не зависящей от операции, последней указывается основная операция.

Раздел IV карты заполняется в случае перевода больного из отделения в отделение внутри стационара. Предусмотрено место для записи сведений о пребывании в четырех отделениях одного стационара. При заполнении не допускаются пропуски незаполненных строк, т. е. сведения о пребывании в первом отделении записываются в первой строке, во втором отделении — во второй строке и т. д.

Раздел V карты заполняется врачом родильного отделения на родильницу. Заполнение происходит путем обведения номеров соответствующих значений признаков.

Раздел VI карты заполняется на выбывших детей в возрасте до 1 года. Этот раздел заполняется также на новорожденных, заболевших в стационаре и находящихся в родильном и других отделениях стационара; на здоровых новорожденных карта не заполняется. Шифровка признаков «вес при поступлении», «вес при выписке» и «рост при рождении» осуществляется путем проставления в соответствующем шифровальном прямоугольнике веса ребенка в граммах и роста ребенка в сантиметрах.

Признаки 2—9 карты заполняются врачом (фельдшером) приемного покоя при поступлении больного. Все остальные признаки заполняются лечащим врачом при выбытии больного из стационара. В случае пребывания больного в нескольких отделениях эти признаки заполняются врачом того отделения, из которого больной выбывает из стационара. Шифровка диагнозов, операций и послеоперационных осложнений производится лечащим врачом одновременно с заполнением карты. Таким образом, лечащий врач полностью отвечает за содержание и шифровку карты. Окончательная проверка правильности заполнения и шифровка карты производится врачом-статистиком.

Заполненные и зашифрованные карты выбывших из стационаров передаются в ВЦ, где они вводятся в ЭВМ, подвергаются формальному и логическому контролю (в соответствии с описанной ранее методикой) и включаются в машинный массив, используемый для формирования регламентированной отчетности и для выработки различного рода аналитических таблиц, характеризующих деятельность стационаров и больничную заболеваемость. Основная отчетность формируется ежегодно, в начале очередного года за прошедший год. Вычислительный центр вырабатывает два вида отчетных статистических таблиц для использования на двух уровнях управления: больницы и вышестоящего административного органа (облздравотдел, министерство здравоохранения республики, ведомственное управление здравоохранения).

Отчетность по каждой больнице высылается вычислительным центром в соответствующие больницы. Эта отчетность включает в себя следующие 13 таблиц (основных).

**Т а б л и ц а 1.** Состав больных, средняя длительность лечения и случаи летальных исходов на койках терапевтического, неврологического, психиатрического, наркологического профпатологического и гинекологического профилей.

**Т а б л и ц а 2.** Состав больных, средняя длительность лечения и случаи летальных исходов на койках хирургического, травматологического, офтальмологического, урологического, стоматологического, инфекционного, туберкулезного и кожно-венерологического профилей.

Т а б л и ц а 3 . Состав больных, средняя длительность лечения и случаи летальных исходов на детских соматических, хирургических, гастроэнтерологических, инфекционных, туберкулезных, кожно-венерологических и отоларингологических койках.

Т а б л и ц а 4 . Распределение поступлений и выписок больных из отделений стационара по дням недели (с месячной, квартальной и годовой периодичностью).

Т а б л и ц а 5 . Расхождения диагноза стационара с диагнозом направившего учреждения и патологоанатомическим диагнозом по основным заболеваниям.

Т а б л и ц а 6 . Анализ хирургической работы стационара (взрослые, подростки, дети до 14 лет).

Т а б л и ц а 7 . Виды анестезии, применяемые при оперативных вмешательствах.

Т а б л и ц а 8 . Сроки доставки в стационар больных, требующих экстренной терапевтической помощи, и случаи смерти.

Т а б л и ц а 9 . Сроки и исходы оперативных вмешательств при заболеваниях, требующих экстренной хирургической помощи.

Т а б л и ц а 10 . Экстренная хирургическая помощь.

Т а б л и ц а 11 . Характеристика детей до 1 года, выбывших из стационара.

Т а б л и ц а 12 . Сведения о новорожденных.

Т а б л и ц а 13 . Характеристика родовспоможения.

На уровень управляющего органа выдаются сводные отчетные статистические таблицы следующего содержания.

Т а б л и ц а 1 . Распределение госпитализированных по полу и возрасту.

Т а б л и ц а 2 . Распределение госпитализированных по группам населения.

Т а б л и ц а 3 . Распределение выписанных больных по срокам пребывания в стационаре.

Т а б л и ц а 4 . Состав больных, средняя длительность лечения и летальность на койках терапевтического, неврологического, психиатрического, наркологического, профпатологического и гинекологического профилей.

Т а б л и ц а 5 . Состав больных, средняя длительность лечения и летальность на койках хирургического, травматологического, офтальмологического, урологического, стоматологического, инфекционного, туберкулезного и кожно-венерологического профилей.

Т а б л и ц а 6 . Состав больных, средняя Длительность лечения и летальность на детских соматических, хирургических, гастроэнтерологических, инфекционных, туберкулезных, кожно-венерологических и отоларингологических койках.

Т а б л и ц а 9 . Расхождения диагноза стационара с диагнозом направившего учреждения и патологоанатомическим диагнозом по основным заболеваниям.

Т а б л и ц а 10 . Расхождение диагноза стационара с диагнозом направившего учреждения и патологоанатомическим диагнозом по учреждениям.

Кроме того, составляется ряд отчетных статистических таблиц по отдельным видам работы больничных стационаров.

Вычислительный центр периодически по запросам производит также узкоспециализированную разработку массива карт выбывших из стационара с целью более глубокого анализа заболеваемости и летальности по определенным нозологическим формам, или в определенных стационарах, или за определенные годы и т. п.

По специальной методике, заложенной в алгоритмы и программы, ЭВМ производит выработку так называемых обобщенных критериев деятельности больничных стационаров. Для обеспечения сопоставимости получаемых оценок все стационары сети разбиты на однотипные группы (по мощности, видам обслуживания, уровню специализации, расположению и т. д.).

Указанные регламентные отчетные данные, специализированные разработки и обобщенные оценки используются управляющим органом и руководством больниц для совершенствования работы больниц и планирования развития стационарной больничной помощи, подготовки кадров с учетом развития лечебно-профилактической сети, внедрения новых организационных форм работы и контроля деятельности больниц, новых методов диагностики и лечения.

Для повышения качества управления стационарами предполагается наряду с усредненными статистическими данными выдавать по отдельным стационарам и отделениям персональные сведения о больных, показатели которых значительно отклоняются от средних значений, а также выдавать на печать вместо полных отчетных таблиц, составляемых сейчас по всем стационарам и нозологическим

формам, таблицы отчетных данных только по тем стационарам и нозологическим формам, которые существенно отличаются от нормы и требуют дополнительного анализа и принятия управляющих решений со стороны центрального органа.

#### **5.4. Автоматизация управления противоэпидемическим обслуживанием населения**

Цель создания подсистемы — повысить эффективность профилактических и противоэпидемических мероприятий для обеспечения дальнейшего снижения инфекционной заболеваемости, рациональной организации деятельности эпидемиологической службы. Подсистема создана под руководством канд. мед. наук Д. А. Селидовкина.

Первая очередь подсистемы включает следующие задачи:

1. Оперативное слежение за инфекционной заболеваемостью с целью оценки интенсивности течения эпидемического процесса на контролируемой территории, выделения вспышек и оказания оперативной помощи учреждениям в расследовании их возникновения и ликвидации.

2. Анализ инфекционной заболеваемости с целью определения особенностей течения эпидемического процесса на контролируемой территории, изучаемых для рационального планирования и обеспечения профилактических и противоэпидемических мероприятий.

3. Оценка состояния иммунизации обслуживаемого населения с целью контроля полноты и своевременности проведения иммунизации.

4. Контроль неотложных противоэпидемических мероприятий при эпидемическом неблагополучии на контролируемой территории с целью анализа эффективности принятых мер и их обоснованности.

Выбор указанных комплексов в качестве первоочередных определяется функциональными обязанностями санитарно-эпидемиологической службы как одного из звеньев системы здравоохранения.

Основными задачами оперативного слежения, текущего и ретроспективного анализа инфекционной заболеваемости являются:

определение характера течения эпидемического процесса на контролируемых территориях;

раннее выявление начала эпидемического неблагополучия и объективная оценка его интенсивности; оценка тяжести эпидемической обстановки;

выявление особенностей течения эпидемического процесса;

оценка эффективности проводимых профилактических и противоэпидемических мероприятий и др.

Показатели, полученные при решении этих задач, используются; в оперативном управлении по ликвидации эпидемического неблагополучия и долгосрочном планировании профилактических мероприятий на контролируемых территориях. Опыт показывает, что решение этих задач сопряжено с определенными трудностями и вызывает необходимость при разработке информационно-медицинского, математического и программного обеспечения выполнения ряда условий и требований теоретического и практического плана.

Первое требование обусловлено тем, что практически все используемые в эпидемиологии понятия и определения являются качественными, при этом допускается большая свобода их выбора и применения. В связи с этим возникает необходимость дать однозначные количественные определения таким известным эпидемиологическим понятиям, как обычный уровень, вспышка, эпидемический подъем и другие, а также ввести ряд новых для эпидемиологии понятий, таких, как контрольный уровень заболеваний, комплексная оценка состояния инфекционной заболеваемости на контролируемых территориях и др.

Разработанные количественные определения базируются на результатах статистического анализа и моделирования временных рядов инфекционных заболеваний, позволяющих представить изучаемый эпидемический процесс в виде моделируемых и немоделируемых составляющих.

Второе требование диктуется необходимостью сбора различных данных, используемых в процессе эпидемиологического анализа и содержащихся в непригодных для машинной обработки документах или вообще ранее нигде не фиксировавшихся.

В связи с этим требуется изменить ряд существующих форм учетных документов, придав им универсальный характер с помощью вкладышей, отрывных талонов и других, а также разработать ряд новых документов для сбора и передачи информации. Группа таких документов служит основой информационной базы АСУ.

Разработанные формализованные аналитические документы были опробованы в процессе опытной эксплуатации путем проведения анализа вручную на фактических данных по репрезентативным

материалам. Результатом анализа являются оценка уровня заболеваемости и характера эпидемической обстановки, определение экономического ущерба, наносимого инфекционными заболеваниями, распределение территорий по степени их неблагополучия и другие показатели. Формализованные документы и схемы эпидемиологического анализа являются медицинским алгоритмом для последующего программирования. Формы выходных документов содержат результаты статистической обработки и элементы логического анализа и предназначены для разных уровней управления (руководитель учреждения, отдела, группы, специалист).

Разработанная система нормированных частных и комплексных показателей, контрольных уровней и оценочных нормативов основана на использовании соотношений распределения Пуассона, метода последовательного анализа Вальда и др. Система указанных показателей позволяет реализовать основной принцип АСУ санитарно-эпидемиологической службы (АСУ-СЭС) — «принудительного» оповещения руководителя о возникновении «управленческой проблемы».

Реализация системного подхода при разработке программного обеспечения предусматривает: разработку единого программного обеспечения на ЕС ЭВМ, состоящего из взаимосвязанных комплексов задач по оперативному, текущему и ретроспективному анализу заболеваемости;

учет возможности непрерывного совершенствования алгоритмов и программ путем использования языков программирования высокого уровня, модульного построения программного обеспечения и введения управляющих параметров, определяющих режим работы;

учет основных факторов, определяющих надежную и простую эксплуатацию задач путем максимальной автоматизации вычислительного процесса, учета возможных ситуаций, обязательного дублирования, обеспечения удобства общения оператора с ЭВМ, использования минимального комплекта технических средств и др.

Опыт эксплуатации первой очереди АСУ СЭС показал правильность принятых принципов ее построения, эффективность разработанных методов решения поставленных задач и целесообразность ее использования в практической работе.

Под управленческой проблемой понимается ситуация, вероятность возникновения которой при обычном течении контролируемого процесса за счет причин чисто случайного характера достаточно мала (менее 5%). Объем и содержание входной и выходной информации определяются характером и масштабами решаемой проблемы, исходя из принципа: чем тяжелее и запутаннее ситуация, тем подробнее информация.

Методики, используемые в процессе решений этих задач, можно разделить на четыре группы: слежение за уровнем контролируемого параметра, комплексная оценка состояния, распознавание образов (характера эпидемического процесса), прогнозирование развития процесса. Эти методики разработаны Г. В. Романовским, Л. Г. Леонтьевой, О. В. Кривенко.

Общим для всех методик является использование системы контролируемых уровней и оценочных нормативов, полученных в результате обработки фактических данных методами математической статистики и теории вероятностей. Такой подход объясняется тем, что элементам физических процессов, как и процессов управления, свойственна изменчивость двух видов: органически присущая данному элементу (физическое состояние заболевшего, качество вакцины, совершенство инструментария и т. п.) и изменчивость, которая может быть доведена до определенного минимума путем совершенствования системы управления (сроки расследования вспышек, норма расхода бактериологических препаратов, графики работы персонала больницы). Принятые в эпидемиологии основные понятия интенсивности течения эпидемического процесса, такие, как спорадическая заболеваемость, групповые заболевания, вспышка, эпидемический подъем, эндемия, эпидемия и пандемия, должны иметь количественные определения, выработанные на основании теоретических предпосылок и их практической интерпретации с использованием методов математической статистики и теории вероятностей.

Степень интенсивности течения эпидемического процесса может определяться с помощью оценочных критериев, разработанных для каждой категории эпидемического процесса. Основными категориями эпидемического процесса с учетом его интенсивности в разработанной системе оперативного слежения за инфекционной заболеваемостью на отдельной контролируемой территории являются обычное состояние, вспышка, эпидемический подъем и превышение многолетнего уровня.

Количественное определение указанных состояний основывается на сравнении фактической заболеваемости с оценочными критериями и контрольными уровнями.

Контрольным уровнем заболеваемости  $K (M_T^0)$  считается верхняя (95,0 или 99,5%) доверительная граница обычного уровня заболеваний, описываемых распределением Пуассона. Под обычным уровнем

( $M_T^0$ ) понимается среднее число заболеваний, определенное за базисный период времени с исключением крупных вспышек. Такой обычный уровень заболеваемости, обусловленный постоянно действующими социально-экономическими факторами и природными условиями на контролируемой территории, считается свойственным данной местности и времени года за изучаемый период.

Методика количественной оценки интенсивности течения эпидемического процесса и выделения вспышек при оперативном слежении за инфекционной заболеваемостью на уровне центрального органа управления основана на сравнении данных о зарегистрированных заболеваниях за истекший день и с начала месяца с системой однодневных, трехдневных и месячных контрольных уровней, в результате чего различаются и устанавливаются три интенсивности и состояния эпидемического процесса: «возможна вспышка», «вспышка» и «заболеваемость превысила месячный контрольный уровень». Контрольные уровни в описываемой системе определялись для 33 нозологических форм в результате статистической обработки фактических данных об инфекционной заболеваемости на контролируемых территориях за последние 5 лет. Обработка проводилась в предположении применимости распределения Пуассона вида

$$p_k = M^k e^{-M} / k!$$

для описания спорадической составляющей и обычного уровня эпидемического процесса, где  $p_k$  — вероятность регистрации случайного числа заболеваний  $k$ ;  $M$  — параметр распределения Пуассона;  $e$  — основание натуральных логарифмов.

Приемлемость этого закона для описания обычной заболеваемости определялась путем обработки статистических данных на основе критерия, известного в математической статистике как критерий хи-квадрат.

В качестве контрольных уровней использовались числа заболеваний за 1 день, 3 дня и 1 месяц, вероятность превышения которых при обычной для данной местности и времени года интенсивности течения эпидемического процесса за счет причин чисто случайного характера, не связанных со вспышкой, была бы достаточно малой, т. е. не превышала 5%:

$$p(k \geq k_y) = 1 - \sum_{k=0}^{k_y} \frac{M^k e^{-M}}{k!} \leq 0,05,$$

где  $k_y$  — заданный контрольный уровень.

Для своевременного обнаружения начала эпидемически неблагоприятных состояний сравнение данных о регистрируемых заболеваниях с контрольными уровнями необходимо производить ежедневно, определяя при этом значения расхождений между ними. В тех случаях, когда расхождения существенны, т. е. распределение фактически регистрируемых заболеваний по дням значительно отличается от принятого пуассоновского распределения с обычной интенсивностью, есть основания считать, что эпидемический процесс перешел в другую категорию.

Значения критериев оценки интенсивности течения эпидемического процесса, используемые для обнаружения эпидемического неблагоприятия на контролируемой территории (каковыми в системе оперативного слежения являются вспышки, эпидемический подъем и превышение многолетнего уровня), определяются в результате статистической обработки:

текущих данных за предыдущие  $T_{\text{инкуб}}$  дней (для обнаружения вспышек и эпидемических подъемов;  $T_{\text{инкуб}}$  — длительность инкубации);

ежемесячных данных за предыдущие 5—10 лет (для обнаружения превышения многолетнего уровня).

Значения критериев оценки текущих данных определяются по материалам регистрации инфекционных заболеваний (по предварительному диагнозу) для каждой контролируемой территории и нозологической формы, подлежащих слежению.

Ежедневные числа заболеваний ( $k_i$ ) за предыдущие  $T_{\text{инкуб}}$  дней суммируют, после чего определяют их среднее значение  $m$  за один день ( $m = \sum k_i / T_{\text{инкуб}}$ ). Вычисление производится ежедневно методом скользящей средней с исключением первого из  $T_{\text{инкуб}}$  и добавлением следующего дня слежения.

Затем по таблицам распределения Пуассона определяют верхнюю доверительную границу для  $m$  с вероятностью 0,95 (95%), которая и будет считаться однодневным контрольным уровнем для обнаружения даты начала вспышки ( $KY_1$ ).

Учитывая случайный характер проявления форм заболеваний в течение эпидемического процесса, при оперативном слежении с ежедневной периодичностью для выделения вспышек используются два критерия: однодневный контрольный уровень  $KY_1$  (определенный для вероятности 0,95) и

многодневный —  $KU_2$ , вычисленный для суммы заболеваний за три и более дней в пределах половины инкубационного периода для вероятности 0,99 (99,0%). Превышение однодневного  $KU_1$  оценивается как «возможна вспышка», а многодневного  $KU_2$  — как «вспышка».

Таким образом, в системе оперативного слежения за инфекционной заболеваемостью под вспышкой понимается увеличение числа заболеваний сверх контрольного уровня текущей обычной заболеваемости с вероятностью не менее 0,99.

Под эпидемическим подъемом заболеваемости в практике часто понимают сезонный подъем или необычно высокий уровень заболеваемости в другие периоды года.

При введении таких понятий, как обычный и контрольные уровни, учитывающие сезонность и статистическое значимое превышение многолетнего уровня, эпидемическим подъемом определяется состояние «затянувшейся» вспышки, что наблюдается при отсутствии разрыва процесса передачи инфекции. В этом случае вспышка перерастает в эпидемический подъем. Критерием перехода из одного состояния в другое служит число инкубационных периодов, определяющих длительность вспышки при антропонозных и зоонозных инфекциях (заразных болезнях животных, передающихся человеку).

В количественном выражении под эпидемическим подъемом инфекционной заболеваемости понимается затянувшееся статистически значимое превышение фактической заболеваемостью контрольного уровня, используемого для обнаружения вспышек. В зависимости от условий, влияющих на эпидемический процесс, повышенное число заболеваний относительно контрольных уровней текущей и многолетней заболеваемости может наблюдаться постоянно в течение всего года или только в отдельные его периоды. В тех случаях, когда повышение фактически регистрируемых заболеваний на основе установленных критериев не трактуется как вспышка, такой подъем может оцениваться как превышение многолетнего уровня.

Критерии оценки для обнаружения превышения многолетнего уровня вычисляются с помощью средней величины обычного уровня заболеваемости по месяцам за ряд лет и таблиц распределения Пуассона для каждой нозологической формы и контролируемой территории, как это делается для обнаружения вспышки.

Таким образом, под превышением многолетнего уровня заболеваемости понимается статистически значимое увеличение регистрируемой заболеваемости за определенный период времени в сравнении с контрольным уровнем обычной заболеваемости.

Для начала работы системы многолетние обычные уровни вычисляются заранее путем статистической обработки данных о заболеваниях за предшествующие 5—10 лет. Число лет, за которые необходимо обработать информацию, определяется частотой регистрации заболеваний в течение года и наличием периодичности. При инфекциях с ежемесячной статистически значимой регистрацией (при отсутствии выраженной периодичности) достаточно произвести расчеты обычного уровня заболеваний за 5 лет. Для редко встречающихся заболеваний и при наличии периодичности с интервалом 3—4 года обычный уровень инфекционной заболеваемости определяется как средняя величина за последние 8—10 лет.

Расчету обычного многолетнего уровня предшествует корректировка исходных данных путем исключения крупных вспышек и больших эпидемических подъемов, а в случаях высокого уровня заболеваемости в течение всего года — исключением его из расчета.

Среднее значение  $M$ , полученное в результате обработки скорректированных данных, считается обычным уровнем заболеваемости:

$$M = \sum K_{\text{мес}} / 5.$$

В работе системы оперативного слежения за инфекционной заболеваемостью используется однодневный многолетний обычный уровень, рассчитанный по формуле

$$m_{\text{мн}} = M/30.$$

Средние значения обычных уровней заболеваемости сглаживаются методом скользящей средней за 30-дневный период.

