

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова»  
ФКУ НИИ ФСИН России

Г. А. Благодатский, М. М. Горохов, С. Б. Пономарёв

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ  
ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ МЕДИЦИНСКОЙ СЛУЖБЫ  
УГОЛОВНО-ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ  
И УПРАВЛЕНИЕ ЕЕ РЕФОРМИРОВАНИЕМ

*Монография*



Издательство ИжГТУ  
имени М. Т. Калашникова  
Ижевск 2017

УДК 61:343.8  
ББК 67.99(2)8  
Б68

Рецензенты:

*С. В. Вологдин*, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Информационные системы» ИжГТУ имени М. Т. Калашникова;

*В. Н. Савельев*, доктор медицинских наук, профессор, кафедра «Общественное здоровье и здравоохранение» ИГМА.

**Благодатский, Г. А.**

Б68 Системный анализ организационной структуры медицинской службы уголовно-исполнительной системы и управление ее реформированием: монография / Г. А. Благодатский, М. М. Горохов, С. Б. Пономарёв. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 104 с.

ISBN 978-5-7526-0775-2

Монография посвящена проблемам организации медико-санитарного обеспечения лиц, содержащихся в пенитенциарных учреждениях России. Рассмотрены проблемы управления и реформирования медицинской службы уголовно-исполнительной системы России. Дан обзор существующих проблем в области управления сложными системами, изложены предложения авторов по оптимизации медицинского обеспечения в уголовно-исполнительной системе. Рассмотрены перспективы информатизации медицинской службы.

Издание предназначено для специалистов в области системного анализа, менеджмента, пенитенциарных врачей, организаторов здравоохранения, экономистов и информатиков.

УДК 61:343.8  
ББК 67.99(2)8

ISBN 978-5-7526-0775-2

© Благодатский Г. А., Горохов М. М.,  
Пономарёв С. Б., 2017  
© Издательство ИжГТУ  
имени М. Т. Калашникова, 2017

## Оглавление

Список сокращений .....	4
<b>Введение</b> .....	5
<i>Глава 1. Методологические и математические принципы анализа социальных систем управления</i> .....	7
1.1. Содержание процесса принятия решений в сложных системах .....	7
1.2. Системный анализ данных .....	14
1.3. Математические методы извлечения знаний из данных .....	29
1.4. Методы решения задачи оптимизации .....	44
<i>Глава 2. Проблема выбора модели управления медицинской службой уголовно-исполнительной системы</i> .....	52
<i>Глава 3. Математические модели управления и оценки эффективности реформирования медицинской службы уголовно-исполнительной системы</i> .....	70
<i>Глава 4. Перспективы информатизации управления медицинской службой ФСИН России</i> .....	80
<b>Заключение</b> .....	94
Список литературы .....	96

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АСОИУ – автоматизированная система обработки информации и управления

ГА – генетический алгоритм

ИС – информационная система

ИУ – исправительное учреждение

КМП – качество медицинской помощи

ЛПР – лицо, принимающее решение

МВД – Министерство внутренних дел

МСЧ – медико-санитарная часть

НС – нейронная сеть

ОУ – орган управления

САПР – система автоматического проектирования

ТВС – «точно в срок»

ТИ – технический исполнитель

ТССА – теория систем и системный анализ

УИС – уголовно-исполнительная система

УОМСО – Управление организации медико-санитарного обеспечения

УМО – Управление медицинского обслуживания

ФСИН – Федеральная служба исполнения наказаний

ЦМСР – Центр медицинской и социальной реабилитации

*APS* – программное обеспечение для производственного планирования, главной особенностью которой является возможность построения расписания работы оборудования в рамках всего предприятия (синхронное планирование) (*Advanced Planning & Scheduling*)

*CIM* – общая информационная модель – открытый стандарт, определяющий представление управляемых элементов ИТ-среды в виде совокупности объектов и их отношений; можно представить как способ, позволяющий нескольким участникам обмениваться информацией, необходимой для управления их элементами (*Common Information Model*)

*ECM* – системы управления контентом – комплекс приложений для управления корпоративным контентом, который предназначен для создания единого информационного пространства организации (*Enterprise Content Management*)

*ERP* – система управления ресурсами предприятия (*Enterprise Resource Planning*)

*MRP* – автоматизированное планирование потребности сырья и материалов для производства (*Material Requirements Planning*)

*UML* – унифицированный язык моделирования – язык графического описания для объектного моделирования в области разработки программного обеспечения, моделирования бизнес-процессов, системного проектирования и отображения организационных структур (*Unified Modeling Language*)

## *Введение*

Известному российскому государственному деятелю VIII–IX веков, отечественному историку и писателю Н. М. Карамзину принадлежит высказывание: «В России две беды: дураки и дороги». За двести лет, прошедших со дня произнесения этих слов, они по-прежнему актуальны. Изъяны и нелогичность управляющей деятельности и несовершенные коммуникации – вот две беды, которые на сегодня объективно существуют в нашей стране. И дело тут отнюдь не в характере и умственных способностях русского народа или в его неумении строить дороги. Россия – великая держава, уникальная цивилизация, гигантская страна, лежащая на пространстве 11 часовых поясов, в большинстве своем расположенная в районах с экстремальным климатом, где сама природа настроена против человека, разрушает его творения. Поэтому, собственно, и существуют в России глобальные проблемы управления и логистики. Они касаются многих аспектов государственной деятельности, в частности проблем уголовно-исполнительной системы, речь о которых пойдет в монографии.