Обычные уровни заболеваемости устанавливаются и для инфекционных болезней, которые на данной территории не регистрировались в течение ряда лет, но учитываются по форме 85. В этом случае обычный уровень заболеваемости определяется как вероятная величина в Долях единицы, равная одному случаю заболевания, деленному на период отсутствия регистрации данной болезни. Например, при отсутствии заболеваний в течение 5 лет (60 месяцев) обычный уровень определяется как

$$m_0 = 1/60 \approx 0,02.$$



Методика текущей оценки интенсивности течения эпидемического процесса и выделения эпидемических подъемов при оперативном слежении за инфекционной заболеваемостью на уровне учреждения основана на использовании планов последовательного анализа. Для построения такого рода планов применялись количественные оценки среднего и контрольного уровней заболеваемости, характеризующих обычное течение эпидемического процесса на контролируемых территориях по месяцам года. С помощью этих оценок были решены линейные уравнения вида

$$k^0 = \frac{\ln \frac{\beta}{1-\alpha}}{\ln \frac{k_y}{M}} + \frac{k_y - M}{\ln \frac{k_y}{M}} T, \quad k' = \frac{\ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\ln \frac{k_y}{M}} + \frac{k_y - M}{\ln \frac{k_y}{M}} T,$$

где  $M$  — среднее «многолетнее число» заболеваний за рассматриваемый период;  $k_y$  — контрольный уровень обычной заболеваемости;  $\alpha$  — вероятность ошибки первого рода, заключающейся в том, что благополучное в эпидемическом отношении течение эпидемического процесса на основании анализа текущих данных будет оценено как неблагополучное;  $\beta$  — вероятность ошибки второго рода, сводящейся к тому, что неблагополучное в эпидемическом отношении течение эпидемического процесса на основе анализа текущих данных будет оценено как благополучное;  $T$  — время в месяцах. В практике медицинских исследований обычно принимают  $\alpha = \beta = 0,1$ .

Графики этих уравнений делят плоскость плана на три зоны обычного течения эпидемического процесса, неустойчивого благополучия и подъема эпидемических заболеваний. Характер течения эпидемического процесса определяется положением точек графика с координатами  $(\sum k, T)$  текущей заболеваемости на плане, т. е. нахождением его в одной из трех упомянутых выше зон.

Методика комплексной оценки инфекционной заболеваемости и эпидемической обстановки на контролируемой территории основана на использовании для оценки общего уровня инфекционной заболеваемости обобщенного показателя

$$W = f(g_i, \omega_i), i = 1, 2, \dots, n,$$

где  $\omega_i$  — частные показатели инфекционной заболеваемости  $i$ -й болезнью за рассматриваемый период;  $g_i$  — коэффициент эпидемической весомости  $i$ -го частного показателя;  $n$  — число показателей, учитываемых при комплексной оценке инфекционной заболеваемости.

Этот обобщенный показатель  $W$  сравнивается с заранее заданным оценочным числом  $W_{оц}$ .

Для комплексной оценки эпидемической обстановки применяют обобщенный показатель

$$Z = f(z_i), i = 1, 2, \dots, m,$$

где  $z_i$  — частные показатели, характеризующие эпидемическую обстановку на контролируемой территории;  $m$  — число показателей, учитываемых при комплексной оценке эпидемической обстановки. Соответствующий оценочный норматив  $Z_{оц}$  устанавливается на основе статистической обработки соответствующих данных за последние 5 лет. Входной информацией для решения задачи оперативного слежения за инфекционной заболеваемостью являются суммарные данные экстренных извещений по предварительному диагнозу, ежедневно передаваемые из периферийных санэпидстанций в ВЦ Центральной санэпидстанции по каналам телетайпной связи или по телефону. Форма сообщений обеспечивает их непосредственный ввод в ЭВМ для последующей обработки.

В процессе ввода осуществляется входной контроль поступающих сообщений с выдачей квитанций, содержащих распечатки неверных документов с указанием допущенных ошибок и рекомендаций по их устранению. Используемые в процессе обработки оперативной информации средние многолетние данные обычной заболеваемости (без учета вспышек) вводятся в ЭВМ при настройке программного обеспечения (в условиях АСУ-СЭС эти данные получают при решении задачи «Анализ» инфекционной заболеваемости).

Реализованное на ЕС ЭВМ программное обеспечение решения комплекса задач оперативного слежения позволяет выделить 12 состояний эпидемического процесса при 33 инфекционных болезнях и предусматривает возможность настройки алгоритмов слежения в широком диапазоне значений 14 регулируемых параметров, учитывающих конкретные условия.

В результате обработки поступивших данных с помощью ЭВМ ежедневно формируются следующие выходные документы: «Оценка эпидемического состояния»; «Сводка инфекционных заболеваний»; «Полная характеристика эпидемического неблагополучия»; «Характеристика эпидемического неблагополучия» для эпидемиологов (данные о гриппе и ОРЗ печатаются в виде отдельного документа); «Краткая характеристика эпидемического неблагополучия». Указанные документы используются для целей управления эпидемиологическим обслуживанием населения контролируемых

территорий; они рассылаются в периферийные СЭС и используются в Центральной СЭС.

**Особенности расследования вспышек дизентерии с помощью ЭВМ.** Постановка эпидемиологического диагноза наиболее затруднительна при анализе инфекционной заболеваемости и установлении причин возникновения вспышек дизентерии.

Разработку методов, облегчающих анализ этих вспышек и расследование причин их возникновения, целесообразно производить в следующих основных направлениях:

1. Совершенствование системы расследования вспышек путем разработки и внедрения в практику санитарно-эпидемиологических станций и медико-санитарных частей типовых схем описания и методов расследования вспышек с использованием унифицированных форм ' учетно-отчетных документов и статистических методов обработки исходных данных.

2. Разработка методов машинной диагностики типов эпидемических процессов, а также определения наиболее вероятных путей и факторов передачи инфекций.

Из всего многообразия методов распознавания образов для решения этой проблемы представляется целесообразным опробовать методы, основанные на использовании детерминистской логики, логики максимального информационного правдоподобия и логики, основанной на принципе фазового интервала.

Связь признаков с образами может задаваться посредством условных вероятностей или частот встречаемости, определенных в результате обработки данных типовых описаний вспышек с помощью экспертной оценки. По результатам опробования можно сделать выбор метода, дающего наилучшие результаты по решению проблемы машинной диагностики типа эпидемического процесса, и принять решение о целесообразности его практического использования.

**Вопросы количественной оценки состояния иммунизации обслуживаемого населения.** При использовании количественных методов в управлении прививочной работой приходится иметь дело с системой из нескольких показателей, характеризующих различные стороны этого процесса, что создает определенные трудности. Эти трудности устраняются заменой системы частных показателей одним обобщенным. Методика предусматривает использование для комплексной оценки состояния иммунизации и выполнения схемы иммунизации по всем возрастным группам и видам прививок средних взвешенных геометрических показателей вида

$$V = \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n v_k^{\alpha_k}},$$

где  $V$  — значение обобщенного показателя состояния иммунизации;  $v_k$  — частные показатели состояния иммунизации, характеризующие полноту и своевременность иммунизации населения различных возрастных групп;  $n$  — число возрастных групп;  $\alpha_k$  — предельное число прививок на одного человека  $k$ -й возрастной группы (коэффициенты весомости).

Коэффициенты весомости определяются принятой схемой иммунизации, а контрольные нормативы устанавливаются в результате статистической обработки фактических данных за последние 2 года.

## 5.5. Автоматизированный онкологический регистр

Организации онкологической помощи в системе Советского здравоохранения придается очень большое значение. Эта служба охватывает целый ряд разделов, которые связаны с вопросами профилактики, диспансеризации, лечения, санитарного просвещения и т. д.

Изучение закономерностей заболеваемости и эпидемиологии злокачественных новообразований, а также научное обоснование форм организации онкологической помощи возможно осуществить только при четко поставленной регистрации всех вновь выявленных случаев заболеваний, длительном и систематическом наблюдении за больными, прошедшими лечение по поводу злокачественных новообразований.

По данным НИИ онкологии и радиологии МЗ БССР, увеличение контингентов лиц, состоящих на учете в онкологических учреждениях, превышает темпы роста населения страны, и тенденции эти не ослабевают. Большая роль в борьбе со злокачественными заболеваниями отводится эпидемиологии рака, что отмечалось на семинарах Школы по эпидемиологии опухолей в рамках комплексной проблемы

«Злокачественные новообразования» стран — членов СЭВ, которая работала в Онкологическом центре г. Москвы в декабре 1978 г.

Изучение эпидемиологических вопросов неразрывно связано с организацией статистического учета в онкологии. В настоящее время статистическая информация, необходимая для организации противораковой борьбы, получается в СССР на основе постоянно действующей государственной системы регистрации заболеваемости и смертности населения от злокачественных опухолей, а также на основе отчетов о наблюдаемых контингентах больных.

Основными задачами анализа материалов онкологической статистики являются:

- а) определение современного состояния и основных тенденций заболеваемости, болезненности и смертности населения от злокачественных опухолей;
- б) оценка эффективности мероприятий в области профилактики и раннего выявления злокачественных новообразований, лечения и реабилитации онкологических больных;
- в) обеспечение органов здравоохранения оперативной информацией для управления системой противораковой борьбы.

Централизованная обработка материалов об онкологических больных с помощью ЭВМ проводилась в Белорусской, Латвийской, Эстонской и других союзных республиках. Опыт Белорусского НИИ онкологии и радиологии, Ленинградского НИИ онкологии им. проф. Н. Н. Петрова подтвердил необходимость совершенствования методов обработки информации о больных злокачественными новообразованиями с помощью ЭВМ.

Организация онкологической помощи с учетом особенностей профессиональной заболеваемости требует разработки более рациональных организационных форм изучения заболеваемости, смертности и эффективности лечения злокачественных новообразований среди обслуживаемых контингентов, связанных с различными отраслями производства. Одной из эффективных форм сбора и обработки медицинской информации о больных определенного профиля является специализированный медицинский регистр (СМР).

Специализированным медицинским регистром принято считать медицинскую информационно-поисковую систему, предназначенную для оперативного слежения за состоянием больного на всех этапах медицинского обслуживания, анализа эффективности лечебно-диагностических и профилактических мероприятий, оперативного управления всеми видами деятельности лечебно-профилактических учреждений, накопления и обобщения опыта работы в различных областях медицины.

В настоящее время определенный опыт создания и эксплуатации подобных систем, реализованных на ЭВМ, имеется в ряде зарубежных стран (Англия, Швеция, Япония, ФРГ и особенно США). Специализированные регистры используются в таких областях медицины, как онкология, психиатрия, травматология, кардиология, фтизиатрия и др. Первый онкорегистр в США создан в 1941 г.; онкорегистр в Шотландии действует с 1945 г.; с помощью специализированного регистра в Канаде с 1952 г. осуществляется учет детей-инвалидов; в 1960 г. создан первый психиатрический регистр.

Все предпосылки для создания специализированных регистров имеются в нашей стране, особенно в связи с широким распространением диспансерного метода и ведением картотек в лечебно-профилактических учреждениях.

Анализируя зарубежный, а также некоторый отечественный опыт, можно отметить следующие основные моменты в создании и эксплуатации регистров.

В качестве первичного документа для учета случаев заболевания применяется, как правило, выписка из истории болезни. Наиболее удобный метод заполнения первичных документов — проставление ответов простым подчеркиванием в заранее подготовленном бланке. Для исключения дополнительных этапов обработки данных первичные документы должны быть приспособлены для шифровки нужных признаков. Наиболее рациональный способ связи периферийных учреждений с ЭВМ регистра — телеграфные и телефонные каналы связи. Совершенно необходимым этапом обработки данных является контроль и анализ ошибок.

В последнее время наблюдается тенденция к «омоложению» и более агрессивному течению ряда заболеваний, например сердечно-сосудистых болезней, злокачественных новообразований. Поэтому перед здравоохранением стоят новые задачи более углубленного изучения этих заболеваний, выбора оптимальных методов лечения и профилактики.

Наиболее важные работы по созданию онкологического регистра выполнены в НИИ онкологии и медицинской радиологии в г. Минске. Рассмотрим основные положения разработки и внедрения системы

учета, подготавливающей создание онкологического регистра, на основе анализа опыта указанных и других работ.

При создании системы ставятся следующие статистические задачи первой очереди:

- 1) определение уровня заболеваемости онкологическими заболеваниями;
- 2) определение смертности от онкологических заболеваний;
- 3) определение распространенности онкологических заболеваний.

В качестве первичных документов в системе используются извещение о больном с впервые в жизни установленным диагнозом рака или другого злокачественного новообразования и контрольная карта диспансерного наблюдения.

Извещение представляет собой типографский бланк, на который заносится следующая информация: а) паспортные данные больного; б) дата обращения; в) обстоятельства выявления заболевания; г) клиническая группа; д) развернутый диагноз; е) метод подтверждения диагноза; ж) место заполнения извещения; з) лечебное учреждение, куда направлен больной.

Заполнение извещения производится либо вписыванием необходимых данных в соответствующую строку, либо подчеркиванием одного из заранее внесенных в извещение признаков. Эта операция производится в том медицинском учреждении, где впервые устанавливается диагноз. Извещение подписывается врачом, который его заполняет. Затем извещение пересылается в областной онкологический диспансер, где производится его шифровка по соответствующей инструкции.

Контрольная карта диспансерного наблюдения имеет следующие реквизиты: а) название онкодиспансера; б) дата взятия на учет; в) паспортные данные больного; г) развернутый диагноз; д) метод подтверждения диагноза; е) гистологическая структура опухоли; ж) место получения стационарного лечения; з) сведения о стационарном лечении.

На оборотной стороне карты расположены следующие признаки: а) взят на учет с впервые или ранее установленным диагнозом в отчетном году; б) клиническая группа при взятии на учет; в) дата постановки диагноза, госпитализации, смерти или выезда; г) клиническая группа на конец отчетного года; д) обстоятельства выявления заболевания; е) отметки о патронаже или вызове больного; ж) отметки о проведении диспансерных осмотров.

Контрольная карта заполняется врачом-медстатистиком в онкологическом диспансере. В первую очередь контрольные карты используются для повседневной работы диспансера.

На основе извещений и контрольных карт формируется и корректируется в ВЦ массив данных об онкологических больных. Ежегодно он пополняется данными о новых больных с впервые в жизни установленным в данном году диагнозом рака или другого онкологического заболевания. У некоторой части больных наличие онкологического заболевания устанавливается после смерти от других причин. От онкологических заболеваний ежегодно часть больных умирает, и, наконец, из числа состоящих на учете определенная группа больных ежегодно выезжает за пределы территории, на которой действует система.

Один раз в год зашифрованные контрольные карты поступают в ВЦ. Здесь зашифрованные данные вводятся в ЭВМ с помощью либо перфокарт, либо дисплеев. В связи с большой трудоемкостью работы по вводу данных в ЭВМ порядок поступления контрольных карт из разных диспансеров должен быть определен графиком. После ввода в ЭВМ данных с контрольных карт последние возвращаются на места. ЭВМ по специальной программе осуществляет логический и формальный контроль данных.

При шифровке извещений и контрольных карт используются классификаторы локализации и гистологических форм злокачественных новообразований. Каждой локализации злокачественного новообразования присвоен свой шифр, который идентичен таковому в международной классификации болезней. Каждой определенной гистологической форме и определенной органной локализации злокачественного новообразования присвоен свой индивидуальный шифр.

Заметим, что в системе институтов Минздрава СССР создана и работает в экспериментальном порядке программа для ЭВМ, осуществляющая автоматическое кодирование (шифровку) диагнозов заболеваний по их текстовым формулировкам. Внедрение такой программы в практику приводит к сокращению трудоемкости работы по шифровке диагнозов и, самое главное, к повышению единообразия в определении шифров заболеваний.

Результаты обработки информации выдаются в виде таблиц. Ниже приводится состав таблиц для республиканского уровня.

Таблица возрастного распределения заболеваемости дает распределение заболеваемости в абсолютных цифрах, интенсивных, экстенсивных и стандартизованных показателях по локализациям в

зависимости от возраста больных. Таблица выдается отдельно для каждой области.

Таблица сведений о методах подтверждения диагноза показывает зависимость между локализацией опухоли и методами подтверждения диагноза в абсолютных цифрах и в процентах. Таблица выдается по каждому виду лечебных учреждений и суммарная — по всем лечебным учреждениям определенной области.

Таблица распределения заболеваемости по районам дает распределение локализаций злокачественных новообразований по всем районам каждой области в абсолютных цифрах и в процентах по трем контингентам населения: мужскому, женскому и всему населению.

Таблица распределения больных по видам лечебных учреждений, в которые они поступили после установления у них диагноза, в абсолютных цифрах и в процентах по каждой области.

Таблица выявляемости при профессиональных осмотрах дает распределение злокачественных новообразований по локализациям и по каждому району каждой области в абсолютных цифрах и в процентах.

Таблица клинических групп больных в момент установления диагноза показывает распределение злокачественных новообразований по локализации в зависимости от клинической группы для лиц городского, сельского и всего населения каждой области.

Таблица показателей смертности дает распределение локализаций опухолей у больных, умерших от злокачественных новообразований в зависимости от пола по районам.

Таблица методов окончательного подтверждения диагноза дает распределение локализаций злокачественных новообразований по методам подтверждения диагноза в каждом виде лечебных учреждений.

Таблица гистологического строения опухолей дает распределение локализаций злокачественных новообразований в зависимости от гистологической структуры опухоли.

Таблица распределения локализаций опухолей в зависимости от клинической группы больного формируется по районам и по каждой области в целом.

Таблица распределения больных с той или иной локализацией опухоли — по лечебным учреждениям каждого района, в которых они получили стационарное лечение.

Таблица, характеризующая лечение впервые выявленных больных, дает распределение больных с определенной локализацией опухоли и клинической группой по видам лечения.

Такая же таблица составляется для характеристики лечения всех состоящих на учете больных по каждому району и в свод по всем лечебным учреждениям республики.

Таблица распределения больных, имевших противопоказания к специальному лечению и отказавшихся от него в зависимости от причин.

Таблица возрастного распределения больных, имевших противопоказания к лечению, по локализациям опухолей.

Аналогично составляется таблица возрастного распределения больных, отказавшихся от лечения.

Таблица распределения больных с определенной локализацией опухоли по клиническим группам на конец отчетного года.

Таблица, с помощью которой прослеживается судьба больных второй клинической группы, дает распределение этих больных, как живых, так и умерших, в зависимости от локализации опухоли по клиническим группам на конец отчетного года.

Таблица распределения больных с неподтвердившимся диагнозом по возрастным группам в зависимости от предполагавшейся локализации опухоли.

Таблица распределения курабельных впервые выявленных больных, получивших стационарное лечение, по клиническим группам на конец отчетного года в зависимости от локализации опухоли.

После обработки поступившей информации проводится ретроспективный анализ состояния онкологической помощи в республике (определение уровня заболеваемости по районам, областям и по республике в целом, сравнение показателей отдельных лечебных учреждений, а также среднереспубликанских показателей со среднесоюзными). Аналогичным образом проводятся определение и сравнение показателей смертности.

Изучается выявляемость при профессиональных осмотрах, определяется качество лечебно-диагностических мероприятий на различных уровнях обслуживания больных. Изучается распространенность злокачественных новообразований по территории республики. Проводится изучение распределения больных по возрасту, полу, клиническим группам, видам лечения и другим комбинациям признаков.

Анализ состояния онкологической помощи в республике позволяет проводить научнообоснованное планирование объема лечебно-профилактических мероприятий на ближайшие годы. Анализ динамики изменений в состоянии онкологической помощи за ряд лет позволяет с достаточной степенью достоверности определять перспективы развития этой службы. Кроме того, на основании сформированного массива можно проводить углубленное изучение отдельных форм злокачественных новообразований.

Описанная система представляет научный интерес и имеет практическое значение.

Главные онкологи областей, получая информацию в виде определенного комплекса таблиц, проводят анализ состояния онкологической помощи на уровне области, определяют узкие места в работе онкологической службы и мероприятия по их ликвидации.

Определенный интерес представляет возможность получения кроме традиционных показателей (заболеваемость, смертность и т. д.) ряда дополнительных (возрастное распределение больных, отказавшихся от лечения, причины отказа и т. д.), позволяющих дать более точную оценку состояния онкологической помощи.

Положительным моментом также является возможность проведения углубленного изучения отдельных форм злокачественных новообразований.

Из сказанного ясно, что создание онкологического регистра позволяет решать три основные группы задач:

I. Задачи, связанные с формированием отчетных документов и проведением на их основе анализа деятельности онкологических учреждений.

II. Задачи, связанные с изучением заболеваемости, смертности, распространенности онкологических заболеваний; определением качества лечебно-диагностических мероприятий и эффективности профессиональных осмотров на выявление злокачественных опухолей и предопухолевых состояний.

III. Задача слежения за состоянием индивидуальных больных на всех этапах онкологической помощи и выработки рекомендаций по лечению конкретных больных. Эта задача относится ко второй очереди онкологического регистра и связана со сбором и обработкой более детальной информации о больных.

Практическое построение автоматизированной системы для обработки данных об онкологических больных требует выполнения следующих работ и мероприятий:

1. Разработка или выбор готового программного обеспечения для создания информационной базы системы и выдачи отчетных таблиц.

2. Разработка технологии работы с первичной информацией (сбор, кодирование, контроль, перфорация и т. п.).

3. Определение требований к технологическому обеспечению и выбор состава ЭВМ, устройств подготовки и передачи данных, устройств отображения информации. При этом должны учитываться объемы передаваемых и обрабатываемых данных, требуемые сроки обработки и необходимый уровень надежности функционирования системы.

4. Создание правового обеспечения по эксплуатации разрабатываемой системы.

5. Разработка и утверждение должностных инструкций и необходимых методических материалов.

6. Обучение персонала, который будет обслуживать систему на базе ЭВМ.

Информационная база по своей организации на магнитных носителях должна удовлетворять следующим требованиям:

длина отдельных записей должна быть переменной;

количество реквизитов не должно быть фиксированным, что обеспечит возможность совершенствования базы данных;

поступление (ввод) данных не должно зависеть от организации базы данных, т. е. ввод данных не должен отвечать какому-то определенному порядку, а должен осуществляться по мере необходимости;

для всех данных должно осуществляться датирование;

необходимо иметь возможность за весь период наблюдения за больными накапливать данные по одному и тому же больному и соответствующему реквизиту, поступающие в разное время;

для оперативной обработки и вывода информации необходимо данные хранить как в закодированном виде, так и на естественном языке;

целесообразно применять систему автоматического кодирования диагнозов.

**6.1. Возможности применения ЭВМ в диагностике**

Для применения ЭВМ в диагностике и терапии необходимо в первую очередь построение формального (алгоритмического) описания состояния здоровья пациента, т. е. представление его в виде упорядоченного множества элементов (компонентов вектора) и отнесение к определенному классу болезней. Для этого нужно иметь формальное математическое описание классов болезней, что является чрезвычайно сложной задачей ввиду ее многомерности. Следующий шаг — формализация процесса выбора для заданной болезни соответствующего вида лечения или дополнительного обследования, что также требует формализации описаний видов лечений. При этом выборе должна быть обеспечена максимизация значения функции полезности с учетом стоимости (и опасности для больного) различных видов лечения или обследования. Существуют конкретные примеры программ и методов машинной диагностики, а также разрабатываются общие математические и медицинские аспекты этой проблемы.

Можно сделать следующий вывод о состоянии и перспективах машинной диагностики. В настоящее время ЭВМ уже практически применяются при диагностике ряда заболеваний и являются средством, помогающим врачу быстрее и точнее установить диагноз и тем самым иногда сократить или исключить дополнительные сложные обследования и даже операции. Одновременно с решением частных задач во многих исследовательских центрах широко ведутся исследования по общей теории и методологии машинной диагностики. Одной из основных целей автоматизации медицинской диагностики является соединение в единую систему соответствующих медицинских тестов (обследований, анализов, проверок), методики их интерпретации и принятия диагностического решения, а также выбора оптимального пути лечения.

Процесс медицинской диагностики с позиций кибернетики может быть расчленен на ряд стадий:

- а) получение информации о пациенте на основе наблюдений и обследований;
- б) принятие решения на базе собранной информации;
- в) проведение терапевтических мероприятий в соответствии с принятым решением;
- г) повторение (может быть многократное) в необходимых случаях одной или нескольких стадий а), б), в) с соответствующими корректировками.

В свою очередь в общем процессе обработки клинической информации можно выделить ряд типовых подпроцессов: ввод обрабатываемой информации, предварительная сортировка и обработка, структуризация информации (т. е. ее группирование по необходимым аспектам), хранение и поиск информации, логическая и (или) арифметическая обработка, использование информации.

Формы представления медицинской информации, используемой при постановке диагнозов, варьируются в широких пределах. Сюда входят математические символы и формулы, числовые значения скалярных и векторных величин, статистические данные, текстовая информация, документы, графики и изображения фигур, звуковая и голосовая информация. Разнообразие форм и большой объем информации, а также сложность ее анализа и принятия решения требуют широкого привлечения ЭВМ в сферу медицинской диагностики. При этом следует подчеркнуть, что речь не идет о замене врача электронной машиной, а о рациональном сочетании опыта и интуиции врача с возможностями ЭВМ по хранению, поиску и обработке больших объемов информации. Таким образом, ЭВМ должны помочь врачам в решении наиболее сложных и ответственных задач медицинской диагностики и выбора лечения.

Для того чтобы сделать возможным применение математических методов в клинической медицине, необходимо проделать большую работу по уточнению определений клинических параметров и признаков, используемых для диагностики, а также по определению объективных оценок результатов лечения.

Первыми шагами в применении машинных методов диагностики в любой области медицины должны быть тщательный анализ достоверности первичных данных, унификация и конкретизация методов, обеспечение воспроизводимости описаний и определений. Необходимо по возможности избегать использования для оценки результатов лечения таких терминов, как «успешно», «улучшено», «удовлетворительно».

Различные сопоставления и сравнения серий диагностических или терапевтических процедур должны проводиться на основе заранее определенной системы достаточно точных и воспроизводимых параметров. Таким образом, нужно стремиться не только к тому, чтобы иметь больше информации о

состоянии пациента, но и к тому, чтобы иметь больше уверенности в той информации, которая имеется в распоряжении врача.

Рассмотрим несколько характерных примеров кибернетических систем медицинской диагностики. В этом отношении интерес представляет система медицинской диагностики, моделирующая логику врачей, описанная Р. Муном, С. Ярдановым, А. Перецом и Н. Турксемом. Данная методика [27] разработана применительно к острым почечным заболеваниям. Система основана на использовании сетевой базы данных, условных вероятностей заболеваний и симптомов, методики выбора решений с помощью теории размытых множеств. Как уже упоминалось, байесовский подход в чистом виде, несмотря на его успешное применение в ряде областей диагностики, обладает серьезным недостатком, связанным с необходимостью вычисления большого количества условных вероятностей, которые в большинстве случаев могут быть оценены лишь весьма приближенно. Методы статистической классификации (кластерный анализ, метод дискриминантных функций и др.) требуют определенных допущений относительно исходных данных и дают удовлетворительные результаты в тех случаях, когда имеются полные наборы необходимых параметров обследуемого больного. Все эти методы очень трудно применить к больным, страдающим несколькими болезнями.

Успешное продвижение в решении подобных задач связано с применением эвристического подхода, иерархических баз данных и теории размытых множеств. При этом моделируется логика рассуждений врачей, которые, несмотря на использование расплывчатых представлений, часто приходят к правильным диагнозам. В связи с этим желательно объединить сильные стороны математических методов с интуицией врачей. Такое объединение имеет место в описываемой системе дифференциальной диагностики острых почечных заболеваний (ОПЗ). Подобные системы особенно необходимы для медицинских учреждений, где нет узких специалистов по почечным заболеваниям (небольшие больницы, поликлиники и т. д.). ОПЗ представляет собой хороший тестовый материал для проверки работоспособности той или иной системы диагностики, так как большинство признаков и симптомов этого класса заболеваний определяется достаточно четко и носит количественный характер. Кроме того, для указанного класса заболеваний почти всегда оказывается доступным и окончательный точный диагноз, что позволяет проводить необходимые сравнения.

Заметим, что другая машинная диагностическая система ОПЗ была разработана на основе последовательного применения теоремы Байеса. Сравнение двух указанных систем представляет интерес с точки зрения сопоставления эффективности двух различных подходов. Правильная диагностика ОПЗ важна с точки зрения выбора метода лечения и прогнозирования последствий. Каждая болезнь имеет ряд характерных симптомов. Под симптомом обычно понимается какой-то медицинский признак или значение лабораторного показателя. Помножество этих симптомов используется для постановки диагноза. Рациональный процесс постановки диагноза должен обеспечивать получение наибольшей определенности за счет наиболее дешевых и безопасных тестов. Другими словами, все имеющиеся данные о больном должны быть использованы оптимальным образом, прежде чем можно будет запрашивать дополнительные данные. Чисто вероятностный подход к выбору диагноза иногда не приводит к правильным результатам, так как необходимо учитывать не только общие статистические закономерности протекания заболевания, но и индивидуальные факторы, характеризующие данного больного. Необходимо сочетать вероятностный подход с экспертной (эвристической) оценкой врача «степени близости» того или иного диагноза реальным условиям. Такой подход основывается на описанной выше (гл. 2) теории размытых множеств.

В данной диагностической системе используется сетевая база данных, представляющая собой медицинские сведения об определенном классе заболеваний, соответствующих симптомах и тестах для их определения и проверки. Из большого набора различных видов острых почечных заболеваний в данной системе подробно разработана и представлена одна группа почечных заболеваний, включающая в себя 20 видов заболеваний и около 100 симптомов, относящихся к этим заболеваниям. Информационная сеть имеет три типа узлов: заболевания, симптомы, тесты. Узел заболевания содержит наименование заболевания, его сокращенное обозначение и указатели (отсылки) к узлам соответствующих симптомов. Помимо узлов отдельных заболеваний в сеть входят узлы комплексов заболеваний, объединяющих ряд частных заболеваний, связанных отношениями «и» или «или». Примером комплекса заболеваний может служить острый нефрит. Узел симптома содержит наименование симптома, его сокращенное обозначение и числовое значение вероятности встречаемости этого симптома в большом числе наблюдений. От узла симптома идут отсылки к тестам, применяемым для определения этого симптома.



Узел теста содержит наименование теста, значения возможных пределов изменения измеряемых показателей (параметров), стоимость теста, тип теста (из анамнеза, при врачебном осмотре, анализ мочи, рентгенограмма и т. д.) и индекс его надежности. Этот индекс позволяет системе отдавать предпочтение более надежному тесту, если есть расхождения между результатами разных тестов.

В базе данных имеются априорные полные вероятности каждого заболевания, условные вероятности  $p(S_i/D_j)$  появления данного симптома ( $S_i$ ) при некотором заболевании  $D_j$  и условные вероятности  $p(D_j/S_i)$  данного заболевания  $D_j$  при наличии определенного симптома  $S_i$ . Содержатся также весовые коэффициенты  $w_{j,i}$ , характеризующие важность определенного симптома для диагностики данного заболевания.

На основе описанной сетевой базы данных в диагностической системе могут выполняться параллельно два вида вычислений: во-первых, диагностические расчеты на основе теоремы Байеса и, во-вторых, диагностические расчеты на основе теории размытых множеств. Байесовская теорема последовательно применяется к каждому симптому, представленному в системе, по формуле

$$p(D_j/S_i) = \frac{p(D_j)p(S_i/D_j)}{p(S_i)},$$

где  $p(D_j)$  — либо априорная вероятность заболевания  $D_j$ , либо вероятность этого заболевания, рассчитанная на основе первых  $i-1$  симптомов;  $p(S_i)$  — вероятность симптома  $S_i$ , вычисляемая обычно в предположении, что все симптомы являются статистически независимыми, по формуле

$$p(S_i) = \sum_j p(S_i/D_j).$$

Делается допущение, что при отсутствии условной вероятности  $p(S_i/D_j)$  она принимается равной вероятности  $p(S_i)$ . Затем для каждого заболевания  $D_j$  и заданного для пациента набора симптомов ( $S_1, S_2, \dots, S_k$ ) вычисляются приближенные значения вероятностей  $p(D_j/S_1, S_2, \dots, S_k)$  по традиционной байесовской методике.

При использовании теории размытых множеств большинство заболеваний оценивается на основе комбинации соответствующих симптомов, связанных связкой (отношением) «или». Каждый симптом может иметь размытые границы (теоретически размытое изображение) и размытое отображение (переход) на соответствующее заболевание. Это отображение является монотонной неубывающей функцией от  $\mu_s$  (от представимости симптома), которая аппроксимируется линейной функцией с использованием весов  $w_i$ . Эти веса принимаются равными апостериорным вероятностям  $p(D_j/S_i)$ , вычисляемым для отдельных симптомов.

Описанная система реализована на ЭВМ IBM/370-165 с использованием алгоритмического языка СНОБОЛ. В ней применяется диалоговый режим взаимодействия с пользователями-врачами. Проводились тестовые испытания на примере двух заболеваний. Система показала приемлемую работоспособность. В результате обработки были выданы два списка диагнозов (для каждого случая заболевания), при этом правильный диагноз для первого случая был указан на втором месте, а для второго случая — на первом месте. Для повышения эффективности системы применялись эвристические приемы в части подбора и анализа исходных данных, выработки гипотез диагнозов, установления порогов — границ для возможных диагнозов. Делается общий положительный вывод по оценке данного направления работ в области диагностики.

Сочетание сетевых баз данных с методикой размытых множеств и эвристическими приемами, по-видимому, является перспективным направлением работ по машинной медицинской диагностике.

В качестве другого примера системного кибернетического подхода к построению математической модели патологического процесса и диагностического алгоритма кратко опишем систему, разработанную Г. И. Марчуком, Н. И. Нисевич, Л. Н. Белых, И. И. Зубиковой и И. Б. Погожевым, для обработки и анализа данных при инфекционных заболеваниях. Инфекционное заболевание рассматривается как конфликт между популяцией возбудителей болезни (вирусами) и иммунной системой организма, вырабатывающей антитела, нейтрализующие антигены (вирусы).

Указанными авторами предложены математическая модель функционирования печени и методика оценки стохастической устойчивости процессов функционального восстановления печени, а также методы прогнозирования течения этого заболевания с учетом анатомо-физиологических особенностей (темпов роста печени и всего организма в целом и др.).

Математическая модель инфекционного заболевания строится на основе обобщения материала наблюдений клиницистов и вирусологов за ходом вирусных заболеваний исходя из определенной

гипотезы о механизмах взаимодействия вирусов и антител. Модель охватывает феноменологический уровень процессов без детализации внутренних генетических (внутриклеточных) механизмов и представляет среднюю картину, характерную для достаточно большой группы больных.

Вопросы адаптации указанной модели к конкретным больным (учет индивидуальных особенностей) в данной модели не рассматривается. Построенная модель позволяет сформулировать цели и задачи дальнейших экспериментальных исследований, необходимых для построения математической модели прогнозирования течения болезни.

Математическая модель Г. И. Марчука [17] охватывает следующие основные действующие факторы вирусного заболевания:

количество (концентрация) вирусов в организме  $V(t)$ ; количество (концентрация) производящих антитела плазматических клеток  $C(t)$ ;

количество (концентрация) антител  $F(t)$ ;

относительная характеристика пораженной вирусами ткани (органа)  $m(t)$ ,  $m(t) = 1 - M_1/M$ , где  $M$  — характеристика (масса или площадь) здорового органа, а  $M_1(t)$  — та же характеристика для пораженного органа.

В модели принимается допущение, что прирост числа вирусов за определенный интервал времени пропорционален их количеству  $V$ , коэффициенту размножения  $\beta$ . При этом учитывается вероятность нейтрализации вируса антителом  $\gamma$ . Отсюда получается уравнение, определяющее рост числа вирусов:

$$dV/dt = (\beta - \gamma F)V.$$

Второе уравнение определяет рост плазматических клеток и основано на гипотезе формирования каскадных популяций плазматических клеток из лимфоцитов при их взаимодействии с антигеном. Плазматические клетки синтезируют антитела, специфичные для данных антигенов. Это уравнение имеет вид

$$\frac{dC}{dt} = \xi(m)\alpha V(t - \tau)F(t - \tau) - \mu_c(C - C^*).$$

Здесь  $\xi(m)$  — некоторая непрерывная невозрастающая функция, учитывающая влияние поражения ткани (органа) организма на динамику болезни и вследствие этого на работу иммунной системы;  $\tau$  — время, в течение которого осуществляется формирование каскада плазматических клеток;  $C^*$  — иммунологический уровень плазматических клеток в организме;  $\mu_c$  — коэффициент, обратно пропорциональный времени жизни клеток (принимается равным нескольким дням);  $\alpha$  — постоянный коэффициент. Второй член в этой формуле служит для учета уменьшения числа плазматических клеток за счет старения.

Следующее уравнение определяет баланс числа антител данного вида, реагирующих с антигенами (вирусами):

$$dF/dt = \rho C - (\mu_f + \eta V)F.$$

Здесь  $\rho$  — коэффициент воспроизводства антител в единицу времени (в расчете на одну клетку);  $\eta$  — количество антител, требующихся для нейтрализации одного вируса;  $\mu_f$  — коэффициент, обратно пропорциональный времени распада антитела (несколько дней). Член  $\rho C$  определяет количество вырабатываемых антител в единицу времени; член  $\mu_f F$  определяет уменьшение числа антител за счет старения; член  $\eta V F$  — уменьшение числа антител за счет их связывания вирусами. Следующее уравнение модели описывает баланс поврежденной ткани организма:

$$\frac{dm}{dt} = \sigma V - \mu_m m,$$

где  $\sigma$  — коэффициент, определяющий степень поражения ткани организма одним вирусом в единицу времени;  $\mu_m$  — обратная величина времени восстановления пораженной части организма в  $e$  раз ( $e$  — основание натуральных логарифмов).

Начальными условиями для решения данной системы нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений являются:  $V^0, C^0, F^0, m^0$ . Г. И. Марчуком дан качественный анализ решения задачи, получены стационарные решения и показано, что предложенная модель адекватно описывает протекание реального процесса, а также представлена принципиальная схема протекания вирусного заболевания.

Для оценки функционального состояния печени при вирусном гепатите Г. И. Марчуком, Н. И. Нисевич и И. И. Зубиковой [18] предложена формула обобщенного показателя биохимических тестов,

названного биохимическим индексом. Формула имеет два крайних варианта: для легкого и для тяжелого случаев. Средний случай получается как промежуточный вариант указанных крайних случаев.

Формула для легкой формы протекания вирусного гепатита имеет вид

$$\varphi = 2 [0,1 (p - p_0) + 0,02 (f - f_0) + 0,005 (\beta - \beta_0)].$$

Здесь  $p = b + B$  называется «приведенным билирубином»;  $b$  и  $B$  — свободная и связанная фракции билирубина;  $f_0$  и  $f$  — активность  $\phi - 1 - \phi$  (фруктоза—1—фосфатальдолаза) в норме и патологии;  $\beta_0$  и  $\beta$  — содержание  $\beta$  —липопротеидов в норме и патологии. Числовые коэффициенты определялись методом наименьших квадратов при обработке статистических данных о реальных больных.

Формула для тяжелой формы вирусного гепатита

$$\varphi = C^1(p - p_0) + \frac{C_5}{\beta} + \frac{C_6(b + B)}{f}.$$

Коэффициенты  $C^1$ ,  $C_5$  и  $C_6$  находятся на основании статистического 1 анализа этих показателей при тяжелой форме вирусного гепатита: ( $C^1 = 0,1$ ;  $C_5 = 20$ ,  $C_6=0,2$ ).

Авторами предложена следующая обобщенная формула для оценки | биохимического индекса при различной тяжести вирусного гепатита:

$$\varphi = K_1(p)[0,1(p - p_0) + 0,02(f - f_0) + 0,005(\beta - \beta_0) + K_2(p) \left( \frac{20}{\beta} + \frac{b + B}{5f} \right).$$

Коэффициенты  $K_1(p) = 2,2 - 0,12p$  и  $K_2(p) = 0,12p - 0,2$  определены авторами таким образом, что формула удовлетворяет предельным случаям и позволяет оценить непрерывное изменение состояния печени при переходе между крайними случаями. Практическое применение биохимического индекса в клинической практике подтвердило его работоспособность и достаточно высокую эффективность, а также удобство его использования [18].

Мы привели краткое изложение математической модели инфекционного заболевания и биохимического индекса для оценки тяжести вирусного гепатита в силу большой важности и принципиальной новизны данного подхода к описанию патологических состояний организма. Несомненно, что это направление имеет широкие перспективы развития и практического применения.

## 6.2. Применение ЭВМ в области лучевой терапии

В области лучевой терапии ЭВМ могут применяться комплексно для планирования облучения, управления этим процессом и анализа результатов лечения. Оценка эффективности математических методов оптимизации лучевой терапии проводится экспертным путем с учетом данных о состоянии здоровья пациентов.

В основе машинного планирования лучевой терапии лежат статистические методы и данные об эффективности действия различных источников излучений.

С помощью ЭВМ можно выполнять следующие виды расчетов в указанной области:

1. Вычисление индивидуальных распределений доз при различных методах облучения.
2. Определение универсальных методов облучения и расчет для них распределений доз и интенсивностей облучений по изодозным полям.
3. Оптимизация методов облучения при определенных показаниях.
4. Вычисление суммарных доз облучения, полученных при различных методах, т. е. определение общей лучевой нагрузки организма.
5. Статистический анализ результатов лучевой терапии и выработка оптимальных методов.