Тюремная система России – это государство в государстве, обособленная и достаточно закрытая социальная структура, отдельные элементы которой раскиданы по всему пространству нашей страны, находятся часто в отдаленных и труднодоступных районах с суровыми климатическими условиями. Естественно, что руководство этой системой из единого центра – Москвы – часто сопряжено с системными трудностями, преодолеть которые возможно, только изучив и исследовав особенности продвижения материальных, информационных и финансовых потоков, существующих в уголовно-исполнительной системе.

В связи с тем, что значительную актуальность представляет проблема обеспечения лиц, содержащихся в местах лишения свободы, адекватной и качественной медицинской помощью, в качестве объекта исследования в монографии была выбрана модель системы оказания медицинской помощи в условиях мест отбывания наказания в виде лишения свободы, рассмотрены

возможные пути реформирования и совершенствования этой системы.

Особое внимание уделено проблемам информатизации пени-тенциарной медицины. Необходимо сказать, что до последнего времени, наряду с образованием, медицина была одной из отраслей, где отставание во внедрении информационных технологий было наибольшим. И если в «гражданском» здравоохранении в последние годы стали отмечаться явные положительные тенденции в области внедрения медицинских информационных систем, то в «тюремном» здравоохранении положение до сих пор нельзя признать приемлемым.

На пути информатизации пени-тенциарной медицины ученым, медикам и инженерам предстоит решить большой круг теоретических и практических задач как по техническому переоснащению лечебных учреждений, так и по обеспечению компьютерной техники комплексом прикладных программ, позволяющих медицинским работникам уголовно-исполнительной системы работать действительно эффективно. При этом, учитывая специфические особенности пребывания осужденного в исправительном учреждении, разницу в стандартах и отчетных медицинских формах, механический перенос программного обеспечения из учреждений системы Минздрава в медицинские подразделения тюремного ведомства исключен, требуется создание специализированных программных продуктов.

Авторы благодарят всех, кто помогал в написании данной монографии: генерал-майора внутренней службы А. П. Приклонского, подполковника внутренней службы, канд. мед. наук А. М. Туленкова, подполковника внутренней службы, канд. мед. наук Е. В. Ильинцева, канд. мед. наук В. Е. Одинцова, канд. мед. наук С. В. Воробья, д-ра мед. наук С. А. Стерликова, д-ра физ.-мат. наук, профессора В. А. Тененева.

### **1.1. Содержание процесса принятия решений в сложных системах**

Социальные системы, в том числе и медицинские, относятся к плохо организованным системам [80]. Представление объекта или процесса принятия решения в виде хорошо организованной системы возможно в тех случаях, когда исследователю удается определить все элементы системы и их взаимосвязи между собой и с целями системы в виде детерминированных зависимостей. Для сложных объектов формирование таких моделей существенно зависит от лица, принимающего решения. При представлении объекта в виде плохо организованной или диффузной системы не ставится задача определить все учитываемые компоненты и их связи с целями системы. Система характеризуется некоторым набором макропараметров и закономерностями, которые выявляются на основе исследования не всего объекта или класса явлений, а путем изучения некоторых основных компонентов, характеризующих исследуемый объект или процесс. Отображение объектов в виде самоорганизующихся систем позволяет исследовать наименее изученные объекты и процессы с большой неопределенностью на начальном этапе постановки задачи. Такие системы имеют особенности, связанные с наличием в системе активных элементов.

Принятие управленческого решения – это многосторонний процесс, имеющий сложную и многокомпонентную структуру, которая имеет объективную природу и представляет собой двухконтурную самоорганизующуюся систему [31]. В реальности все эти элементы содержания процесса принятия решения органически слиты воедино и не существуют отдельно друг от друга. Каждый из них занимает свое место в структуре системы, играет свою роль, выполняет свои специфические функции. Первона-

чалом исследования процесса принятия решения должен стать анализ механизма управления, являющийся основой для раскрытия структуры и логики познавательной деятельности управляющего субъекта при выработке решения.

Для раскрытия сущности самого процесса управления, его содержания и структуры, определения в нем места и роли управленческого решения, поиска путей и способов повышения эффективности управленческой деятельности необходимо знать генезис механизма управления самоорганизующихся систем.