При оптимальной лучевой терапии речь идет об определении характеристик и выборе наиболее подходящего источника излучений, обеспечивающего получение необходимой энергии и формы излучений, соответствующих локализации, форме, величине и характеру опухоли. Особенно важно решать подобную задачу при осуществлении внутренней лучевой терапии, т. е. при облучении через жидкие и мягкие компоненты организма и при использовании вводимых в организм источников излучения, действующих непосредственно в тканях опухоли. Последняя форма облучения имеет то преимущество, что при этом обеспечивается минимальное облучение (по объему охвата и величине доз) окружающих здоровых участков ткани. Основным условием лучевой терапии является то, что независимо от способа облучения на опухоль должна воздействовать необходимая доза ионизирующих лучей при минимальном повреждении здоровых окружающих опухоль участков ткани.

Следует заметить, что само по себе определение распределения дозы облучений в человеческом теле даже при воздействии одного единственного источника лучей и наличии одного поля облучения является очень сложным. Известно, что внешнее облучение используется значительно чаще, чем имплантация источников излучений внутрь организма, поэтому применение ЭВМ при планировании внешнего облучения имеет большое значение для усовершенствования этого метода лечения.

Разработаны специализированные электронные вычислительные устройства для расчетов доз облучения, которые могут выдавать распределение доз за несколько минут. При использовании источников излучений можно с помощью ЭВМ получать не только распределение лучевых доз, но и рассчитывать воздействие радиоактивных веществ на окружающие области. В таких случаях важен точный расчет, который может быть получен с помощью ЭВМ, так как существенные отклонения применяемых лучевых источников от их оптимальных положений могут явиться причиной либо лучевых поражений, либо

рецидивов опухолей. С помощью ЭВМ может контролироваться состояние облученных тканей или оперированных участков путем обработки рентгеновских снимков этих тканей или органов.

Электронно-вычислительная машина позволяет эффективно моделировать распределение доз облучения при планировании лучевой терапии и оптимизировать этот процесс как при внутреннем облучении с помощью имплантированных источников, так и при внешнем облучении с помощью внешних облучателей. В обоих случаях расчеты с помощью ЭВМ проходят следующие стадии:

- а) определение координатной системы, в которой задается взаимное расположение тела пациента, опухоли и источника радиации, а также тех точек, в которых должно оцениваться значение дозного распределения;
- б) определение дозного распределения для каждого источника;
- в) вычисление комбинированного дозного распределения от всех источников;
- г) представление результатов в наглядной форме.

Система координат при внутреннем облучении выбирается таким образом, чтобы расположение осей соответствовало положению рентгеновских снимков. Конец импланта (источника радиации) выбирается в качестве начала координат. ЭВМ по соответствующей программе вычисляет распределение доз облучения в заданных точках тела, расположенных по кривым в одной или нескольких плоскостях, перпендикулярных к одной из осей координат.

Суммарные дозы в заданных точках от нескольких линейных источников вычисляются простым суммированием доз каждого из источников.

На основе полученных данных ЭВМ строит изодозные кривые и выдает их на графопостроитель. При отсутствии графопостроителя необходимые таблицы и графики могут быть выданы с помощью алфавитно-цифрового печатающего устройства, причем степень черноты печатаемых символов может соответствовать интенсивности облучения в заданных точках. Недостатком обычных графопостроителей является малая скорость работы. В этом отношении удобны специальные графические дисплеи или специальные электрографические графопостроители.

Большое значение имеет быстрое получение дозных распределений, когда вводится пустой катетер с целью последующего введения изотопного препарата. Этот способ применяется в гинекологии (облучение радиоактивным кобальтом).

Примером применения ЭВМ для расчетов внешнего облучения может служить система, разработанная под руководством академика А. С. Павлова и д-ра мед. наук М. М. Хрущева. Эта система предназначена для работы радиологического отделения и обеспечивает расчет на ЭВМ оптимальных условий облучения при использовании гамма-терапевтического аппарата Рокус.

Программа позволяет работать в двух режимах:

- в режиме простого суммирования дозных полей, предлагаемых врачом при лечении конкретного больного;
- в режиме оптимизации дозного распределения при статическом и подвижном способах облучения.

Для расчета оптимального распределения доз при планировании лучевой терапии в каждом конкретном случае задается следующая информация:

- 1) выбираются координаты центров облучения;
- 2) выбираются размеры сечения пучка, соответствующие размерам опухоли;
- 3) задаются координаты контрольных точек, расположенных в опухоли и в близлежащих тканях (как правило, выбираются 30—40 контрольных точек);
- 4) задаются требуемые значения доз облучения в каждой контрольной точке;
- 5) каждой контрольной точке присваивается значение приоритета (от 1 до 3), определяющее значимость достижения в конкретной точке заданных доз облучения.

Эти данные обычно определяются врачом-радиологом совместно с физиком-дозиметристом. Одновременно с заданием на оптимизацию в ЭВМ вводятся данные, описывающие расположение опухоли, внутренних органов и тканей (40—50 точек), полученные на основании рентгеновских снимков, и т. п. Программа позволяет учитывать гетерогенность среды.

В результате работы программы рассчитывается оптимальный план облучения, соответствующий заданным условиям оптимизации, и выдается следующая информация:

- 1) графическое изображение расположения опухоли, окружающих тканей и заданных контрольных точек;
- 2) таблица, содержащая информацию о задании на оптимизацию и рассчитанной программой дозе в каждой контрольной точке;
- 3) графическое изображение суммарного дозного распределения;
- 4) таблицу технических параметров оптимального плана облучения;
- 5) данные об общем времени облучения и интегральной поглощенной дозе.

Дополнительно на перфоленту выдается программа управления работой установки облучения в автоматическом режиме, реализующая рассчитанный на ЭВМ оптимальный план облучения.

Программа расчета оптимальных условий облучения написана на алгоритмическом языке ФОРТРАН-IV для ЭВМ серии ЕС. Среднее время расчета оптимального плана лечения одного больного составляет около 20 мин.

Основу расчетов распределения доз обычно составляет метод изодозных диаграмм, представляющих собой графическое изображение распределения доз в плане симметрии прямоугольного или кругового луча. Такие распределения строятся для плоской поверхности, перпендикулярной направлению луча. Учет кривизны поверхности может производиться либо с помощью фильтров, изменяющих интенсивность лучей, либо корректировкой формы и наклона лучей на основе эмпирических соображений.

Существуют два основных способа внешнего облучения: а) перекрестное облучение стационарными лучами (с фильтрами или без них) с постоянным стандартным расстоянием от источников до облучаемой поверхности; б) облучение вращающимся лучом, ось которого расположена под определенным углом по отношению к оси вращения.

При первом способе облучения расчет распределения доз получается простым суммированием изодозных диаграмм отдельных лучей, что не вызывает принципиальных трудностей, но требует громоздких вычислений; здесь эффективно

применяются ЭВМ. При использовании подвижного (вращающегося) луча расчет сводится к случаю облучения многими пересекающимися лучами.

Изодозные диаграммы представляются при расчетах на ЭВМ матрицами чисел, полученных из графиков путем интерполяции в полярных или прямоугольных координатах. Серия изодозных диаграмм, составленных для различных плоскостей, позволяет получить трехмерное распределение доз в заданной области организма.

Расчеты для пересекающихся лучей и подвижных лучей в основном требуют дополнительных преобразований координат. Задание необходимого распределения поглощаемой энергии для любых прямоугольных полей получается путем подбора и комбинации соответствующих квадратных полей. Для планирования лучевой терапии при комбинированных способах облучения выполняются следующие виды расчетов:

1. Выработка единого поля изодозных диаграмм (серии диаграмм).
2. Расчеты для стационарных перекрестных лучей с непосредственными или фильтрованными лучами.
3. Расчеты для сложных кривых, неизоцентрического перемещения луча с непосредственным или ослабленным действием.
4. Расчеты для сочетаний стационарных и вращающихся лучей.

Во всех этих случаях вычисления могут быть выполнены в любых желаемых параллельных планах.

Для выполнения расчетов дозных распределений необходимы данные, определяющие тело пациента в соответствующих (облучаемых) зонах. Обычно задаются «срезы» тела пациента в каждой из требуемых плоскостей в виде 18-угольника (по 18 радиусам — через  $20^\circ$ ) относительно некоторого центра, приблизительно совпадающего с центром среза тела. Наряду с точностью расчетов важно также наглядное представление результатов, особенно при пользовании общей методикой многими врачами без необходимой технической подготовки.

Данные выдаются по каждой расчетной плоскости в виде следующих групп:

- 1) заголовок страницы, идентифицирующей пациента, дату, отделение и др.;
- 2) распечатка радиусов, данных, характеризующих методику, и основных результатов, необходимых для определения времени облучения;
- 3) таблица относительных интегральных доз и факторов эффективности для различных процентных зон;
- 4) распечатка в масштабе процентного распределения доз по заданным секциям пациента (ограниченным переменными радиусами). Во всех плоскостях распределения нормализованы относительно максимума, расположенного в центре плана;
- 5) по каждому плану выдается таблица интерполяционных данных по линиям, перпендикулярным линиям распечатки плана (для заполнения промежутков в распечатанных данных).

Время расчетов пропорционально числу планов, числу расчетных точек, числу позиций полей и размерам полей. Ориентировочно можно считать, что время расчетов на ЭВМ средней производительности одного поля с 600 точками составляет около половины секунды. Расчет трех полей в трех планах занимает 5 с плюс 45 с на печать.

Методы расчета дозных полей непрерывно развиваются и совершенствуются. При этом основное внимание уделяется повышению точности расчетов и, в частности, учету трехмерных распределений доз при различных условиях, особенно учету влияния различий тела пациента по разным направлениям.

В последние годы развернулись работы по анализу и формализации критериев и подходов радиологов, назначающих облучение. Целью этих работ является выработка математической модели оптимизации облучения. При решении проблемы оптимизации облучения важную роль играют способы оперативного взаимодействия человека (радиолога) и ЭВМ с помощью дисплеев.

Рассмотрим некоторые биофизические предпосылки лучевой терапии. Лучевая терапия — специальный раздел радиационной медицины, тесно связанный с биофизикой. Цель лучевой терапии — разрушение злокачественной опухоли при минимальном повреждении окружающих здоровых тканей. Для этого необходимо знать количество и распределение поглощаемой энергии для каждого пациента при определенных средствах и способах облучения.

Онкологи-радиологи, изучив характер и распространенность опухолевого процесса, общее состояние больного, разрабатывают план лучевого лечения, поля, дозы облучения опухоли (разовые и суммарные за курс лечения), периодичность сеансов облучения, выдвигают требования к минимально возможному облучению окружающих опухоль здоровых тканей и органов. После этого физики и математики с использованием математических методов и ЭВМ прорабатывают методики возможного лучевого лечения больного, запланированного онкологами-радиологами. Таким образом, в планировании и проведении лучевой терапии обязателен постоянный контакт врачей радиологов с физиками и математиками.

Для внешнего облучения в радиологических отделениях онкодиспансеров и больниц используют рентгеновские установки, гамма-установки с кобальтом-60 (Рокус, линейные ускорители, бетатроны), обеспечивающие облучение опухоли в необходимых дозах.

Математические методы планирования лучевой терапии имеют целью повышение точности расчетов распределения доз, оптимизацию процесса лучевой терапии, сокращение сроков и трудоемкости расчетов. Применение математических методов и ЭВМ в области лучевой терапии требует построения модели радиационного воздействия на организм, его отдельные органы, системы и ткани. Характер воздействия оказывается различным для радиации различных энергий. В первом приближении выделяют радиацию низких энергий (рентгеновские лучи) и радиацию высоких энергий (протоны и др.).

Взаимодействие между рентгеновскими лучами и веществом в основном определяется фотоэффектом, который зависит от атомного номера облучаемого вещества ( $\sim Z^4$ ) и энергии фотонов ( $1/E^3$ ). Отсюда ясно, что поглощение энергии на единицу массы вещества будет существенно различным для костей и для мягких тканей. С точки зрения распределения поглощаемой энергии мягкие ткани могут с достаточной степенью точности быть приравнены к поглощению в водной среде. Так как в настоящее время еще нет способов точного описания свойств и структуры костей конкретного пациента, то учет наличия костей при планировании облучений с помощью рентгеновских установок производится весьма приближенно, на основе эмпирических данных и опыта врачей-радиологов.

При облучениях гамма-лучами кобальта-60, лучами высоких энергий процесс взаимодействия определяется в основном эффектом Комптона — столкновениями фотонов со свободными электронами. При этом все электроны могут

рассматриваться как свободные и вероятность столкновений зависит от плотности электронов, которая мало связана с видом вещества. При этом все человеческое тело может быть представлено водным эквивалентом и экспериментальные данные, полученные на водных моделях, могут быть положены в основу расчетов облучения различных частей человеческого тела.

В качестве основы для расчетов принимается обычно следующая физическая модель. При столкновении фотона с электроном (эффект Комптона) фотон передает часть энергии электрону, который увеличивает свою кинетическую энергию. Эту энергию электрон теряет на коротком пути за счет вторичной ионизации атомов вещества, которое поглощает данную энергию. Энергия, вызывающая биологический эффект, образуется в результате множества подобных явлений. Фотон, претерпевающий столкновение с электроном, может участвовать в повторном столкновении. Вероятность повторного столкновения фотона с электроном почти такая же, как и для первичного столкновения. При этом существенным является то, что направление движения фотона после столкновения сохраняется прежним. Установлено, что остаточная энергия фотона после первого столкновения оказывается малой и недостаточна для повторного возбуждения электрона. Это обстоятельство позволяет сделать следующее допущение: луч гамма-фотонов или рентгеновских фотонов высоких энергий в среде, эквивалентной воде, может рассматриваться как поток отдельных фотонов одноразового действия; уровень поглощения энергии в любой заданной точке вещества зависит от интенсивности потока фотонов в воздухе в этой точке, коэффициента поглощения вещества, размера облучаемого поля и толщины слоя вещества, через который проходит поток фотонов. Указанное допущение позволяет получить для случая перпендикулярного луча общее расчетное выражение для относительной дозы в точке  $(x, y, z)$  луча. При этом преследуется цель выделить влияние различных параметров: толщины облучаемого слоя (обратная квадратичная зависимость), геометрических характеристик излучателя и облучаемого объекта.

Аналогичные предпосылки имеют место также при расчетах облучений частицами высоких энергий (протонами с энергией миллиарда электрон-вольт,  $n$ -мезонами). При этом учитывается то обстоятельство, что подобные частицы отдают максимум своей энергии на конечном этапе пути, перед остановкой. Они пронизывают без разрушения наружные здоровые ткани и уничтожают опухолевые ткани, расположенные в глубине организма. На основе указанных физических предпосылок может быть осуществлен расчет предполагаемого участка пути этих частиц с учетом их энергии, размеров здоровых тканей, через которые, они должны предварительно пройти, а также размеров и конфигураций опухолевых тканей.

Оптимизация процесса лучевой терапии заключается в выборе такого плана облучения, при котором на опухоль попадет заданное количество энергии радиации, а на окружающие здоровые ткани приходится минимальное количество. Для этого могут варьироваться виды источников, формы лучей, направления облучения, расстояния между источником и опухолью, режим и длительность лучевого воздействия.

К числу математических методов, используемых для оптимизации лучевой терапии, относится метод линейного программирования.

Рассмотрим один из возможных методов формирования оптимального плана облучения злокачественной опухоли. Ограничимся для простоты расчетом в одной плоскости при постоянной диафрагме источника энергии. Будем считать, что источником энергии является гамма-терапевтический аппарат. Соответствующий расчет дозы при других источниках энергии (нейтронная или электронная энергия) принципиальных отличий не имеет, увеличиваются только технические трудности расчета.

Облучение опухоли может производиться с различных направлений и расстояний (из различных точек) и различное время (экспозиция  $t$ ) из каждой точки. Необходимо определить оптимальный план облучения, т. е. время облучения из каждой точки.

При расчете оптимального плана облучения должны учитываться следующие физические ограничения. Для здоровых тканей (обозначим их через  $A_r$ ) доза облучения не должна превышать предельно допустимой величины  $Q_r$  (предельно допустимой называется доза, которая еще не влечет за собой необратимых вредных последствий для ткани). Для тканей злокачественной опухоли (обозначим их через  $F$ ) доза облучения должна быть не меньше значения  $Q_f$ , необходимого для поражения опухоли. При этом общая интегральная доза на весь организм должна быть минимальной. Это требование положено в основу метода оптимизации.

При облучении варьируются следующие параметры: 1) расстояние источник— поверхность (РИП); 2) направления облучения; 3) время экспозиции.

Обозначим все допустимые направления облучения  $M_1, M_2, \dots, M_n$ , соответствующие РИП для направления  $M_i$  через  $B_i^1, B_i^2, \dots, B_i^i$ , время экспозиции при облучении с направления  $M_i$  и РИП  $B_i^k$  через  $t_{i,k}$ . Проведем мысленно плоский срез человека в районе злокачественной опухоли приблизительно перпендикулярно (в основном) к большинству возможных направлений облучения. Разобьем данный срез на элементарные области  $\omega_{j,q}$  радиальными линиями, проходящими через центр опухоли, и концентрическими линиями с центром в центре опухоли. Таким образом, весь срез будет разбит на элементарные площадки  $\omega_{j,q}$ , расположенные в плоскости среза.

Пусть теперь  $E_{j,q}^{i,k}$  — доза, полученная за единицу времени площадкой  $\omega_{j,q}$  при облучении опухоли с направления  $M_i$  и расстояния  $B_i^k$ . Очевидно, что произведение  $t_{i,k} E_{j,q}^{i,k}$  будет представлять собой соответствующую дозу, полученную этой площадкой при экспозиции  $t_{i,k}$  ( $t_{i,k} > 0$ , равенство нулю  $t_{i,k}$  означает, что в плане отсутствует облучение площадки  $\omega_{j,q}$  из точки  $B_i^k$ ).

Задача определения плана облучения заключается в расчете матрицы  $(t_{i,k})$ . Необходимо получить оптимальный план, т. е. план, обеспечивающий минимальную суммарную дозу облучения при допустимых дозах облучения здоровых тканей и заданных дозах облучения больных тканей.

Подсчитаем дозу, полученную площадкой  $\omega_{j,q}$  при некотором плане  $(t_{i,k})$  облучения:

$$D_{j,q} = \sum_i \sum_k t_{ik} E_{j,q}^{i,k}.$$

Если площадка  $\omega_{j,q}$  принадлежит зоне здоровых тканей  $A_r$ , то должно выполняться условие

$$D_{j,q} \leq Q_r.$$

Если же площадка  $\omega_{j,q}$  принадлежит зоне злокачественной опухоли, то должно выполняться условие

$$D_{j,q} \geq Q_F.$$

Требуется определить матрицу  $(t_{i,k})$  такую, чтобы при соблюдении этих условий обеспечивалось минимальное значение целевой функции, т. е. общей интегральной дозы облучения, полученной организмом,

$$R = \min \sum_j \sum_q D_{j,q}.$$

Определив искомую матрицу  $(t_{i,k})$ , мы получили оптимальный план лучевой терапии. Существенным в данной постановке задачи является допущение о том, что ограничения и целевая функция — линейные функции времени  $t_{i,k}$ , т. е. зависимости представляются многочленами первой степени относительно  $t_{i,k}$ .

Описанная задача решается общим методом решения задач линейного программирования — так называемым симплекс-методом и, несмотря на ряд упрощающих предположений, имеет практическое применение. При использовании подобной методики обеспечивается уменьшение общей дозы облучения организма на 15—20% при сохранении того же терапевтического эффекта, что и при облучении с использованием плана, полученного экспертным путем.

Трудности расчетов лучевой терапии связаны со сложностью распределения доз при внешнем облучении, с большим числом переменных и с необходимостью быстрого получения результатов расчетов.

Распределение доз зависит от расстояния между источником и облучаемым местом и от поглощения и вторичного излучения облученными тканями, т. е. от наложения облучений, получаемых прямым и косвенным путем. Косвенное облучение получается из любой точки облученного объема и составляет существенную часть радиации; при нейтронной радиации почти вся радиация получается за счет вторичного облучения. Следовательно, дозное распределение при внешнем облучении является функцией энергии радиации, плотности тканей, размеров и формы диафрагмы, расстояния от источника до кожи, угла наклона оси луча к коже. Форма луча может модифицироваться с помощью экранов. Приведенная выше математическая модель процесса внешнего облучения не учитывает влияния косвенного (вторичного облучения), а также наличия внутренних полостей. Точные методы, учитывающие указанные и другие факторы, оказываются чересчур сложными для практического применения. Большинство программ планирования внешнего облучения использует заранее рассчитанные таблицы для определенного числа стандартных лучей, из которых получают конкретные распределения доз. Таблицы получаются расчетным или экспериментальным способом; в последнем случае используют водные модели облучаемых частей тела. Ручной расчет распределения доз для одного луча занимает несколько часов. Поэтому особых трудностей не возникает, если лучевой терапевт ограничивается небольшим числом лучей и небольшим числом вариантов планов облучения.

С помощью ЭВМ может просматриваться большое число планов. Лучевой терапевт может использовать в качестве первого приближения данные из расчетных таблиц, а затем учесть профили лучей данной аппаратуры и получить для практической работы скорректированные данные. Существует ряд программ, служащих для получения распределения доз для реальных лучей на основе стандартных табличных распределений. Некоторые программы применяют подробные исходные таблицы выполняют небольшой объем вычислений, в то время как другие используют небольшое количество исходных табличных данных и выполняют большой объем вычислений. Например, таким образом данные для прямоугольных лучей могут быть получены на основе данных для круговых лучей, при этом учитывается влияние фильтров, ослабителей и других факторов.

На основе распределения доз единичного луча могут быть получены различные варианты планов лечения путем изменения положения, направления и количества лучей. Если лучи фокусируются в одну точку, то удобной является полярная система координат с началом в этой точке. Однако значительно большего разнообразия планов можно достичь, если применять несконцентрированные и непараллельные лучи. При этом полярные координаты оказываются неудобными.

Кумулятивное распределение доз при движущемся луче получается как сумма воздействий от большого числа стационарных источников. Указанное разнообразие возможностей облучения усложняет проблему выбора оптимального плана, учитывающего конкретные условия. В отличие от внутреннего облучения, внешнее облучение требует сразу же точных расчетов. Имплантируемые источники радиации оставляются в действии обычно на неделю. При этом можно получить картину фактического распределения доз на основе наблюдений в течение двух или трех дней и затем уточнить положение и длительность нахождения имплантированного источника.

Таким образом, при внутреннем облучении отсутствует срочность расчетов и данные могут посылаться для обработки в общий вычислительный центр. При внешнем облучении расчет распределения доз должен быть выполнен сразу же достаточно точно до начала лучевой терапии. При этом последовательность операций следующая: обследование пациента, совместная выработка приближенного плана лечения врачом и физиком, детализация плана физиком и его графическое представление. При этом разрабатываются (вручную) две или три модификации плана, которые обсуждаются с врачом. Окончательный план принимается после точных вычислений на ЭВМ. Следовательно, процесс облучения может проводиться во второй половине дня. В последующие дни план может уточняться в соответствии с изменением состояния пациента. Отсюда вытекает, что планирование лучевой терапии должно осуществляться либо с помощью большой ЭВМ, работающей в оперативном режиме с удаленными терминалами, либо с помощью предназначенной для этой цели мини-ЭВМ. Современные печатающие устройства печатают распределение доз в таком масштабе, что оно может быть сразу наложено на рентгеновский снимок опухоли. Графические дисплеи представляют картину распределения доз на фоне «среза» тела пациента, опухоли и расположения важных органов.

Сложной задачей является ввод данных, описывающих «срез» тела пациента, размер и форму опухоли. Это может быть сделано с помощью числовых кодов, учитывающих конкретные детали по отношению к стандартным образцам.

Чтобы избежать большого объема вычислений, ряд авторов предлагают создать библиотеку планов лечения; планы должны быть так заиндексированы, чтобы можно было быстро идентифицировать и находить для любого конкретного случая оптимальный план. С этой целью предложен индекс, учитывающий три элемента. Первый оценивает ущерб ошибки в задании требуемой дозы в центре опухоли; второй измеряет ущерб распределению доз, которое не соответствует этому требованию; третий позволяет отдать предпочтение планам, которые дают низкое отношение доз на поверхности и в центре. ЭВМ

позволяет быстро просматривать различные варианты планов; когда оптимальный план найден, то вычисляется полное распределение доз.

Установлено, что при 50—100 планах в год экономически выгодна обработка данных на общем ВЦ. При 500—1000 планах в год необходимо иметь отдельную мини-ЭВМ.

Как уже отмечалось, основная трудность в расчетах лучевой терапии связана с вводом данных, описывающих облучаемый участок тела пациента. Развитие автоматизированной томографии позволяет эффективно решить эту проблему так как детальное представление облучаемой области будет выдаваться автоматически в цифровой форме с необходимой для лучевой терапии точностью. В связи с этим перспективным направлением является сочетание системы планирования лучевой терапии с автоматизированной томографической системой, которая представляет собой одну из наиболее перспективных автоматизированных диагностических систем. Томография основана на применении ЭВМ для обработки данных, получаемых при рентгеновском просвечивании объекта (головы или другой части тела) многими узкими (карандашными) лучами со многих направлений. С помощью ЭВМ на основе этих данных синтезируется пространственная модель объекта.

Важным примером в этой области является построение модели молекулы миоглобина, выполненное Кендрью в конце 50-х годов. Примером современных работ является система Хаунсфелда [29], используемая практически. Автоматизированная томография может по праву считаться одним из наиболее значительных применений ЭВМ в диагностике.

Принцип сканирования в томографии можно пояснить на примере обследования головы. Узкий рентгеновский луч проходит через просвечиваемый объект и попадает в коллиматор сцинтилляционного детектора, установленного на противоположной стороне направляющей рамы. Источник и детектор перемещаются на раме так, что луч смещается в одной плоскости параллельно заданному направлению; в этой плоскости делается 160 измерений. Затем рама поворачивается на  $1^\circ$ , и в этом положении делается столько же измерений, затем поворачивается еще на  $1^\circ$  и т. д. до полного поворота рамы на  $180^\circ$ . Таким образом проводится  $160 \times 180$  измерений.

Чтобы построить картину, допустим, что просвечиваемая секция состоит из такого же количества кубиков материала, причем каждый из кубиков имеет свой собственный линейный коэффициент ослабления луча, соответствующий природе этого вещества (кости, волосы, ткани, кровь и т. д.). Логарифм интенсивности рентгеновского луча по каждому замеру будет пропорционален взвешенной сумме коэффициентов ослабления луча для тех кубиков, через которые проходит карандаш луча. В результате измерений получается система линейных уравнений, из которых определяются значения коэффициентов ослабления. Расположив значения коэффициентов в соответствующих точках пространства, получим полную сквозную (пространственную) модель объекта. Трудность состоит в быстром и точном решении системы уравнений. Кроме того, необходимо устранить влияние размытости границ луча при измерениях. Подобные системы выпускаются фирмой EMI. Первые аппараты этой фирмы для церебрального просвечивания позволяли различать плотность, тканей с точностью 0,5% [29], т. е. разрешающая способность картин соответствовала телевизионным стандартам, а время полного просвечивания не превышало двух минут. Общая доза радиации при сканировании была меньше, чем при обычном рентгеновском снимке. Таким образом можно получить серию плоскостных картин (срезов) объекта, что позволяет построить трехмерную пространственную модель объекта (и даже отобразить ее на цветном экране).

Первые томографические приборы EMI были предназначены для просвечивания головы и помогали четко обнаруживать опухоли. Различающая способность прибора позволяла, например, определять разницу в тканях при церебральных отеках и кровоизлияниях. Применяется томография при стереотаксической головной хирургии, а также для просвечивания других органов (сердца, печени, верхней части брюшной полости, легких — диагностика легочной эмболии). Большие перспективы имеются в сочетании томографии с лучевой терапией. Томография позволяет получить пространственную модель облучаемой области, структуру костей, расположение органов и тканей, которые должны обходиться при облучении и т. д. При этом данные томографии вырабатываются ЭВМ в цифровой форме и записываются на МД или МЛ для последующего использования, а могут сразу же использоваться для планирования лучевой терапии. Имеются комбинированные установки, сочетающие томографию и планирование лучевой терапии. При этом томографическая картина объекта выдается на цветной экран зеленым цветом, а картина плана облучения выдается на тот же экран в красном цвете. Радиолог (лучевой терапевт) может наблюдать взаимное расположение этих картин и при необходимости вносить коррективы.

### **6.3. Применение ЭВМ при медикаментозной терапии**

Интересный практический опыт применения в больнице информационной системы по медикаментам получен по Франции, в госпитале Неккер [35]. Помимо учетно-экономических аспектов здесь большое внимание уделялось вопросу непосредственного взаимодействия врачей с информационной справочной системой как для ввода информации в систему, так и для получения справок из системы.

Данные, вводимые врачами в ЭВМ, проходят предварительный контроль со стороны специалистов по банку данных, перфорируются и вводятся в пакетном режиме. Запросы данных из ЭВМ врачи осуществляют непосредственно с помощью терминалов-дисплеев в реальном масштабе времени. Необходимость использования ЭВМ для выдачи справок по медикаментам обусловлена двумя обстоятельствами: большим количеством различных лекарств и важностью получения срочной и точной информации.

Во Франции используется 2500 наименований основных медикаментов и 4500 фармацевтических прописей (во всех странах Западной Европы используется порядка 40 000 наименований лекарств). Большинство врачей считают, что первоочередной задачей применения ЭВМ в медицине являются именно накопление данных и выдача справок по медикаментам.



В упомянутом госпитале Неккер было проведено изучение вопросов, с которыми врачи обращаются к ИПС по медикаментам. Из рассмотренных 20 000 вопросов выделены три основные категории:

1. О побочном действии медикаментов — 29,7%.
2. Об использовании медикаментов беременными женщинами — 17,7%.
3. О заменителях иностранных лекарств — 9,6%.

Состав вопросов был различным для врачей, работающих в госпитале, и для частнопрактикующих врачей, что показано в следующей таблице:

	<i>Частные врачи</i>	<i>Больничные врачи</i>
Побочный эффект	26,2	38,8
Использование при беременности	23,2	7,4
Заменители	9,4	9,7

Была установлена также разница в составе используемых лекарств: частные врачи применяют значительно более широкий набор лекарств, в то время как больничные врачи ограничиваются несколькими сотнями лекарств. Выявлены также причины негативного отношения некоторых врачей к использованию ИПС по медикаментам: необходимость тратить время на обращение к ИПС и опасение, что их предписания как в количественном, так и в качественном отношении будут находиться под постоянным контролем.

Практическое использование ИПС по медикаментам в указанном госпитале при непосредственной работе врачей за дисплеями показало большие преимущества этой ИПС и в то же время позволило выявить ряд обстоятельств в работе этой системы.

Во-первых, большое значение имеет обеспечение быстрых ответов ИПС, так как врачи всегда спешат, даже если их конкретный вопрос и не является срочным. Во-вторых, использование повседневной медицинской терминологии часто вызывало затруднения с определением правильных наименований лекарств, побочных действий, показаний и противопоказаний. В-третьих, требования врачей к полноте и глубине справок повышаются по мере их знакомства с ИПС. При этом врачи желают не только пассивно получать информацию, но и давать свои замечания и активно влиять на работу системы. В-четвертых, врачи испытывали трудности при постановке сложных вопросов, так как для работы ИПС необходимо, чтобы такие вопросы расчленились на ряд взаимосвязанных простых вопросов. И, наконец, в-пятых, использовавшийся в ИПС язык запросов, основанный на кодировании и мнемонических обозначениях, осваивался врачами с большими трудностями. Более удобными в этом отношении являются ИПС, работающие с естественным языком, и в указанном госпитале разрабатывается такой язык запросов. В нем предусматривается учет всех синонимов наименований лекарств, побочных действий и т. д. При этом на экран дисплея будут выдаваться все термины, близкие к термину, заданному врачом, с тем, чтобы он мог уточнить желаемое наименование, не прибегая к длительной процедуре просмотра словарей.

В Тилбургском госпитале (Нидерланды) имеется автоматизированная информационная система для контроля совместимости медикаментов, назначаемых конкретным больным [36].

Все используемые медикаменты были разделены на 400 фармакотерапевтических групп и составлена матрица 400 × 400, характеризующая взаимодействие медикаментов. При вводе в ЭВМ медикаментозного предписания (наименование лекарств, доза, продолжительность применения, путь введения, способ введения) ЭВМ определяет код фармакотерапевтической группы этого лекарства и проверяет по заданной матрице его взаимодействие с лекарствами, ранее введенными больному. Клинические проявления (значимость) взаимодействия лекарств разделены на три класса: А, В, С.

А. Сильное взаимодействие лекарств, о котором нужно немедленно сообщить больничному фармацевту и врачу, назначившему последнее лекарство.

В. Среднее взаимодействие, носящее спокойный и долговременный характер. В этом случае больничный фармацевт может посоветовать врачу другое лекарство, более подходящее для данного случая.

С. Слабое взаимодействие, которое может учитываться только при общем статистическом анализе используемых лекарств за длительный период.

Электронная вычислительная машина выдает также текстовую, информацию, поясняющую причины и характер взаимодействия лекарств. Для этой цели в ИПС имеется 30 типов заранее составленных справок, которые охватывают различные случаи взаимодействия лекарств. Практическая эксплуатация системы в двух госпиталях с общим числом коек 1200 показала, что в среднем сообщения типа А встречаются раз в неделю, а сообщения типа В — 4 раза в день.

В Швеции построена и работает единая для всей страны автоматизированная информационная система по медикаментам (SWEDIS) [38]. Она находится в ведении фармацевтического управления министерства здравоохранения и социального обеспечения Швеции. Терминалы этой системы имеются в аптеках, больницах, фармацевтических предприятиях, медицинских информационных центрах и в фармацевтическом управлении. В системе используется современная технология управления базой данных (MIMER), разработанная вычислительным центром университета в Уппсале. Система состоит из подсистем, характеризующихся определенной категорией пользователей и составом задач. Основными подсистемами являются: а) учет выпускаемых медикаментов по их свойствам и применениям; б) учет фармацевтических прописей; в) учет данных о побочных действиях лекарств; г) учет фирм и предприятий, выпускающих лекарства. Система может выдавать регламентные отчетные и статистические документы, а также выдавать справки — ответы на произвольные вопросы. Для задания вопросов разработан специальный текстовый нормализованный язык.

Научный и практический интерес представляет созданная в Ханнанском центральном госпитале в Осаке (Япония) информационная система для учета и анализа данных о побочных действиях медикаментов, применяемых амбулаторными больными [37]. Эта система взаимодействует с автоматизированной системой регистрации амбулаторных больных. В современных условиях большое значение имеет учет побочных лекарств, применяемых длительное время для лечения хронических болезней. При этом побочный эффект может проявляться не сразу, а с большей или меньшей задержкой во времени, что требует систематического сбора и анализа данных о достаточно большой численности больных.

При сборе данных о медикаментозном лечении амбулаторных больных обычно возникают трудности с получением своевременной и достоверной информации о случаях побочных действий лекарств, эффективности лекарств, фактических дозах и количествах лекарств.

В указанном госпитале с 1977 г. работает информационная система по амбулаторным больным, в которой для каждого больного фиксируются данные о диагнозе заболевания и симптомах побочных действий, а также о способах применения лекарств. В системе работает мини-ЭВМ FOCOM 230—285 с оперативной памятью емкостью 64 Кбайтов, магнитным барабаном на 1 Мбайт, двумя накопителями на МД емкостью 17,5 Мбайтов каждый, шестью терминалами-дисплеями, печатающим устройством и четырьмя накопителями на МЛ.

Информационная система по побочным действиям лекарств для амбулаторных больных работает с 1978 г. и показала высокие эффективность и надежность. Госпиталь имеет стационар на 157 коек и поликлинику мощностью 173 тыс. посещений в год.

Информационная система по амбулаторным больным построена на следующих принципах обработки информации:

1. Для записи диагнозов и синдромов, а также наименований побочных действий лекарств используются стандартные сокращенные обозначения с помощью символов японских иероглифов (язык Кана).

2. Применяются следующие символы для обозначения процессов заболеваний и подтверждения диагнозов: *A* — в стадии лечения; *B* — прошел лечение; *C* — продолжение лечения; *D* — умер; *E* — корректировка; *I* — недействительный; *T* — уточненный; *N* — уточненный как отсутствие аномальностей и т. д.

3. Сокращенные обозначения и символы, используемые врачами при заполнении медицинских карт больных, преобразуются после ввода в ЭВМ в числовые машинные коды.

4. Указанные числовые коды служат для прямого доступа к текущим данным на магнитных дисках. Полные данные за длительный период накапливаются на МЛ для статистической обработки.

5. Для каждого больного заполняется специальная медицинская карта, называемая диагностической формой. На этой карте записываются медицинские предписания, а также общие анкетные данные больного. Предусмотрены строки для девяти диагнозов, записи посещений и консультаций с указанием их дат.

6. При каждом последующем посещении (консультации врача) в эту форму вносятся необходимые изменения и дополнения.

Для описания побочных действий лекарств используется следующая символика:

- 1) две буквы *AR* ставятся перед диагнозом заболевания, вызванного побочным действием лекарств;

2) степень определенности диагноза характеризуется буквами *i* и знаками вопроса: *i*) — определенный или почти определенный диагноз; *ii*) — подозреваемый диагноз, в котором в конце ставится «?»; *iii*) — диагноз, который должен быть проверен. В конце ставятся два вопросительных знака.

Лекарства, вызвавшие побочный эффект, делятся в системе на две группы: используемые и не используемые в больнице. Заболевания, связанные с побочными действиями лекарств, делятся на две категории: а) прямые побочные действия лекарств (лекарственная сыпь, SMON, глухота, вызванная стрептомицином); б) заболевания, которые часто сопровождают применение лекарств (тромбоцитопения, агранулоцитоз, анафилактический шок и др.).

Для прямых побочных действий с помощью ЭВМ вырабатываются списки больных, содержащие диагнозы лекарственных заболеваний, оценку достоверности этих диагнозов, наименование вызвавших заболевание медикаментов, классификационный код побочного действия (по международной классификации, по классификации ВОЗ), даты первого и последнего посещений, прогноз и подтверждение диагноза.

Для 8633 зарегистрированных больных было обнаружено 226 случаев лекарственных заболеваний. Вообще все случаи лекарственных заболеваний в описываемой системе делились на четыре категории: достоверные, вероятные, возможные, сомнительные. Из 226 случаев 155 оказались достоверными, 57 — вероятными, 9 возможными, 5 — сомнительными (эти случаи впоследствии были отклонены).

При работе данной информационной системы было получено следующее процентное распределение побочных действий лекарств на различные органы и системы организма: кожные заболевания — 48,2%, расстройства желудочно-кишечного тракта — 17,6%, общее расстройство — 8,1%, расстройства центральной и периферической нервной системы — 6,8%, другие нарушения — 19,4%.

В среднем в городе Осака ежегодно фиксируется от 500 до 600 побочных действий лекарств (по одному случаю на больницу). Одна из причин, объясняющих малое число регистрируемых случаев побочных действий лекарств при неавтоматизированном способе сбора и обработки данных, — нежелание врачей создавать себе дополнительные трудности. В описываемой автоматизированной системе эти трудности сведены для врачей к минимуму. В этой системе регистрируется вся информация о больных, в том числе и о побочных действиях лекарств на различных стадиях их проявлений (с последующими подтверждениями или отклонениями). Обнаружено, что из общего числа первоначально установленных побочных действий лекарств 4,2% было отклонено. Высказывается предположение, что многие побочные действия лекарств не обнаруживаются, так как они смешиваются с другими заболеваниями. Для обнаружения новых серьезных лекарственных заболеваний необходимо, чтобы врачи постоянно получали информацию о возможных проявлениях этих заболеваний. В этом отношении большое значение имеют специальные исследования. Так, в результате исследований было установлено повышение частоты ишемической болезни сердца при приеме толбутамида.

Приведенные примеры практически действующих автоматизированных информационных систем показывают возможности и большую важность применения ЭВМ для накопления и выдачи информации по медикаментам и, в частности, для учета и анализа побочных действий медикаментов. Следующие примеры показывают применение ЭВМ непосредственно в процессе медикаментозного лечения больных [39, 40, 41]. Мини-ЭВМ специально используется для обработки данных по клинической фармакокинетике и, в частности, для контроля индивидуальных дозных режимов [39]. Особенности системы являются гибкость применения, возможность расширения круга решаемых задач и простота использования лицами, не являющимися специалистами по ЭВМ. Фармакокинетика занимается изучением вопросов восприятия лекарств, их распределения и выведения (устранения) из организма. Обычно этот процесс контролируется путем анализа содержания в плазме крови и (или) в моче концентраций введенных медикаментов или их конечных метаболитов.

Фармакокинетика как наука опирается на методы химического анализа биологических веществ и на методы математического моделирования динамических систем. Эта наука позволяет в принципе оптимизировать и контролировать индивидуальный режим приема медикаментов каждым больным с учетом особенностей его физиологии, метаболизма, морфологии, возраста, пола и др.

В описываемой системе, реализованной в Марселе (Франция), были взяты под контроль некоторые типы медикаментов, характеризующиеся трудностями применения в связи с их низким терапевтическим индексом.

Для определения фармакокинетических параметров конкретного пациента ему давалась умеренная тестовая доза медикамента. Затем вычислялся дозный режим с учетом того, чтобы концентрация медикамента в плазме находилась в допустимых для пациента пределах. Прием лекарства

осуществляется в соответствии с рассчитанным дозным режимом; при этом ведется систематический контроль концентрации медикамента в плазме.

Первые опыты расчетов проводились для высокодозного метотрексата (methotrexate — МТХ), применяемого при лечении злокачественных опухолей головы и шеи. Способ применения этого лекарства (36-часовое непрерывное вливание) и простота терапевтической модели (линейная разделимая система) делали возможным сравнительно простой расчет дозы, обеспечивающей заданный уровень концентрации в плазме во время вливания. Попытки подобных расчетов для других медикаментов (теофиллин, антиаритмис и др.) показали, что ситуация значительно сложнее. Эти медикаменты вводились через рот с определенной периодичностью, что требовало более полного знания фармакокинетики. Доза и порядок приема влияли на концентрацию медикамента в плазме и на терапевтический эффект и не поддавались простым расчетам. Это обусловило необходимость применения метода моделирования. Так как система должна была работать в клинических условиях и быть постоянно доступной для использования, то это исключало возможность применения удаленных терминалов, связанных с большой ЭВМ. По этой причине была выбрана мини-ЭВМ, специально предназначенная для решения данной задачи.