«Механизм управления не дан нам изначально, – пишет Р. Ф. Абдеев. – Он возник и развился в ходе эволюции, имеет свои переходы от низшего к высшему» [1]. Объективной основой становления механизма управления является развитие. Развитие – это «...необратимое, направленное, закономерное изменение материальных и идеальных объектов» [76]. Развитие предполагает тесную связь с процессами отражения или, иначе говоря, с всеобщим свойством материи – свойством отражения. Отражение – это способность систем при взаимодействии взаимно фиксировать свои особенности друг в друге. В процессе объективного усложнения форм отражения и происходит возникновение и развитие механизма управления. Р. Ф. Абдеев вполне обоснованно выделяет три этапа их становления, каждому из которых присуща определенная конкретная структура, представляющая собой соответствующий этапу тип управления [1] (рис. 1.1).

*Характеристика этапов (типов) [1]:*

I – простейший замкнутый контур с обратной связью на уровне обычного регулятора (гомеостаза), с реакцией лишь на текущие воздействия. Цель – самосохранение.

II – промежуточный, с программным применением характера воздействия управляющего звена на объект при сохранении устойчивости.

III – механизм управления самоорганизующихся систем. Отличается наличием второго контура обратной связи и органов памяти. Во втором контуре осуществляется отбор полезной информации из первого контура: эта информация накапливается, формируя опыт, знания, синтезируется в определенные структуры, повышая уровень организации, активность и живучесть системы.

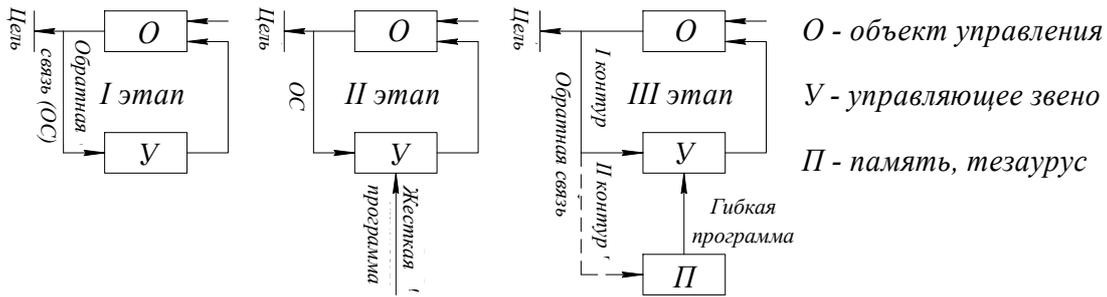


Рис. 1.1. Этапы становления механизма управления

На всех этапах становления механизма управления в структуре всех типов довольно четко просматривается наличие общих элементов: объекта управления, управляющего звена и обратных связей (отрицательных или положительных, которые могут увеличить или уменьшить устойчивость системы, изменить коэффициент передачи сигнала, уменьшить или увеличить шумы и т. д.). В процесс управления включены также внешняя среда и целевая функция, направленная на сохранение устойчивости, самоорганизацию и развитие систем.

Особое место в механизме управления занимает среда. Воздействие внешней среды вызывает отклонение системы от целевой функции. Отклонение принято называть *отрицательной стороной процесса развития системы* в отличие от положительной, под которой имеют в виду ее целевую функцию. Движущей силой, источником развития системы выступает целенаправленное взаимодействие этих противоположных сторон, ведущую роль в котором играет отклонение.

Раскрывая роль отклонения в функционировании систем, надо отметить, что воздействие внешней среды – это не только отклонение, вызванное релевантной информацией, а также возмущение, в том числе шумы, избыточная информация, активные и пассивные помехи, которые корректируются, т. е. «гасятся» системой. И хотя реальные системы управления отличаются большой сложностью и разнообразием, тем не менее структура этого механизма едина и может быть выражена в виде обобщенной модели. По сути, обобщенная модель представляет собой третий тип становления управления. Она состоит из двух взаимосвязанных контуров обратной связи, каждая из которых выполняет свои определенные функции. Двухконтурная структура механизма управления самоорганизующихся систем включает в себя такой важный элемент, как *семантический фильтр*. Именно при помощи семантического фильтра, который находится на входе второго контура, осуществляется отбор и накопление сущностной информации с учетом ее преемственности и ценности для целевой функции. Информация, циркулирующая в первом контуре обратной связи, которую *принято называть оперативной*, содержит так назы-

ваемую избыточную (повторяющуюся) информацию, в том числе «информационный шум». Однако первый контур обратной связи выполняет свое предназначение. Здесь реализуется функция сохранения устойчивости системы. Устойчивость системы – это ее способность стремиться к развитию или заданному режиму при случайных воздействиях.

Первый контур – это контур реакции системы на каждый единичный акт воздействия внешней среды, реакция на оперативную информацию, на основе которой осуществляется саморегуляция или, иначе говоря, авторегуляция.

На втором контуре обратной связи «отфильтрованная» информация от цикла к циклу складывается в определенные структуры. Такую информацию, в отличие от оперативной, *называют структурной*. На основе структурной информации происходит дальнейшее повышение уровня оптимизации (или создание новых структур), т. е. происходит саморазвитие системы, реализуется такая ее функция, как функция развития.