Клиническая информационная фармакокинетическая система содержит:

1) информационный массив, включающий следующие подмассивы: словарь наименований медикаментов и других медицинских терминов данной предметной области; данные, характеризующие индивидуальные результаты применения системы (экспериментальные данные); данные статистической обработки результатов лечения; результаты идентификации контрольных случаев фармакокинетики;

2) программу идентификации, включающую блок «графической декомпозиции»; блок нелинейного метода наименьших квадратов (внешний); блок нелинейного метода наименьших квадратов (внутренний);

3) программу имитационного моделирования в составе: блока линейных моделей; блока универсальной модели;

4) программу расчетов дозных режимов;

5) подсистему диалога с врачами (графические и алфавитно-цифровые терминалы и соответствующие программы).

Основу системы составляет набор достаточно простых программ обработки файлов (массивов данных), обеспечивающих ведение клинических протоколов для большого числа пациентов. Важную роль играют также программы организации диалога, направляемого ЭВМ с помощью стандартных последовательностей вопросов, а также программы построения графиков, отображающих дозные режимы.

Программы линейного моделирования фармакокинетики представляют автономные процессы в разных частях организма и фактически осуществляют расчеты по простым формулам. Программы моделирования второго типа имеют более общее назначение и основаны на интегрировании систем дифференциальных уравнений методом Рунге—Кутты. При этом моделируется процесс фармакокинетики во взаимосвязанных частях организма, Передачи воздействий между разными частями могут определяться принятым порядком кинетики, уравнением Михаелиса—Ментона, процессом насыщения. Указанные два типа моделей позволяют моделировать как классические разделимые случаи, так и более сложные случаи (рециркуляторные стохастические модели фармакокинетики, физиологические фармакокинетические модели).

Программы идентификации позволяют настраивать модели на конкретные случаи (для определенных пациентов). В описываемой системе имеется общая программа идентификации для линейной разделимой (compartments) модели, которая применяется на практике наиболее часто. Кроме того, имеются программы идентификации для некоторых нелинейных моделей фармакокинетики отдельных изучаемых медикаментов (как, например, 5-фторурацил).

Имеются три программы идентификации для линейных моделей. Первая программа использует классический подход декомпозиции кривых и позволяет отдельно обрабатывать данные, относящиеся к плазме и к моче. С помощью этой программы получают значения некоторых параметров, необходимых для работы программы общей идентификации на основе нелинейного способа наименьших квадратов.

Вторая программа позволяет производить оценку данных внешнего представления модели. При этом рассчитываются коэффициенты для суммы экспонент с использованием процедуры минимизации Флетчера—Повелла. Расчет ведется одновременно для данных, относящихся к плазме и к моче.

Третья программа осуществляет прямую оценку значений констант передачи между частями организма (между блоками модели). Эта программа использует ту же процедуру минимизации и обеспечивает внутреннее представление модели. Она позволяет обрабатывать одновременно данные измерений, полученные для разных частей организма, и результаты комплексных обследований одного и того же человека с выдачей значений доверительных интервалов для получаемых оценок. Алгоритм основан на решении системы дифференциальных уравнений и может использоваться для моделирования различных нелинейных процессов.

Программы определения дозных режимов используют результаты работы программ моделирования. [Для линейных моделей применяются в зависимости от способа введения медикамента прямые расчетные формулы, которые дают либо точный ответ, либо приближенное значение. В последнем случае производится уточнение дозного режима методом проб и коррекции ошибок с помощью моделирования. Для нелинейных моделей используется, как правило, последний путь определения дозного режима.

В описываемой системе имеется также ряд программ статистической обработки данных (проверка гипотез, вариантный анализ, определение доверительных интервалов). Программы написаны на языке ФОРТРАН-IV и поэтому могут использоваться на разных ЭВМ.

В данной системе применялась мини-ЭВМ ИНТЕРДАТА 5/16 с оперативной памятью 64 кбайта и четырьмя накопителями на флоппи-дисках емкостью по 256 кбайтов каждый, графический и алфавитно-цифровой терминалы (дисплеи) с печатающей машинкой. Для ускорения расчетов сложных моделей желательно иметь в ЭВМ операции с плавающей запятой.

Перспективы развития данной информационной системы заключаются в основном в усовершенствовании методов нелинейного моделирования и уточнении основных положений идентификации процессов фармакокинетики (вопросы эффективности, характеристики выведения лекарств из организма и др.).

Интерес представляет новое средство для передачи и отображения медицинской информации, в частности информации по медикаментам, применяемое в ФРГ и Англии под названием «Вьюдата» [40]. В ФРГ это средство внедряется в различные фармацевтические предприятия. В печати имеются высказывания, что «Вьюдата» знаменует собой революцию в информационных системах. «Вьюдата» — двустороннее средство обмена информацией на базе адаптированных телевизионных установок, соединенных каналами обычной телефонной связи с удаленными вычислительными центрами. Впервые это средство, объединяющее в единую систему телевизоры, телефонную связь и ЭВМ, было разработано в Англии для нужд почтового ведомства. Пользователи могут иметь установки в учреждении или дома и пользоваться широким набором информации, зависящим от разветвленности сети и подключения к ней источников информации и других пользователей. Владельцы информации могут ограничивать доступ к ней определенных групп пользователей благодаря имеющимся в системе средствам контроля. Со своей стороны пользователи могут посылать в систему запросы на информацию и сообщения об ее получении, а также комментарии или дополнения к полученной информации. Такой двусторонний обмен сообщениями принципиально отличает систему «Вьюдата» от радиовещательных систем и обычных телевизионных передач (работающих в одном направлении).

Предполагается внедрение системы «Вьюдата» в ведомствах связи в ФРГ, США, Японии и других странах. Основными принципами «Вьюдаты» являются использование широким кругом людей информационной системы на базе ЭВМ, дешевизна применения и простота обращения. В отличие от известных сетей ЭВМ, в данном случае не имеется связанных протоколов, которые должны изучаться пользователями. Пользоваться «Вьюдатой» так же просто, как обычным телефоном. Эта система имеет большие перспективы применения в области медицины и здравоохранения. В Англии имеется опыт применения этой системы для обеспечения возможности обращения населения за информацией по медицине и здравоохранению. Используя средства ограничения доступа, систему «Вьюдата» могут применять отдельные фирмы для связи между предприятиями и конторами, а также со своими торговыми точками. Для обращения к закрытой информации пользователь должен сначала идентифицировать себя с помощью пароля.

Для таких отраслей промышленности, как фармацевтическая, которая в сильной степени зависит от возможности передавать информацию в масштабе страны, подобные информационные средства, как «Вьюдата», играют важную роль. Информация по медикаментам не является статической; она постоянно и быстро меняется. Растет количество стандартов, новых или улучшенных лекарственных средств, а также данных о побочных действиях лекарств и противопоказаниях; меняются формы выпуска, способы применения, цены лекарств. Для врачей важно иметь быстрый доступ к достоверной и полной

информации по медикаментам. Однако врачи не могут пользоваться сложными системами в силу ограниченности времени и отсутствия навыков работы со специальными информационными системами. В повседневной практике врачи в первую очередь нуждаются в справке об имеющихся в продаже медикаментах, включая их формулы, производителей, показания, противопоказания, побочные действия, вредные действия, цены и схемы применения (дозы, способы введения, контроля и т. д.).

Важным видом информации являются также систематизированные статистические данные по результатам применения, включая возможные (предполагаемые) побочные действия и вредные действия медикаментов. С помощью установок «Вьюдаты» врачи могут просто и в то же время профессионально точно сообщать системе свои наблюдения о действиях лекарств и получать из системы рекомендации по дозировкам, в том числе для сложных случаев, например при лечении больных с заболеваниями почек, когда ошибки в дозной схеме могут привести к тяжелым последствиям. Система «Вьюдата», реализованная в ФРГ, носит название «Билдшарштект». На этой системе производились эксперименты с массивом медикаментов около 10 000 наименований, которые включены в так называемый Красный список. Этот список ежегодно выпускается тиражом 150000 экземпляров объединением фармацевтических фирм ФРГ, которые производят 95% всех лекарств в стране.

В описываемой информационной системе по медикаментам применяется диалоговый режим общения врача с ЭВМ. Сначала ЭВМ выдает на экран врачу четыре пункта, определяющих способ поиска нужного медикамента:

1. По названию медикамента.
2. По показаниям или фармакологической группе.
3. По поставщику (производителю).
4. По химическому обозначению.

Врач должен выбрать один из этих способов в зависимости от его подготовленности в данном вопросе. Если врачу известно наименование медикамента (например, инсулин инитард лео), то ЭВМ находит его в алфавитном списке лекарств и выдает на экран справку по этому медикаменту. В справке указываются наименование, форма выпуска, цена, отпускается по рецепту или свободно. В нижней части этой справки перечисляются шесть вопросов для врача, из которых он снова должен выбрать один:

0. Состав.
  1. Область применения.
  2. Ограничения на применение.
  3. Указания по реакционным возможностям.
  4. Дозировка.
  5. Общий указатель.

Если, например, врач выбирает вопрос 2, тогда ЭВМ выдает сведения по побочным действиям и противопоказаниям. Для приведенного выше примера медикамента (инсулин инитард лео) будет выдана следующая справка:

Противопоказания: нет;

Сопутствующие действия: липодистрофия, переходная одема, рефракционная аномалия;

Взаимодействия нежелательные:

Хлорпромазин	} Уменьшается содержание сахара в крови
Кортикоид	
Никотинат	
Гормоны щитовидной железы	

Для получения дополнительных сведений о взаимодействии врачу предлагается задать один из двух (или оба поочередно) вопросов:

0. Инсулин инитард лео. Указание.
9. Общий указатель.

Авторы [40] отмечают, что первые опыты с данной системой показали, насколько она перспективна. Многие фирмы внедряют подобные системы, и соответствующее оборудование выпускается в массовом порядке. Телевизионные аппараты соединяются с микро-ЭВМ со своими программами; так образуются «интеллектуальные» терминалы, обеспечивающие двусторонний обмен информацией. В дальнейшем возможны также передача рецептов от врачебных терминалов к аптечным терминалам и прямой диалог между врачами и фармацевтами.

Рассмотрим принципы построения информационной системы для учета побочных и вредных действий лекарств, созданной в ФРГ для немецкой врачебной комиссии по лекарствам в кооперации с ВОЗ. Цель этой системы — повысить безопасность применения лекарств. Одной из основных задач системы является обеспечение по возможности наиболее широкого учета сведений о побочных действиях лекарств, применяемых как в больницах, так и дома. Типовая форма сообщения о побочном действии лекарства, принятая в системе, соответствует форме, регулярно публикуемой в журнале «Немецкий врачебный лист».

Содержание формы переносится с помощью автономного устройства на магнитную карту, которая вставляется в терминальное устройство IBM СМС 72, передающее информацию в вычислительный центр.

В ЭВМ осуществляется автоматический формальный контроль принятого сообщения по следующим пунктам:

- а) полнота сообщения;
- б) правильность записи наименований лекарств (сравнивается со словарем лекарств), наименований побочных и вредных действий (сравнивается со специальным словарем этих наименований), терминов проявлений (сравнивается с международным классификатором). В случае появления новых медикаментов или новых реакций соответствующие словари пополняются новыми терминами. Эти данные преобразуются в формат информационной системы ВОЗ и переписываются на магнитную ленту для передачи в эту систему.

Все сообщения о побочных и вредных действиях вводятся в основной массив системы. Поиск в этом массиве осуществляется с помощью интерпретативной системы управления базой данных (INDA), разработанной в Немецком раковом исследовательском центре. Эти поиски служат, в частности, для ответов на вопрос: дают ли определенные медикаменты или их группы заданные или подобные вредные эффекты? Информация в массиве организована по иерархической схеме классификации. Первый уровень классификации учитывает такие анкетные данные пациента, как возраст, пол, вес, рост и т. д. Уровни классификации со второго по четвертый построены на основе специального словаря — классификатора побочных и вредных реакций медикаментов. Уровни с пятого по одиннадцатый содержат наименования медикаментов, вызывающих эти вредные реакции, а также причины для лечения. Свободным текстом даются дополнительные пояснения для лечения.

В системе учитывается также информация об основных заболеваниях, сопутствующих заболеваниях, жалобах, лабораторных анализах, заключениях врачей. Система позволяет получать ответы на сложные вопросы, например: «Какие лекарства в сочетании дают взаимодействия?», «Каков интервал между применением лекарства и проявлением вредного эффекта?», «Возрастает ли риск вредного действия лекарства с возрастом больного?». В запросах на поиск допускается использование основных логических связей (и, или, нет), для связи отдельных частей запроса. Ответы выдаются либо текстом, либо графиками, либо таблицами. Например, на такой вопрос: «Являются ли рабочие с повышенным весом более предрасположенными к вредным действиям лекарств по сравнению с рабочими с нормальным или пониженным весом?» — ответ может быть выдан в виде графика или таблицы.

Возможность обработки в системе текстовой информации наряду с кодированными данными существенно повышает эффективность ее применения, в частности для ранней регистрации серьезных случаев вредных действий лекарств (которые еще не учтены в кодификаторах и словарях). Важной составной частью системы является достаточно сложный иерархический тезаурус (словарь) медикаментов, который позволяет обрабатывать текстовые запросы.

В запросах сначала выделяются наименования медикаментов, которые заменяются стандартными обозначениями с использованием словаря синонимов и системы фармакологической и терапевтической классификации. После этого в запрос включаются все медикаменты той же классификационной группировки и с теми же компонентами. Система регулярно выдает ответы для комиссии по лекарствам с указанием лекарств, вызвавших серьезные осложнения или смерть пациентов. С целью обеспечения конфиденциальности информации о пациентах эта информация хранится отдельно и доступ к ней возможен только для лиц, знающих специальную систему защитных кодов и паролей. Данная система (REGARD) находится в эксплуатации с 1979 г. и содержит информацию, накапливающуюся с 1973 г.

После ознакомления с рядом конкретных примеров информационных систем по медикаментам рассмотрим основные принципы построения перспективной информационной системы по медикаментам. Очевидно, что такая система в первую очередь должна быть ориентирована на улучшение

медикаментозного обслуживания пациентов и, кроме того, должна обеспечивать механизацию учетных и отчетных функций соответствующих подразделений аптек, больниц и поликлиник.

Необходимым условием правильного медикаментозного лечения больных является наличие в информационной системе помимо информации о медикаментах также информации о конкретных больных, необходимой для правильного индивидуального выбора метода лечения. Большое значение при этом имеет наличие полной и точной информации о побочных и вредных действиях лекарств с учетом индивидуальных особенностей пациентов (аллергия, данные о предшествующих заболеваниях и лечениях и т. д.).

Основным звеном в распространении лекарств среди населения являются районные аптеки и было бы важно в будущем обеспечить фармацевтов этих аптек регулярной информацией о медикаментах, в том числе о побочных действиях лекарств с учетом индивидуальных особенностей пациентов. Врачи при выписке рецептов должны иметь возможность обращаться к информационной системе за справками о ранее принимавшихся пациентом лекарствах и их действиях на пациентов, о ранее перенесенных заболеваниях, о свойствах новых медикаментов. При этом необходимо обеспечить постоянный контакт между врачами и фармацевтами при определении методов медикаментозного лечения и оценке их эффективности. Обычно врачи выписывают рецепты с указанием дневных доз, и поэтому необходимо, чтобы при обработке этих рецептов в системе определялись общие количества принимаемых лекарств и их ингредиентов; в подавляющем большинстве случаев лекарства включают в себя большое число различных ингредиентов (больше 10).

По-видимому, в будущем должна быть повышена роль районных аптек как центров обеспечения медикаментозного лечения населения, в частности в отношении контроля принимаемых от больных рецептов, консультаций и предупреждений больных, систематических контактов с врачами, выписывающими рецепты. В связи с этим фармацевты районных аптек должны иметь доступ к массивам медицинских данных о пациентах, хранящимся в районных медицинских вычислительных центрах. Для этого в аптеках должны быть экранные терминалы (дисплеи), агрегатированные с печатающими машинками, а методика и язык общения с системой должны быть предельно простыми. В частности, для частых случаев обращений в аптеку хронических больных с повторными или почти одинаковыми рецептами должна быть предусмотрена возможность краткого подтверждения рецепта или внесения в него необходимых изменений.

Особое значение приобретает вопрос защиты пациентов от неправильного назначения или использования лекарств. С этой целью в системе должен осуществляться автоматический контроль вводимых рецептов в трех аспектах:

- а) на соответствие лекарства данному пациенту (учет идеосикразии, аллергических реакций пациента, возраста, профессии, пола, беременности для женщин, веса, наследственных данных и т. д.). Известно, что старые люди и дети более чувствительны к лекарствам;
- б) учет критических свойств самого лекарства и способов его применения (максимальных разовых, дневных и полных доз, побочных действий лекарств, допустимых периодов применения и т. д.);
- в) учет взаимодействия разных медикаментов (как принимаемых одновременно, так и с ранее принимавшимися медикаментами).

Некоторые лекарства являются несовместимыми, их нельзя принимать одновременно, так как между ними происходят реакции взаимодействия (например, между кислотными и щелочными группами). Кроме того, лекарства могут, не взаимодействуя друг с другом, оказывать вредное совместное действие на пациента. Для определения такого взаимодействия используется классификация медикаментов по фармакологическим группам (порядка 30), а также по их химическому составу. Одним из типовых случаев недопустимого совместного действия лекарств является передозировка лекарства, вызванная повторным назначением одного и того же лекарства (или компонента) в одном и том же рецепте или в разных рецептах. Система должна автоматически выявлять такие случаи и обращать на них внимание врачей и фармацевтов.

С точки зрения обеспечения работы указанной информационной системы по медикаментам в районном медицинском вычислительном центре должны быть предусмотрены следующие основные информационные массивы (файлы): файл пациентов, файл рецептов, файл медикаментов.

*Файл сведений о пациентах.* В этом файле для каждого жителя района должна вестись история его медицинской жизни (история болезней с дополнительными данными, касающимися наследственности, привычек, профессии, семейного положения и условий жизни). Здесь должны быть указаны



аллергические реакции на различные медикаменты и вещества, сведения о всех прививках, ранее принимавшихся лекарствах и т. д.

*Файл рецептов.* В этом файле должны фиксироваться все рецепты, назначавшиеся для всех пациентов района. В заголовке рецепта указываются обычные данные (дата выписки, дата назначения, учреждение, врач и т. д.). Рецепт с помощью отсылочного кода связывается с записью истории пациента, для которого он выписан. Врач и учреждение фиксируются также кодами, являющимися отсылками к соответствующим файлам. В основной части рецепта указываются медикаменты, способы и дозы применения. Здесь также используются коды, отсылающие к файлу медикаментов. Допускаются текстовые записи пояснений и врачебных примечаний, имеющих в рецептах.

*Файл медикаментов.* В этом файле для каждого медикамента хранится информация о фармакологических свойствах, информация, необходимая для контроля рецептов (назначений), информация по применению этого лекарства. Противопоказания, связанные с определенными профилями пациентов, а также данные, характеризующие взаимодействия медикаментов, представляются с помощью логических векторов. Имеются специальные признаки, показывающие необходимость проверки данного медикамента на совместимость с другими медикаментами. При наличии в составе медикамента двух и более ингредиентов для каждого из них должны указываться признаки контроля на совместимость с другими медикаментами и на противопоказания для определенных категорий пациентов (по полу, возрасту, профессиям, образам питания и жизни и т. д.). Для каждого медикамента и их ингредиентов приводятся химические наименования и соответствующие коды, позволяющие производить проверки рецептов или получать необходимые справки по медикаментам.

Рассмотренные общие соображения о построении информационной системы для районной аптеки могут быть в основном применены и при создании перспективных систем для больничных аптек. При этом реализация подобных систем в больницах возможна в более доступные сроки, так как создание общей больничной информационной системы, содержащей данные о больных, врачах, оборудовании, методах диагностики и лечения и другие, является более реальным делом, чем создание районных медицинских информационных центров, частью которых должны быть информационные системы для районных аптек. Однако и то и другое направления применения ЭВМ в медикаментозном обеспечении пациентов (стационарных и амбулаторных) являются актуальными и должны развиваться параллельно. Несомненно, что создание подобных систем приведет к существенному повышению эффективности медицинского обслуживания населения.

В заключение приведем еще пример автоматизированной информационно-поисковой системы по промышленным, бытовым и лекарственным ядовитым веществам, которая создана в г. Ванкувер (Канада) [41]. Система обеспечивает быстрый поиск по запросам данных о возможных причинах отравления, а также подготавливает систематизированные и регулярно обновляемые справочники по ядовитым веществам. В Канаде ежегодно попадают в больницы свыше 100 000 человек в связи с отравлениями, причем две трети из них — по причине бытовых отравлений. Успех лечения зависит от быстроты распознавания вида отравления.