По первому контуру обратной связи функционирует оперативная информация, поступающая непосредственно от объекта управления, внешней среды и других факторов, влияющих на поведение системы. Эта информация отражает уровень явлений и по своему характеру и значению представляет собой сферу эмпирических знаний, которые можно отнести к эмпирическому этапу познания.

Во втором контуре механизма управления образуется структурная информация, которая вскрывает сущностный уровень, а потому ее можно отнести к теоретической сфере знаний, теоретическому этапу.

Любая система управления неразрывно связана с использованием познавательной информации. Сведения и сигналы сами по себе не обладают познавательным статусом, хотя потенциально могут содержать какую-то информацию. Они становятся таковыми, если включаются в процессы управления и самоуправления. Управление и самоуправление всегда предполагают наличие цели и средств ее реализации, которые могут быть определены, действительно, только на уровне жизни, т. е. только тогда, когда есть субъект управления, который воспри-

нимает и перерабатывает информацию в нужном для функционирования и развития системы направлении [47].

Основными разделами теории принятия решений являются постановка многокритериальных задач, теория игр, при помощи которых осуществляется выбор варианта решения и механизм реализации этого выбора. Это возможно тогда, когда исследуемая ситуация или объект поддается алгоритмизации, логическому и математическому описанию в виде, например, алгебраических и логических систем уравнений и логических правил, позволяющих затем с помощью ЭВМ разыгрывать ход их поведения в большом количестве возможных вариантов, т. е. предвидеть и определять по избранным критериям количественные результаты и на этой основе выбирать оптимальный вариант решения.

Математические модели находят довольно широкое применение при выработке управленческих решений. Но их использование имеет свою специфику. Управленческие решения характеризуются высокой степенью неопределенности и риска, зачастую конфликтными ситуациями. Выработка управленческих решений представляет собой многогранный и многостадийный логически целостный процесс. Создать математическую модель всего процесса выработки решения, притом в полном объеме, – задача сложная и трудная. Однако применение математических моделей все-таки возможно и необходимо, но лишь к какой-нибудь одной или нескольким стадиям процесса принятия решения. Трудность создания общей формализованной модели всего процесса выработки решения обусловлена рядом обстоятельств:

- сложностью структуры самого процесса выработки решения, включающего в себя познавательную, конструктивно-творческую и практически-организаторскую сторону деятельности, которые при этом еще находятся в тесной диалектической взаимосвязи; но особую трудность для формализации представляют конструктивно-творческие способности человека;

- чрезвычайно быстрым старением, малым жизненным циклом информации, т. е. потерей ее релевантности, обусловленной подвижностью и противоречивостью объектов управления, разнокачественностью элементов их содержания, кроме того,

в управленческой деятельности не бывает и двух одинаковых ситуаций;

– хронической неполнотой и недостоверностью ряда исходных данных, которые, как правило, не только в дефиците, но и нередко преднамеренно искажаются, например, в условиях конкурентной борьбы; к хроническому дефициту данных присоединяется также недостаток времени на их обработку;

– сложностью и трудностью формализации и математического описания таких социальных феноменов, которые просто не поддаются точному количественному анализу.

Математические модели выбора решений – это одно из необходимых, неотъемлемых и эффективных средств познавательной деятельности в процессе выработки решения. Без применения математических методов оптимизации сейчас невозможно осуществлять принятие управленческих решений сколько-нибудь значительного масштаба. Однако математические методы (в том числе и модели) играют в реальных процессах принятия решений пока еще вспомогательную роль. Они лишь помогают управляющему субъекту в его познавательной деятельности, выполняя определенные гносеологические функции.

В конкретной деятельности цель непосредственно связана не только с проблемой, но и с задачей. В повседневной практике цель и задачу нередко считают синонимическими понятиями. Они относятся к одной и той же деятельности и действительности, направлены на получение одного и того же результата. Более того, при определенных обстоятельствах цель и задача могут меняться местами. Цель становится задачей, а задача – целью. Однако это не означает их тождественности. Цель и задача отражают действительность с разных сторон, они выполняют свои специфические функции. Цель и задача – это устоявшиеся категории, раскрывающие структуру любой деятельности, прежде всего, управленческой, в которой они находятся в тесной взаимозависимой связи.

Выполненная задача – это осуществленная цель, конечный результат, который представляет собой новую действительность, новые условия для возникновения последующих задач и целей. В управленческой деятельности это означает разрешение про-

блемной ситуации, т. е. реализацию в итоге всех требований задачи. Говоря иначе, практическая реализация требований задачи есть ни что иное, как конкретизация содержания цели. Задача конкретизирует цель, реализуя целевую установку деятельности [37, 64, 69]. Конкретизация цели – это то, что необходимо сделать субъекту на определенном этапе своей деятельности по осуществлению цели. Под конкретизацией понимается ряд ее основных значений [64]:

- 1) задача как часть цели;
- 2) задача как такое соотношение сил и средств, которое обеспечивает ее выполнение на каком-либо из этапов осуществления цели;
- 3) конкретизация цели как установление сроков выполнения задачи.