Описываемая система (INFO) позволяет определять вещество, вызвавшее отравление, на основе признаков и симптомов отравления, физических свойств вещества, данных на упаковке и т. д. Часто бывает, что упаковка отсутствует или содержит неполные данные.

Система может обрабатывать текстовую информацию, что облегчает процесс взаимодействия людей с ЭВМ и позволяет подготавливать текстовые сообщения любых форматов и размеров. Основная трудность в создании подобных систем состоит в преодолении субъективных факторов в процессе распознавания причин отравления. Во многих случаях признаки и симптомы отравления не являются специфичными, что при наличии в обиходе свыше 2000 ядовитых веществ существенно усложняет процесс их распознавания. Реакция организма человека на ядовитые вещества сугубо индивидуальна: то, что для некоторых людей вызовет легкое расстройство, для других людей может быть смертельным.

В системе имеется упорядоченный набор признаков и симптомов отравления каждым из ядовитых веществ, с которыми могут контактировать люди в быту или на производстве. Для повышения гибкости системы эта информация представлена в текстовой форме. Поиск идет путем последовательного отсеивания веществ, не имеющих отношения к данному конкретному случаю отравления. Например, если известно только то, что пациент испытывает боли от отравления, то система выдаст наименования примерно 100 ядовитых веществ. Сужение круга рассматриваемых веществ может быть достигнуто указанием вида боли, для чего в системе предусмотрена следующая их классификация:

жгучая боль во рту и в горле;  
боль при мочеиспускании,  
боль в области сердца,  
боль в абдоминальной области,  
ангинальная боль,  
желудочная боль,  
периодическая ангинальная боль,  
поясничная боль,  
острая боль в желудочно-кишечном тракте,  
субстернальная боль,  
боль в горле.

При обработке текстовой информации система учитывает синонимию терминов и различия в синтаксической структуре предложений. При автоматической подготовке справочников по ядовитым веществам предусматриваются тщательный контроль и редактирование материалов, выдаваемых ЭВМ, опытными клиническими фармакологами, педиатрами и другими специалистами.

База данных системы представляет собой массив аннотаций — справоч по ядовитым веществам.

Каждая аннотация соответствует одному веществу и включает в себя следующие пункты: наименование; поставщик (производитель); класс или тип вещества; описание вещества; формула; токсичность; признаки и симптомы; методика лечения; дополнительные данные.

Пункты делятся на подпункты, например «наименование» может включать в себя рыночное наименование, химическое наименование, общее наименование, синонимы. Для ускорения поиска аннотации хранятся в базе данных в соответствии с определенной системой классификации и поиск ведется путем определения последовательно сужающегося множества аннотаций (вплоть до получения одной аннотации). При формулировке запроса на поиск допускается использование логических операций «и», «или» и «нет» для объединения в запросе на поиск различных терминов. Далее возможен просмотр текстов внутри аннотаций с целью нахождения в них заданных строк символов (слов, словосочетаний, формул и т. д.).

Система INFO реализована в виде пакета прикладных программ на языке ассемблера для ЭВМ IBM 370/168. Эта система установлена в информационном центре по медикаментам и ядам в г. Ванкувере (Канада). Для оперативного взаимодействия медицинского персонала клиники используются экранные терминалы/Помимо упомянутой выше подготовки и выпуска справочников по ядовитым веществам система регулярно выдает такие же справочники на микрофишах для пунктов скорой помощи. В эти пунктах установлены читающие устройства с микрофиш, которые позволяют быстро находить справки по ядовитым веществам в экстренных случаях, без обращения к ЭВМ информационного центра.

Естественно, что приведенные примеры далеко не исчерпывают всех возможностей и направлений применения ЭВМ и кибернетических методов в диагностике и терапии. Однако они показывают разнообразие и большие возможности этих методов и значительные перспективы их развития и практического применения.

## *Глава 7*

# **КИБЕРНЕТИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ МЕДИЦИНСКОЙ НАУКИ**

## **7.1. Общий подход**

Вклад науки в повышение производительности труда, увеличение национального дохода чрезвычайно велики. В этих условиях особенно важное значение приобретает управление развитием науки с тем, чтобы эффективность труда ученых и, следовательно, эффективность вкладываемых в научные исследования средств были максимальными.

Основы управления наукой стали развиваться лишь в последние десятилетия, и в настоящее время выделилась целая отрасль науки — науковедение. Науковедение обобщает опыт функционирования научных систем с целью повышения эффективности управления научным процессом с помощью средств организационного, экономического, информационного и социального воздействий. Одной из наиболее насущных задач теории управления наукой является поиск путей оптимизации научно-

исследовательской деятельности, перспективных методов совершенствования самого процесса управления наукой на всех уровнях.

Важнейшим вопросом повышения эффективности науки является также создание оптимальной структуры научно-исследовательского учреждения, отвечающей поставленным научным проблемам. Как известно, структура научного учреждения может строиться по функциональному или проблемному принципу, а может быть и смешанной. При функциональном принципе работы института в лабораториях объединены сотрудники однородных специальностей, при проблемном принципе — работники различных специальностей для комплексной работы над одной проблемой.

Функциональный принцип построения структуры, как правило, приводит к лучшему использованию сложной и дорогостоящей аппаратуры. Поэтому, например, в медико-биологических научных учреждениях (да и не только в них) целесообразно создание широкого круга централизованных лабораторий, обеспечивающих потребности всего учреждения. Так, в отдельных научных медицинских учреждениях уже создаются лаборатории электронной микроскопии, парамагнитного резонанса, биохимические, морфологические и другие, в которых концентрируется уникальная дорогостоящая аппаратура. Лаборатории укомплектовываются квалифицированными специалистами, владеющими сложными методами исследования. Создание подобных централизованных лабораторий обеспечивает возможность ускорения научных исследований и полной загрузки сложной аппаратуры. Вместе с тем функциональный принцип значительно усложняет организацию комплексных исследований. При функциональной структуре института комплексность, как правило, обеспечивается проблемными комиссиями, координирующими межлабораторные исследования по курируемой проблеме.

Во многих случаях наиболее эффективной оказывается смешанная структура института (по функциональному и проблемному принципу), которая дает возможность комплексного решения проблем с использованием преимуществ, получаемых при специализации лабораторий.

Количественно степень развития научно-исследовательской деятельности определяется абсолютными (ассигнования, численность и квалификация персонала, число публикуемых работ и др.) и относительными показателями (соотношение между затратами на исследования всех видов и национальным доходом, между численностью научного персонала и общей численностью занятых, затраты на науку из расчета на душу населения и т. д.).

Темпы развития научно-исследовательской деятельности опережают темпы развития материального производства. Количественные характеристики объемов научно-исследовательской деятельности до настоящего времени возрастают по экспоненциальному закону с небольшими отклонениями.

Однако по мере увеличения масштабов научно-исследовательской деятельности экспоненциальный характер ее развития все в большей степени нарушается сдерживающими факторами: ограниченностью людских и материальных ресурсов; невозможностью ученым даже в узкой области работ охватить все возрастающий поток научно-технической информации; удлинением сроков учебы в связи с нарастанием сведений и соответственно сокращением периода активной научной работы.

Очевидно, науке как особому виду производства суждено повторить ход, характерный для промышленного производства и заключающийся в переходе от экстенсивного развития к интенсивному. Наука далее будет развиваться за счет интенсификации, в первую очередь за счет повышения производительности труда исследователей.

Во многих странах систематически ведутся исследования, направленные на повышение эффективности научной деятельности. В научно-исследовательских институтах создаются специальные лаборатории или группы, основной задачей которых является усовершенствование деятельности этих институтов. Выходят тематические сборники, посвященные вопросам экономики и организации научно-исследовательских работ, монографии, научные статьи. Возникают исследовательские центры, специализирующиеся на изучении основных проблем научно-исследовательской деятельности. Проводятся конференции, семинары, симпозиумы по науковедческим вопросам.

Для правильного методического подхода к проблеме управления наукой необходимо учитывать неоднородность научной деятельности и рассматривать эту проблему не по отношению к науке, а по отношению к основным ее видам.

В литературе и научно-практическом обиходе нет установившейся единой классификации видов научной деятельности.

Обычно при построении классификационных схем применяют иерархический принцип, отвечающий следующим требованиям:

а) на каждом уровне классификации деление совокупности объектов (тем, вопросов) производится по одному и тому же признаку;

б) классификация должна быть исчерпывающей, т. е. сумма подмножеств должна составлять классифицируемое множество;

в) классификация должна быть исключающей, т. е. обеспечивать деление всего множества на непересекающиеся подмножества.

Следует заметить, что ни одна из известных систем классификации научных исследований не отвечает этим трем условиям в полной мере.

Многообразие решений в области организации и выполнения научно-исследовательских работ делает, по-видимому, нереальным установление какой-то единой, всеобъемлющей системы классификации. Практически общепринятой в настоящее время является классификация, предусматривающая деление работ в области научно-технического прогресса на три вида: теоретические исследования; прикладные исследования; опытно-конструкторские работы (разработки).

"Часто теоретические исследования, посвященные важным общенаучным проблемам, называют фундаментальными исследованиями. Иногда теоретические исследования противопоставляют экспериментальным исследованиям. Однако чаще всего создание теории какого-то явления, т. е. теоретическое исследование, неразрывно связано с проведением экспериментов и построением математической модели этого явления. Дальнейшие подразделения классификации, по-видимому, не могут быть универсальными и должны вводиться в отдельных случаях в зависимости от рассматриваемой проблемы.

Важное значение в управлении наукой имеет количественный подход к оценке производительности научно-исследовательского труда. Как известно, проблема измерения одна из наиболее трудных в науковедении. Как измерять количество научной продукции? Рассмотрим некоторые существующие и предлагаемые количественные критерии:

1. **Натуральные показатели.** Этот критерий чаще всего используется при оценке экспериментальных работ и опытно-конструкторских разработок. Обычно при постановке такого рода исследований задаются определенные показатели (масса груза, точность и производительность прибора и т. д.) и оценка работы может производиться по степени достижения этих показателей. Для теоретических исследований такой критерий использовать трудно.

2. **Публикационный критерий.** Этот критерий, наоборот, чаще всего используется при оценке научной работы теоретического характера. Очевидно, что этот критерий является далеко неполным, так как он не учитывает качества (научную значимость) публикуемого материала.

Поэтому публикационный критерий в чистом виде не может быть использован для оценки производительности труда научных работников.

3. **Показатель цитируемости.** Число ссылок (степень цитируемости) авторов на данную работу обычно отражает научное значение труда исследователя, причем этот показатель более объективен, чем число опубликованных работ. Однако здесь следует учитывать также условия публикации, распространенность издания, общее число специалистов, работающих в данной области, которые могут цитировать оцениваемую работу.

На степень цитируемости оказывают влияние языковой и идеологический барьер — западные ученые сравнительно мало ссылаются на работы советских ученых. При цитировании коллективных работ обычно упоминаются только авторы, чьи фамилии стоят первыми; запаздывание с опубликованием в печати статей затрудняет их оценку с точки зрения критерия цитируемости.

4. **Экономический критерий.** Экономический эффект научных исследований является достаточно надежным и распространенным показателем для оценки научной деятельности. Однако этот критерий следует применять с учетом вида исследований, так как получение экономического эффекта связано обычно с последним этапом работ (при классической последовательности теоретического исследования — прикладные исследования — разработки). Очевидно, что невозможно требовать от ученых, занятых фундаментальными исследованиями, немедленного экономического эффекта.

5. **Стоимостный критерий** — оценка деятельности по объему затраченных средств. Этот критерий часто применяется при планировании и общей оценке объема научной работы организаций. Однако ясно, что этот критерий не охватывает такой важной стороны научной работы, как ее качество, и тем более ее научное значение.

Стоимостный критерий может применяться только для оценки объемов научных работ при планировании этих работ и расчете их финансирования.

б. Оценка по количеству выполненных работ. Данный критерий является весьма неточным, так как не учитывает сложности и важности различных работ. Этот подход имеет распространение на практике.

Как видно из перечисления различных подходов к оценке производительности научного труда, ни один из рассмотренных критериев не охватывает всех сторон этого сложного творческого процесса. Поэтому актуальным является вопрос о выработке рационального комплекса критериев, отражающих основные аспекты научной деятельности.

С проблемой количественных критериев тесно связан вопрос об исходной информации для таких оценок. Так, в справочниках ЦСУ содержатся лишь данные о числе научных работников, научных учреждений и бюджетных ассигнованиях на науку и отсутствуют экономические или натуральные показатели, определяющие эффективность работы этих учреждений. Трудность получения такого рода объективных показателей является одной из главных причин повышенной значимости экспертных оценок для науковедения и для планирования науки. Очень часто невозможно путем расчета или наблюдения получить количественную характеристику значимости того или иного исследования и его влияния на ход других исследований. Такого рода оценки часто делаются экспертным путем, т. е. специалистами данной области знаний.

Метод экспертных оценок может применяться:

а) для качественной оценки явления, когда прямой расчет слишком громоздок или невозможен. Например, изучая причины текучести кадров, можно использовать метод анкетного опроса в сочетании с анализом мнений опытных кадровиков, имеющих дело с увольняющимися и знающих основные причины увольнений;

б) для изучения причинно-следственной связи при отсутствии количественных показателей. Например, нужно выявить связь между моральным или материальным поощрением сотрудников и полезным действием поощрения (для выработки оптимальной политики руководства в вопросе стимулирования). Здесь не обойтись без экспертных оценок.

Одна из главных задач любого научно-исследовательского учреждения — анализ текущего состояния исследований и прогнозирование развития данной отрасли науки или техники. При разработке прогноза первым этапом является тщательный анализ достигнутого уровня исследований и наметившихся тенденций их развития.

В медицине и здравоохранении могут быть использованы следующие основные методы научного прогнозирования:

1) метод экспертных оценок с последовательным этапно-временным развертыванием проблем (метод Делфи);

2) метод логического анализа прямых причинно-временных зависимостей между событиями, в частности между стадиями появления и внедрения научных открытий и изобретений;

3) метод статистического анализа динамики изменения параметров изделий. Этот метод, например, применим для прогнозирования медицинского оборудования, научных приборов и технических средств диагностики и лечения;

4) метод структурных родовидовых моделей. В первую очередь используется для прогнозирования в области фармакологии с целью систематизации данных о медикаментах, их свойствах и строении и установления свойств новых медикаментов, относящихся к определенным видам. При этом возможно, например, прогнозирование побочных действий новых лекарств;

5) метод накопления и статистической обработки данных об объемах работ, численности ученых, количестве научных учреждений, относящихся к определенным научным направлениям;

б) метод статического анализа потоков научной информации и определения изменений в объемах публикаций по годам по различным направлениям исследований, выявления внутренних междисциплинарных связей и ссылок.

Все методы научного прогнозирования в той или иной степени используют метод экстраполяции. Основой метода являются изучение существующей динамики в данной области и экстраполяция этих данных на будущее. При этом необходимо учитывать возможность появления новых факторов, которые окажут влияние на развитие изучаемого процесса. Экстраполяция, как правило, применима к прогнозированию изменений только отдельных параметров.

Метод экспертных оценок имеет особое значение при прогнозировании научно-технического прогресса. По одному из методов этой группы — методу Делфи — подбирают группу экспертов. Всем

экспертам задают определенный вопрос, на который они индивидуально отвечают. Ответы анализируют и выводят средний ответ по данному вопросу. Точность прогноза с помощью метода экспертных оценок невысока; она может быть значительно повышена при введении постоянно действующей системы прогноза с использованием комплекса методов.

Событийный метод прогнозирования применяют для оценки времени наступления тех или иных узловых событий в общем процессе развития системы; при этом для каждого события, в отличие от метода экспертной оценки, подбирают отдельную группу экспертов. Каждая группа оценивает время наступления изучаемого события в зависимости от ряда других событий. В итоге получается сеть взаимосвязанных экспертных оценок, которые составляют основу приближенной модели прогноза. Эти данные вводятся в ЭВМ, где по определенным программам вычисляются вероятностные оценки сроков наступления событий, подвергавшихся экспертизе. После обработки на ЭВМ вновь привлекают экспертов для окончательной оценки полученных данных. На этом этапе эксперты должны оценивать не только время наступления того или иного события, но и потребные для этого материальные ресурсы. Таким образом, прогноз помогает определять исходные данные для планирования работ.

Основу прогнозирования составляет информационная модель исследуемой (прогнозируемой) системы, описывающая структуру и функции системы, а также зависимости между характеристиками системы и ее внутренними и внешними параметрами.

Характеристики системы — ее данные, важные с точки зрения ее использования и выполнения ею тех функций, для которых она предназначена. Другими словами, характеристики—это показатели производительности и качества работы системы. Параметры системы—ее данные, определяющие процесс функционирования. Внутренние параметры определяют связи между определенными частями системы, внешние — связи системы с внешней средой.

Различают изменяемые и неизменяемые параметры. Изменяемые параметры — это параметры, значения которых могут меняться в процессе функционирования системы (по определенному закону — статистическому или детерминированному). Неизменяемые параметры не меняются в процессе работы системы, но могут иметь различные значения для разных вариантов системы.

При прогнозировании научно-технического прогресса вся область исследований делится на узкие, более или менее автономные подобласти или направления, для которых могут быть построены модели и осуществлено их автономное прогнозирование. Затем на втором этапе прогнозирования учитываются взаимные связи между выделенными направлениями и осуществляются моделирование и прогнозирование развития всей области. В медицине и здравоохранении в качестве основных направлений (первого уровня) могут быть выделены: развитие медицинской науки; прогресс медицинской техники и промышленности; организация системы практического здравоохранения; подготовка медицинских кадров.

Каждое из этих крупных направлений, естественно, может быть подразделено на более конкретные направления, прогнозирование которых, однако, само по себе представляет собой сложную проблему.

Исходной базой прогнозирования медицинской науки является достаточно полная, достоверная и систематизированная информация о состоянии медицинской науки. Основными принципами накопления, систематизации и анализа научной медицинской информации являются четкая классификация направлений медицинской науки и выделение узловых пунктов или объектов, характерных для каждого направления. Намеченные узловые пункты или объекты становятся «центрами» группирования информации, для которых могут быть составлены однотипные формализованные машинные описания (анкеты). При этом общий поток научной медицинской информации, содержащейся в статьях, отчетах, книгах, патентах и других источниках, разделяется по определенным аспектам и накапливается в стандартном формализованном виде, удобном для машинного анализа и обработки. При этом существенно наличие различных связей (ассоциативных, иерархических и т. п.) между объектами внутри направлений и между ними.

Для накопления и систематизации данных при прогнозировании используются автоматизированные фактографические информационно-логические системы, которые целесообразно создавать для узких разделов знаний с тем, чтобы эти системы содержали максимально исчерпывающие, точные и достоверные данные по данному разделу.

Под автоматизированной системой управления НИИ понимается совокупность органов управления НИИ, информационной базы, математических методов и средств обработки информации (в основном ЭВМ), позволяющая обеспечить руководству НИИ регулярное и качественное решение основных задач управления научной и производственно-хозяйственной деятельностью НИИ. Автоматизированные

системы управления НИИ позволяют на основе внедрения современных методов управления и применения средств вычислительной техники улучшить качество и повысить эффективность основной деятельности НИИ.

## **7.2. Вопросы построения автоматизированной системы управления для научно-исследовательского института (АСУ НИИ)**

При изложении принципов построения структуры и функций АСУ НИИ исключим из рассмотрения ставшие уже традиционными задачи применения ЭВМ для научных и инженерных расчетов и обработки экспериментальных данных. Будем рассматривать принципы построения АСУ НИИ медико-биологического профиля, в которых основной объем исследований носит экспериментальный характер, а вопросы организации опытного производства играют вспомогательную роль.

В общем случае АСУ НИИ включает в себя следующие компоненты:

органы управления НИИ, осуществляющие руководство как выполнением отдельных тем, так и работой различных подразделений института;

комплекс функциональных подсистем, обеспечивающих управление основной научно-исследовательской деятельностью института;

комплекс вспомогательных обеспечивающих подсистем;

организационно-правовое положение, регламентирующее порядок взаимодействия личного состава НИИ с автоматизированной системой;

нормативную базу АСУ НИИ, являющуюся основой для анализа, учета, контроля и планирования НИР, отдельных этапов и разделов;

математическое обеспечение;

комплекс технических средств.

В состав функциональных подсистем АСУ НИИ медико-биологического профиля входят следующие подсистемы:

перспективного планирования и анализ науки;

оперативного планирования и анализа НИР;

оперативного контроля и целевого управления ходом научно-исследовательских работ на базе методов сетевого планирования и управления (СПУ);

календарного планирования, НИР и распределения ресурсов;

оперативного планирования и управления централизованной лабораторной и производственной базой.

В состав обеспечивающих АСУ НИИ входят следующие подсистемы:

управления материально-техническим снабжением (МТС);

бухгалтерского учета;

управления кадрами;

управления трудом и зарплатой;

управления научно-технической информацией;

контроля исполнения документов.

Интеграция функциональных и обеспечивающих подсистем в составе АСУ НИИ осуществляется путем использования единой базы данных и единого технического комплекса (базовая ЭВМ, периферийная техника, средства сбора, обработки, передачи и отображения информации), единой системы организационно-правового, информационного, математического и режимного обеспечения.