Все они взаимосвязаны между собой. Задача как часть цели раскрывает ее содержание через требования задачи. Требования разукрупняют ее на подзадачи, которые, как правило, решаются в определенном порядке, соответствующими способами и к конкретному сроку их выполнения.

## **1.2. Системный анализ данных**

Задачи обработки данных с целью извлечения новых знаний сопровождаются системное и математическое моделирование поведения объектов самой различной природы. Системный подход к анализу данных дает общую методологию обработки, независимо от природы объектов.

При исследовании объекта с ним сопоставляется система, определяемая набором соответствующих свойств объекта [42, 80]. Каждому свойству соответствует определенная переменная. Будем различать понятия *переменной* и *параметра*. С каждым свойством объекта связано множество его проявлений.

*Переменной называется образ свойства объекта, определяемый конкретной процедурой измерения.*

*Операционное представление, используемое для определения различий в наблюдении одного и того же свойства, назы-*

*вается параметром.* Элементами параметрического множества являются значения параметра.

Система, заданная на объекте, называется *системой объекта*. Она представляет множество свойств, с каждым из которых связано множество его проявлений, и параметрическое множество. Исходная система представляет связи с реальным миром, проходящие через систему объекта и канал наблюдения. *Каналом наблюдения называется операция, вводящая конкретную переменную как образ свойства.* Обычно канал наблюдения представляет собой физическое устройство и процедуру, описывающую его применение.

Переменные можно разделить на два типа: входные и выходные. Выходные параметры исходной системы рассматриваются как переменные, значения которых при соответствующих значениях параметров определяются внутри системы. Значения входных переменных задаются извне. Факторы, влияющие на определение входных переменных, *называются средой системы.* Системы с входными и выходными переменными *называются направленными системами.* Системы, в которых нет разделения переменных по такому типу, *называются нейтральными.*

Наблюдение представлено в виде упорядоченной пары, состоящей из значения полного параметра, при котором было сделано наблюдение, и зафиксированного полного состояния переменных. Множество этих упорядоченных пар является функцией  $d$ , отображающей полное параметрическое множество в полное множество состояний. Такая функция представляет собой данные. Эта функция любому значению полного параметра ставит в соответствие одно полное состояние переменных.

Исходная система описывает потенциальные состояния переменных, а функция  $d$  дает информацию об их действительных состояниях при неограниченном параметрическом множестве. Соединение исходной системы и функции  $d$  образует систему более высокого уровня, *называемую системой данных.*

При системном анализе данных может быть два подхода:

- *вероятностный*, когда число наблюдений достаточно большое;
- *возможностный*, когда количество данных ограничено.

Если вероятности рассматриваются как характеристики данных, то находятся частоты состояний  $N(c)$  для всех  $c \in C$ .

Функция поведения, характеризующая рассматриваемую систему, для вероятностного подхода определяется как относительная частота появления состояния переменных  $c \in C$  выражением

$$f_B(c) = \frac{N(c)}{\sum_{a \in C} N(a)}.$$

Для возможностного подхода

$$f_B(c) = \frac{N(c)}{\max_{a \in C} N(a)}.$$

Рассмотрим систему данных:

$$\mathbf{V} = [\mathbf{v}_j] = [v_{ij}], i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n},$$

где  $\mathbf{v}_j$  – вектор переменных системы, определенный на параметрическом множестве  $\{j = \overline{1, n}\}$ . Данные, полученные в абсолютной или интервальной шкале, переводятся в шкалу наименований, в которой значению переменной соответствует целое число  $0, 1, \dots, L_i - 1$ . Преобразование осуществляется по формуле

$$u_{ij} = \text{Int} \left[ \frac{v_{ij} - v_{i\min}}{\frac{v_{i\max} - v_{i\min}}{L} + \varepsilon} \right], \quad v_{i\min} = \min_j(v_{ij}), v_{i\max} = \max_j(v_{ij}),$$

где  $[\circ]$  – целая часть выражения.

Состояние  $c$  переменной описывается вектором  $\mathbf{u}_k$ ,  $k = \overline{1, N}$ ,  $N \leq n$ . По формулам вычисляется функция поведения системы. Величина  $N(c)$  равна количеству одинаковых векторов  $\mathbf{u}_k$ ,  $k = \overline{1, N}$ ,  $N \leq n$ .

Целью исследования объектов и систем является получение новых знаний об их поведении в виде зависимостей, правил, мо-

делей. Обнаружение в данных неизвестных нетривиальных знаний необходимо для принятия обоснованных решений при управлении системами. Следующим этапом после системы данных является построение системы с поведением. Поведение характеризует общие параметрически инвариантные ограничения на переменные обобщенной представляющей системы. Описание параметрически инвариантного ограничения может быть использовано для порождения состояний переменных при данном параметрическом множестве. Системы с такими ограничениями называются порождающими. Поведение представляет собой одну из форм задания этого ограничения. Если параметрическое множество упорядочено, состояния переменных могут ограничиваться не только другими состояниями, но и состояниями выбранного соседства для каждого конкретного значения параметра. Соседство также должно быть параметрически инвариантным.

*Соседство на упорядоченном параметрическом множестве называется маской* и определяется через переменные, параметрическое множество и набор правил сдвига на параметрическом множестве. Правило сдвига – это однозначная функция  $r_j : W \rightarrow W$ , которая каждому элементу  $W$  ставит в соответствие другой единственный элемент  $W$ . На полностью упорядоченном параметрическом множестве  $r_j(w) = w + \rho$ , где  $\rho$  – целая константа. При  $\rho = 0$  функция называется *тождественным правилом сдвига*. *Выборочными переменными* называются переменные  $S = \{s_1, s_2, \dots\}$ , вводимые с помощью уравнений  $s_{k,w} = v_{i,r_j(w)}$  для переменных  $v_i \in V$  и правил сдвига  $r_j \in R$ . Множество всех выборочных переменных  $V \times R$ . Отношение  $M \subseteq V \times R$  представляет схему соседства на упорядоченном множестве и является маской. Полное множество состояний выборочных переменных будем обозначать  $C = S_1, \dots, S_{|M|}$ , где  $|M|$  – мощность множества  $M$ .

Для полностью упорядоченных параметрических множеств маска может быть изображена в виде вырезки из матрицы  $V \times R$ . Строка маски, соответствующая  $\rho = 0$ , называется *справочником*.

В нем выборочные переменные идентичны базовым переменным. Если маска помещена на матрицу данных таким образом, что справочник совпадает с определенным значением  $t$ , то маска выделяет подмножество элементов, представляющих полное состояние выборочных переменных при данном значении  $t$ . Выборочные переменные, не входящие в справочник, представляют собой состояния из параметрического соседства в  $t$ . Число строк в маске называется глубиной маски  $\Delta M$ .

Маска представляет точку зрения, в соответствии с которой представляются ограничения на базовые переменные. Функция поведения  $f_B(c)$  определяет реально встречающиеся состояния  $c$ , но не определяет значение параметра, при котором они имеют место. Следовательно, эта функция является параметрически инвариантной. Система, характеризующая параметрически инвариантное ограничение на множество переменных через функции поведения, называется системой с поведением и определяется тройкой  $F_B = (I, M, f_B)$ .

Степень детерминированности системы измеряется обобщенной нечеткостью, сопутствующей порождению данных, и определяется через функции поведения.

#### *Вероятностный подход*

Для вероятностных функций распределения мерой нечеткости является энтропия Шеннона

$$H(f(x) | x \in X) = - \sum_{x \in X} f(x) \log_2 f(x).$$

#### *Возможностный подход*

Возможностная мера нечеткости представляет собой функцию  $U: \Pi \rightarrow [0, \infty]$ . Для любого распределения возможностей  $f = (\varphi_i | i \in N_{|X|}) \in \Pi$  и для любого действительного  $l \in [0, 1]$  функция  $c: \Pi \times [0, 1] \rightarrow P(N)$  называется функцией уровня, а множество  $c(f, l) = \{i \in N_{|X|} | \varphi_i \geq l\}$  называется множеством  $l$ -го уровня от  $f$ . Обозначим через  $L_f = \{l_1, \dots, l_q\}$  уровневое множество для  $f$ , где  $l_1 = 0$ ,  $q = |L_f|$ ;  $l_i < l_j | i < j$ ;  $l_j = \max_i \varphi_i$ ,  $l_j = l_q \in L_f$ .

Функция  $U$ -нечеткости имеет вид

$$U(f) = \frac{1}{l_f} \int_0^{l_f} \log_2 |c(f, l)| dl$$

или

$$U(f) = \frac{1}{l_f} \sum_{k=1}^{q-1} (l_{k+1} - l_k) \log_2 |c(f, l_{k+1})|.$$

Эта система еще не содержит описания, как использовать ограничение для порождения данных. От системы данных с упорядоченным параметрическим множеством и наибольшей допустимой маской необходимо перейти к выбору систем с поведением, удовлетворяющим требованиям детерминированности, согласованности и простоты. Для подобного описания выборочные переменные нужно разбить на два подмножества:

1) переменные, состояния которых порождаются из ограничения, *называются порождаемыми*;

2) переменные, состояния которых используются как условия в процессе генерации, *называются порождающими*.

Для заданной системы с поведением для определения порождаемых и порождающих переменных необходимо определить для данной маски  $M$  две подмаски  $M_g, M_{\bar{g}}$ , где

$$M_g, M_{\bar{g}} \subset M, M_g \cup M_{\bar{g}} = M, M_g \cap M_{\bar{g}} = 0$$

Подмаски  $M_g, M_{\bar{g}}$  называются *порождаемыми* и *порождающими*, соответственно. Если значения  $t$  изменяются в направлении  $t+1$ , то  $M_g$  – это множество самых нижних элементов  $M$ . В  $M_{\bar{g}}$  входят остальные элементы маски. Для любого состояния  $\bar{g} \in \bar{G}$  имеется по крайней мере одно состояние  $g \in G$ , допустимое функцией поведения  $f_{GB}(\bar{g}, g) = 1$ .