Основными, определяющими подсистемами АСУ НИИ (в особенности на этапе ее создания) являются функциональные подсистемы.

Подсистема перспективного планирования и анализа науки должна определять информационную и динамическую модель данной области науки и возможность проводить комплексное планирование работ и их обеспечение, создавать предпосылки для обеспечения актуальности и пропорциональности отдельных тем и проблем плана с учетом мирового уровня и работ смежных организаций, упорядочивать внутренние и внешние связи в процессе выполнения НИР. Основой подсистемы должны быть дерево целей комплекса научных работ и автоматизированная фактографическая информационно-логическая система (АФИЛС).

В этой АФИЛС должна содержаться фактическая информация, необходимая для анализа состояния и планирования развития научных исследований в данной области знаний. Указанная информация должна

быть систематизирована по четырем основным аспектам: а) проблемы, темы и вопросы исследований; б) характеристики научно-исследовательских учреждений или их отдельных подразделений, занимающихся данной тематикой; в) основные сведения об ученых, ведущих работы в указанной области; г) краткие описания методов и средств, применяемых в исследованиях.

Кроме того, должна быть документальная ИПС, содержащая сведения о публикациях и отчетах, а также подсистема оперативного управления централизованной лабораторной и производственной базой, включая уникальное оборудование, установки, ЭВМ и др. Эта подсистема имеет две основные задачи: а) централизованный учет наличия и состояния оборудования, планирование и контроль его пополнения, замены, проверок, ремонта и т. д.; б) централизованное планирование использования этого оборудования всеми подразделениями НИИ с учетом его максимальной загрузки и приоритетов работ.

Автоматизированная подсистема управления НТИ информацией предназначена для информационно-справочного обеспечения решения задач планирования, учета и анализа НИР. Основу этой подсистемы составляет упомянутая выше документальная (библиографическая) ИПС по публикациям, отчетам, патентам и другим материалам. Подсистема должна решать три основные задачи: а) ретроспективный поиск литературы по тематическим запросам; б) избирательное извещение и распределение вновь поступившей литературы между заинтересованными учеными; в) выпуск систематических библиографических указателей по литературе в данной предметной области.

Подсистема автоматизированного контроля исполнения документов (в основном приказов и распоряжений) должна обеспечить четкость в работе НИИ. Дисциплина как основа управления, деловитость во всей деятельности НИИ должна подкрепляться хорошо налаженной автоматизированной системой контроля, которая должна пронизывать все сферы деятельности НИИ. Существует ряд таких систем (АСКИМ, АКЖД и др.), хорошо зарекомендовавших себя на практике. ЭВМ печатает напоминания по выполнению мероприятий, сводки невыполненных пунктов приказов и т. п. Контроль исполнения документов в АСУ НИИ целесообразно строить по принципу «снизу вверх». При этом все входящие документы распределяются с помощью ЭВМ по исполнителям (на основе списков ключевых слов). Исполнители полностью отвечают за своевременное и качественное исполнение документов и своевременность докладов об их исполнении вышестоящим инстанциям.

Следует заметить, что работы по созданию и использованию АСУ НИИ широко ведутся в нашей стране в промышленных министерствах, и этот опыт целесообразно использовать в медицине. В большинстве случаев при построении АСУ НИИ исходят из следующих принципов:

- совместимости существующей и создаваемой системы управления;
- необходимости использования компонентов существующей системы;
- эволюционности разработки и внедрения (необходимости учета многообразных аспектов проектирования системы в условиях функционирования существующей системы);
- этапности внедрения с обеспечением обратной связи и эффективной системы принятия решений на каждом этапе развития системы;

- первоочередности разработки и внедрения задач, функциональных подсистем и систем целевого назначения, имеющих наибольшее значение и актуальность для основной деятельности НИИ;
- обеспечения функциональной и информационной увязки с вышестоящими АСУ (ОАСУ, ОГАС).

При разработке АСУ НИИ необходимо в полной мере использовать принципы системного подхода:

- комплексность построения системы на базе создания единых информационных массивов;
- взаимную увязку задач с применением единого информационно-программного комплекса автоматизированной обработки первичной, нормативно-справочной и планово-экономической информации;

- обеспечение одноразового ввода исходных данных и их многократное применение для решения различных задач в системе;

- возможность наращивания информационно-программного комплекса для обеспечения дальнейшего развития системы.

Важную роль играют также вопросы унификации проектных решений (типовых):

- единство элементов и структуры построения информационного обеспечения системы;
- унификация технических средств и экономически выгодное использование в системе ЭВМ и других средств;
- унификация математического обеспечения системы;
- унификация методов и средств диалогового взаимодействия пользователей и ЭВМ.



Рассмотрим подробнее подсистему целевого планирования и управления НИР, играющую центральную роль в АСУ НИИ. Подсистема представляет собой комплекс организационно-технических мероприятий, основанных на применении математических методов и вычислительной техники, и обладает следующими отличительными особенностями:

- системный подход к организации управления ходом НИР;

- использование сетевой модели для представления процесса разработки сложного изделия или исследований комплексной проблемы;

- применение машинной информационно-вычислительной системы для обработки и оперативной выдачи данных, необходимых для принятия решений,

При системном подходе к организации управления ходом разработки различные коллективы исполнителей объединяются производственно-техническими, хозяйственно-экономическими и организационно-правовыми связями в единую сложную систему. Все работы в процессе решения сложной медицинской или медико-биологической проблемы рассматриваются как единый комплекс операций, направленных на обеспечение достижения общей конечной цели. Планирование параметров работ и оценка результатов их выполнения производятся с позиций их влияния на функционирование всей системы в целом.

Применение принципа целевого планирования позволяет на основе сетевой схемы процесса исследований определить четкую организационную структуру этого процесса и детальный координационный план взаимодействия разработчиков. Использование сетевых моделей позволяет:

- выявить ключевые события, определяющие достижение цели разработки; прогнозировать критические работы и концентрировать на них внимание руководства;

- максимально использовать опыт большого числа специалистов для формирования обоснованных планов; определять с большой точностью полный объем работ и необходимых ресурсов, общую и поэтапную стоимость разработки;

- разрабатывать перспективные планы, определяющие потребности разработки по различным статьям расходов;

- производить заблаговременный анализ различных вариантов плана и результатов реализации с использованием ЭВМ; обеспечить непрерывность планирования путем коррекции планов с учетом возникающих изменений;

- сокращать сроки разработки за счет оптимального использования ресурсов, обеспечивать ритмичность потребления их различных видов;

- использовать статистические данные для создания нормативов на всех уровнях исследований и с разной степенью детализации.

В начале разработки новой темы участвующие в ней подразделения получают укрупненный перечень работ, которые они должны проделать, чтобы обеспечить эту разработку. Получив его, ответственный исполнитель проводит необходимую детализацию этих работ, выясняет потребность проведения дополнительных работ или исследований, указывает возможных соисполнителей и этапность выполнения работ.

На основе нормативов проводится оценка продолжительности и трудоемкости каждой работы; если на какие-то работы нет нормативов, то оценка трудоемкости проводится компетентными лицами. Все эти данные ответственный исполнитель заносит в исходную форму. Эта форма содержит параметры структуры сети (топология сети), временные параметры сети (продолжительности работ) и характеристики трудоемкости работ. Комплект исходных форм по теме однозначно определяет ее сетевую модель.

На ВЦ, куда поступают эти комплекты исходных форм, данные переносятся на машинный носитель (перфокарты или перфоленты) и передаются для расчета ЭВМ. В процессе расчета проверяется правильность построения сетевой модели (топология сети), рассчитывается критический путь, проверяются начало и конец каждой работы по календарным срокам и определяется срок окончания разработки.

Руководящая координационная группа (РКГ), получив результаты расчета, проводит их анализ на соответствие сроков завершения разработки (или ее этапов) директивным срокам. В случае несоответствия рассчитанных сроков окончания разработки директивным анализирует работы, находящиеся на критическом пути. В процессе анализа изменяется продолжительность работ или исключаются отдельные работы. Затем проводятся повторный расчет и анализ. Так продолжается до тех пор, пока рассчитанные сроки окончания работ не будут соответствовать директивным.

После этого план-график работ поступает на утверждение к руководству НИИ. После его утверждения рассчитывается план-график работ для каждого ответственного исполнителя темы.

По мере выполнения отдельных работ ответственный исполнитель обязан передавать в РКГ отчеты об их завершении. Такие сообщения передаются в виде документа установленного образца. На ВЦ эта информация также переносится на машинный носитель. По заданию РКГ с использованием этой информации проводится расчет состояния разработки темы на текущий момент. Это позволяет оперативно управлять всем ходом разработки.

В процессе разработки может возникнуть необходимость в корректировке параметров отдельных работ (продолжительности, трудоемкости, последовательности и т. д.) или в их исключении из сетевой модели. В этом случае ответственный исполнитель подготавливает соответствующий документ-корректировку и передает его в РКГ. Затем эти корректировки передаются в ВЦ, и по заданию РКГ рассчитываются корректировки сроков исполнения темы.

Результаты расчета показывают, как влияют эти корректировки на ход выполнения разработки и на срок ее завершения. Скорректированная тема поступает на утверждение руководству НИИ. Ежеквартально ВЦ рассчитывает для каждого ответственного исполнителя план работы подразделения на квартал, в котором указаны суммарная загрузка подразделения (по всем темам, в которых оно принимает участие в планируемом квартале) и загрузка по каждой теме в отдельности.

Составленные таким образом квартальные планы работ подразделений при последующем сопоставлении загрузки подразделений по всем темам с их «пропускными» возможностями позволяют получить информацию для принятия решений о перераспределении ресурсов и соответствующей корректировке сетевых планов-графиков по темам. Таким образом, обеспечивается проведение анализа и оптимизации вариантов планов в соответствии с заданной целевой функцией и осуществляется перераспределение ресурсов в условиях заданных ограничений.

## Заключение

В настоящей книге мы стремились рассмотреть в доступной форме элементы медицинской кибернетики: ее математические методы и методологические подходы (теорию информации, системный анализ и исследование операций, методы оптимизации решений, математическую логику); современные средства обработки медицинской информации (в основном, ЭВМ); принципы организации информационных систем и способы обработки текстовой (нормализованной) информации; основные направления применения медицинской кибернетики (в управлении больницами и системами здравоохранения, в медицинской науке, в диагностике и терапии).

Естественно, что в одной сравнительно небольшой книге невозможно охватить достаточно полно такой обширный и бурно развивающийся комплекс научных дисциплин и сфер их приложения, каким является современная медицинская кибернетика. Поэтому многие разделы медицинской кибернетики не затрагивались совершенно (например, такие, как моделирование организма в целом и его отдельных функций, изучение мышления и нейрофизиологических аспектов деятельности нервной системы, моделирование жизненных процессов и их изучение на молекулярном и клеточном уровнях и т. д.), а некоторые разделы освещены кратко, в обзорном порядке (например, такой раздел, как применение кибернетики в диагностике и терапии, мог бы сам составить предмет нескольких монографий). Рассматривались лишь некоторые разделы медицинской кибернетики, имеющие (по мнению авторов) перспективы дальнейшего развития и применения.

Учитывая, что в области медицинской кибернетики и информатики работает большое количество людей как в нашей стране, так и за рубежом, необходимо постоянно проводить широкий обмен опытом, ознакомление с основными направлениями и результатами научных исследований и практических работ в этой области, что должно способствовать более успешному продвижению вперед в развитии медицины и здравоохранения, в деле подготовки кадров.

Наиболее важными мероприятиями в международном масштабе в области медицинской информатики и кибернетики являются регулярно проводимые каждые три года международные конгрессы в этой области: МЕДИНФО—74, МЕДИНФО-77, МЕДИНФО-80 и МЕДИН-ФО—83. Масштабы работ по медицинской кибернетике и информатике во всем мире быстро расширяются, и это наглядно подтверждается упомянутыми конгрессами. На МЕДИНФО-80, например, были продемонстрированы многие крупные достижения в этой области: большие интегрированные вычислительные системы

медицинского назначения с мощным программным обеспечением для крупных многопрофильных больниц, томографические установки для диагностики и лечения злокачественных новообразований, лазерные дисковые запоминающие устройства с большой емкостью и высокой скоростью работы для медицинских банков данных, разнообразные устройства ввода и вывода числовой, текстовой, графической и голосовой информации для диалогового дистанционного взаимодействия между медицинским и другим персоналом и ЭВМ. Важные достижения теоретического и практического характеров были показаны в области разработки и внедрения математических машинных методов диагностики и выбора планов лечения различных заболеваний. Эти работы базируются на общих исследованиях в области искусственного интеллекта (т. е. в области создания программ для ЭВМ с целью решения сложных логических задач, таких как распознавание образов, анализ текстовой информации, моделирование сложных систем и управление их функционированием в условиях изменяющейся внешней среды).

Обилие задач и направлений развития медицинской кибернетики, огромное число публикаций и практических работ свидетельствуют о плодотворности и перспективности этой области науки, но вместе с тем требуют систематического анализа и критической оценки этих работ.

В области медицинской кибернетики не всегда ясно, какие из полученных достижений и разработок получают действительно широкое применение в будущем. Например, во многих странах в связи с тем, что стоимость медицинского обслуживания неуклонно возрастает, применение ЭВМ рассматривалось как потенциальное средство остановить этот рост. Однако фактическое применение ЭВМ в больницах не привело к снижению стоимости медицинского обслуживания, хотя и позволило упорядочить учет расходов и улучшить использование кадров, медикаментов и оборудования, что в конечном счете сказалось на повышении качества лечения. Опыт показывает, что зачастую имеет место недостаточное понимание тех методологических трудностей, которые стоят на пути внедрения и использования ЭВМ в медицине и здравоохранении. Как неоднократно упоминалось в этой книге, для внедрения ЭВМ в медицину необходима работа по уточнению медицинских понятий и систематизации медицинских знаний.

Некоторые разработки в области медицинской кибернетики получают быстрое признание и применение (как в случае с вычислительной томографией), в то время как другие разработки внедряются сравнительно медленно (как, например, автоматизированные медицинские информационные системы, методы моделирования и оптимального планирования систем здравоохранения). Эти различия в темпах внедрения в практику весьма значительны и, по-видимому, связаны с общими факторами, определяющими закономерности распространения научных открытий и внедрения новых технических разработок. Здесь действует основное правило: конкретные усовершенствования, новые эффективные приборы и методы, решающие частные задачи, внедряются быстрее, чем системы общего назначения, требующие для своего применения перестройки сложившихся форм работы, ломки традиций и преодоления психологического барьера.

Из сказанного можно сделать вывод, что в деле использования методов и средств кибернетики в медицине (как, впрочем, и в других областях) требуются, с одной стороны, тщательное предварительное изучение возможностей и условий их применения и анализ ожидаемой эффективности; с другой стороны, систематическая настойчивая работа по доведению до практических результатов начатых разработок и принятых к внедрению кибернетических методов и средств.

## Список литературы

1. **Брежнев Л. И.** Отчет Центрального Комитета КПСС XXVI съезду Коммунистической партии Советского Союза и очередные задачи партии в области внутренней и внешней политики. — М.: Политиздат, 1981.
2. **Основные** направления экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года. — М.: Политиздат, 1981.
3. **Белоногов Г. Г., Богатырев В. И.** Автоматизированные информационные системы. — М.: Сов. радио, 1973. — 328 с.
4. **Буренков С. П.** Итоги развития здравоохранения в X пятилетке. — Сов. здравоохран., 1981, № 1, с. 5—12.
5. **Вишневский А. А., Артоболевский И. И., Быховский М. Л.** Машинная диагностика и информационный поиск в медицине. — М.: Наука, 1969. — 310 с.
6. **Винер И.** Кибернетика или управление и связь в животном и машине: Пер. с англ./Под ред. Г.Н. Поварова. — М.: Сов. радио, 1958. — 215 с.
7. **Воробьев Е. И., Китов А. И.** Автоматизация обработки информации и управления в здравоохранении. — М.: Сов. радио, -1976. — 271 с.

8. **Воробьев Е. И., Китов А. И.** Введение в медицинскую кибернетику.—М.: Медицина, 1977.—287 с.
9. **Глушков В. М.** Введение в АСУ.— Киев: Наукова думка, 1972.—236 с.
10. **Глушков В. М.** и др. Беседы об управлении.— М.: Наука, 1974.—224 с.
11. **Глушков В. М.** Кибернетика.— Энциклопедия кибернетики, в 2-х т. Под ред. В. М. Глушкова. — Киев: Главная редакция УСЭ, 1975. Т. 1, с. 440—445.
12. **Голубинцев В. О., Купаев В. М., Синельников В. М.** Эволюция универсальных ЦВМ.— М.: Сов. радио, 1980.—248 с.
13. **Дайитбегов Д. М., Черноусов Е. А.** Основы алгоритмизации и алгоритмические языки.— М.: Статистика, 1979. — 375 с.
14. **Китов А. И.** Программирование информационно-логических задач. — М.: Сов. радио, 1967.—367 с.
15. **Китов А. И.** Программирование экономических и управленческих задач.— М.: Сов. радио, 1971.—371 с.
16. **Китов А. И., Будько Н.Н., Самедова М.А.** Нормализованный язык медицинской информации «НОРМИН».— Вопросы информационной теории и практики. М.; ВИНТИ, 1978, № 33, 34, с. 64—77.
17. **Белых Л. Н., Марчук Г. И.** Качественный анализ простейшей математической модели инфекционного заболевания,— В кн.: Математическое моделирование в иммунологии и медицине: — Новосибирск: Наука, 1982, 5—26 с.
18. **Марчук Г. И.** Математические модели в иммунологии.— М.: Наука, 1980.— 264 с.
19. **Медицинская информационная система.** 2-е изд./Под ред. Н. М. Амосова и А.А. Попова. — Киев: Наукова думка, 1975.— 280 с.
20. **Прогресс** биологической и медицинской кибернетики/Под ред. А. И. Берга и С. Н. Брайниса.— М.: Медицина, 1974.— 488 с.
21. **Состояние** и перспективы развития автоматизированных систем управления и применения вычислительной техники в здравоохранении /Под ред. А. Ф. Серенко и В. М. Тимонина.— М.: ВНИИ социальной гигиены и организации здравоохранения, 1981.—239 с.
22. **Самедова М. А.** Построение машинного словаря документально-фактографической ИПС. — Вопросы информационной теории и практики. — М.: ВИНТИ, 1978, № 33, 34, с. 78—96.
23. **Самедова М. А.** Алгоритм и программная реализация семантико-синтаксического анализа нормализованных текстов. — Программирование, 1978, № 2, с. 38—48.
24. **Самедова М. А.** Семантико-синтаксический синтез предложений нормализованного языка НОРМИН.— Программирование, 1980, № 1, с. 60—67.
25. **Самедова М. А.** Информационный поиск как задача лингвистического распознавания образов. — Программирование, 1981, № 5, с. 59—67.
26. **Яглом А. М., Яглом И. М.** Вероятность и информация. — М.: Наука, 1973.—с. 511.
27. **Moore R. E., Yordanov S., Perez A., Turksen I. B.** Medical diagnostic system with human-like reasoning capability. — MEDINFO-77, p. 115—119.
28. **Asselain B., Derouesne C., Salamon R., Bernadet M., Cremy F.** The concept of utility in medical decision aid: example of an application.—MEDINFO-77, p. 123—125.
29. **Hounsfield G. N.** Computerised transverse axial scanning (tomography).— Pt. 1. Brit. Y. Radiol., 1973, v. 46, p. 1016—1022.
30. **Smets P., Vaincel H., Bernard R. and Korneich F.** Bayesian probability of fuzzy diagnosis.— MEDINFO-77, p. 121 — 122.
31. **Shires D. B.** Computer Technology in the Health Sciences. — Charles c Thomas Publisher. USA, 1974.— 140 p.
32. **Woodward R. S.** Efficient medical diagnoses: a model with two simulati ons.— MEDINFO-77, p. 127—131.
33. **Zaden L.** Outline of a new approach to analysis of complex systems and decision processes.— IEEE Trans., 1973, v. SMS-3, v. 2, p. 28—44.
34. **Slamecka V. et. al.** Maris: a knowledge system for internal medicine. — Information Processing Management,, 1977, v. 213, p. 273—276.
35. **Ducrot H.** The use by clinicians of drug data system. —MEDINFO-80, p. 898—900.
36. **Beijsens A. J. M. M. and Abcouwer — Mc Carron H.** Drug—drug interactions control in the Tilburg hospitals.— MEDINFO-80, p. 901.
37. Adverse drug reaction monitoring system using the ambulatory disease registration system. Rocuro Hama, Norio Hashimoto, Yuzo Okamoto and other.— MEDINFO-80, p. 905—909.
38. **Johansson S. G. and Manell P.** Database technology impact on a drug information system. — MEDINFO-80, p. 910—912.
39. **Marmarat J. P., Rigault J. P., Cano J. P.** A minicomputer system for clinical pharmacokinetics. — MEDINFO-80, p. 913—916.
40. **Roach M. E., Rosenkranz, Viewdata** — A new medium for drug information. — MEDINFO-80, p. 917—920.
41. **Laszlo C A. et. al.** Automated information retrieval for drug and poison information centers. — MEDINFO-77, p. 523—527.