Глубина маски  $\Delta M = 1$  определена только для маски без памяти. В остальных случаях при рассмотрении требования 1) необходимо определиться с глубиной маски. Применение масок с большой глубиной приводит к сужению эмпирической основы для определения функции поведения, а также увеличивает объем

вычислений. При заданной наибольшей допустимой маске  $M$  ее содержательные подмаски образуют ограниченное множество  $Y_r \subseteq Y$  систем с поведением. Под содержательными подмасками понимаются такие, какие удовлетворяют требованиям:

а) в подмаску входит, по крайней мере, один элемент из каждого столбца;

б) в подмаску должен быть включен, по крайней мере, один элемент с правилом сдвига (крайний нижний элемент из маски  $M$ ). Число содержательных подмасок быстро растет с увеличением  $n$  и  $\Delta M$ .

Степень детерминированности должна измеряться обобщенной нечеткостью, сопутствующей порождению данных, и определяться через порождающие функции поведения  $f_{GB}$ . Для порождающих систем множествами выходов являются множества  $C, G, \bar{G}, E$  с соответствующими функциями распределения  $f(c), f(g|\bar{g})$ . Безусловные вероятности для нейтральных систем

$$f(\bar{g}) = \sum_{c \succ \bar{g}} f(c),$$

где  $c \succ \bar{g}$  указывает на то, что  $\bar{g}$  является подмножеством состояния  $c$ .

Условные вероятности, характеризующие процесс порождения данных, связаны с основными и безусловными вероятностями:  $f(g|\bar{g}) = \frac{f(c)}{f(\bar{g})}$ , для нейтральных систем.

При заданной порождающей маске для нейтральных систем порождающая нечеткость определяется как средняя нечеткость, основанная на вероятностях  $f(g|\bar{g})$ , взвешенных вероятностями  $f(\bar{g})$  порождающих условий

$$H(G|\bar{G}) = - \sum_{\bar{g} \in \bar{G}} f(\bar{g}) \sum_{g \in G} f(g|\bar{g}) \log_2 f(g|\bar{g}).$$

Это значение определяет степень недетерминированности нейтральной порождающей системы с поведением.

Эти формулы можно преобразовать к виду:

$$H(G | \bar{G}) = H(C) - H(\bar{G}).$$

Нормализованная порождающая нечеткость получается делением на максимальное значение  $\log_2 |G|$ .

Безусловные возможности для нейтральных систем равны  $f(\bar{g}) = \max_{c \succ \bar{g}} f(\bar{g} | g)$ . Формула для  $U$ -нечеткости принимает вид:

$$U(G | \bar{G}) = U(C) - U(\bar{G}).$$

Для выбора подходящей системы с поведением следует изучить подмножество содержательных масок и определить для каждой маски функцию поведения. Эти функции определяются как проекции функции поведения наибольшей допустимой маски. Для функции  $f_B$ , определенной через полные состояния выборочных переменных, любая из ее проекций также является функцией поведения, соответствующая определенному подмножеству выборочных переменных.

Обозначим:  $s_k (k \in N_{|M|})$  – выборочные переменные, через которые определяются состояния  $f_B$ ;  $M$  – наибольшая приемлемая маска;  $[f_B \downarrow Z]$  – проекция  $f_B$ ;  $Z \subset N$  – подмножество идентификаторов выборочных переменных.

Тогда  $[f_B \downarrow Z]: \times S_k \rightarrow [0,1]$ ,  $[f_B \downarrow Z](x) = a(\{f(c) | c \succ x\})$ , где  $a$  – некоторая агрегирующая функция.

Для вероятностной функции  $[f_B \downarrow Z](x) = \sum_{c \succ x} f_B(c)$ .

Для возможностной  $[f_B \downarrow Z](x) = \max_{c \succ x} f_B(c)$ .

Обозначим  $f_B^i$  функцию поведения для различных содержательных подмасок  $M^i, i = 2, 3, \dots$ . Содержательные маски получаются из наибольшей приемлемой маски в порядке уменьшающейся сложности. Среди масок одинаковой сложности выбираются только маски с минимальной порождающей нечеткостью.

Если это значение меньше или равно значению нечеткости для предшествующего уровня сложности, то все ранее принятые системы отбрасываются. В результате остаются подходящие системы.

### *Структурированные системы*

Структуризация систем обусловлена несколькими причинами:

1. Невозможность сбора данных для полного множества переменных.
2. Сложность и обзорность рассматриваемой системы.
3. Эффективность реализации.
4. Получение дополнительных сведений, явно не содержащихся в соответствующей полной системе.

Структурированная система представляет собой набор исходных систем, систем данных или порождающих систем, имеющих общее параметрическое множество. *Системы, образующие структурированную систему, называются ее элементами.* Некоторые переменные у них могут быть общими. Общие переменные обычно *называются связывающими переменными.* Они представляют взаимодействия между элементами. Эти три типа систем называются *структурированными исходными системами, структурированными системами данных и структурированными порождающими системами.* Для того чтобы системы были совместимы, необходимо, чтобы они были одного типа. Кроме того, эти системы должны быть определены на одном и том же полном параметрическом множестве.

Совместимость систем является необходимым условием того, что системы связаны отношением «часть – целое», но недостаточным. Пусть  $S^x, S^y$  – исходные системы. Для определения отношения «подсистема» (и обратного отношения «суперсистема») необходимо выполнить условие совместимости исходных систем. Это значит, что они должны быть одного методологического типа и должны быть определены для одних и тех же параметров, как и для соответствующих баз.

Требование включенности для исходных систем выражается в виде нескольких отношений включения:  $S^x$  рассматривается как исходная подсистема  $S^y$  тогда и только тогда, когда множе-

ство переменных (и обобщенных, и конкретных) и множество свойств системы  $S^x$  являются подмножествами соответствующих множеств системы  $S^y$  и, соответственно, множества состояний и проявлений свойств, а также множества наблюдений и каналы конкретизации системы  $S^x$  являются подмножествами соответствующих систем  $S^y$ .

Для совместимости структурированных систем необходимо, чтобы отдельные системы – элементы структурированной системы – были также совместимы. Кроме условия совместимости нужно потребовать, чтобы никакой элемент не был подсистемой другого элемента. Такое требование называется *требованием неизбыточности*.

### *Структурированные системы с поведением*

Пусть требуется соединить заданное множество систем с поведением в структурированную систему. В каждой системе, обозначаемой как элемент  $x \in N_q$ , имеется множество переменных исходной системы  $V^x$  и множество выборочных переменных  $S^x$ :

$$V = \bigcup_{x \in N_q} V^x = \{v_i \mid i \in N_{|V|}\}; \quad S = \bigcup_{x \in N_q} S^x = \{s_k \mid k \in N_{|S|}\}; \quad V \subseteq S, \quad V^x \subseteq S^x.$$

Нейтральная структурированная система с поведением может быть определена следующим образом:

$$SF_B = \left\{ (S^x, F_B^x) \mid x \in N_q \right\}.$$

Соединения  $C_{x,y}$  элементов  $x, y \in N_q$  структурированной системы определяются как пересечения множеств выборочных переменных  $C_{x,y} = S^x \cap S^y$ .

Для всех пар элементов  $x, y \in N_q$  требуется выполнение дополнительного условия

$$\left[ f_B^x \downarrow S^x \cap S^y \right] = \left[ f_B^y \downarrow S^x \cap S^y \right],$$

т. е. проекции функций поведения для любой пары элементов структурированной системы равны относительно их общих (соединяющих) переменных (требование локальной согласованности).

После выбора порядка порождения для структурированной системы с поведением  $SF_B$  множество выборочных переменных разбивается на порождающие и порождаемые переменные  $S_{\bar{g}}, S_g$ . Полученная структурированная переменная должна удовлетворять требованию однозначности управления, т. е. любая переменная из  $S_g$  должна порождаться одним и только одним элементом структурированной системы. Это значит, что множества порождаемых переменных  $S_g^x, x \in N_g$ , связанные с отдельными элементами, должны образовывать разбиение множества  $S_g$ .

Рассмотрим множество  $(S^x \cap S_g - S_g^x)$ , являющееся множеством порождаемых переменных, соединенных с элементом  $x$ , но не порождаемым этим элементом. Состояние переменных из множеств  $S_{\bar{g}} \cap S^x, x \in N_q$  должны быть доступны данному элементу или изнутри (через предыдущие состояния порождаемых и входных переменных), или снаружи (через входные переменные, представляющие соединения с другими элементами структурированной системы).

### *Задача реконструкции*

Дана система с поведением, рассматриваемая как обобщенная.

Требуется определить, какие гипотетические подсистемы подходят для реконструкции данной системы с поведением с требуемым уровнем точности. Реконструкция должна проводиться только по той информации, что содержится в этих подсистемах (несмещенная реконструкция). В задаче реконструкции несмещенная реконструкция описывает реконструктивные возможности рассматриваемой гипотезы относительно заданной обобщенной системы. Чем ближе несмещенная реконструкция к заданной системе, тем лучше гипотеза.

Реконструктивная гипотеза полностью описывается:

- 1) семейством подмножеств входящих в нее переменных;
- 2) функциями поведения, соответствующими отдельным подмножествам переменных.

Свойство 1) определяет класс инвариантности реконструктивных гипотез, отличающихся друг от друга только функциями поведения их элементов, *называемый структурой*.

Следовательно, *структура – это свойство структурированной системы, инвариантное относительно изменения функций поведения ее элементов*.

Рассмотрим задачу, характерную для медицинских исследований [68]: установление наиболее типичных признаков состояния больного гематогенным остеомиелитом.

Источником данных являются истории болезни для 100 пациентов. Изучаемые параметры и их шкала представлены в табл. 1.1.

**Таблица 1.1. Пример формализации данных истории болезни**

п/п	Параметр	Группы больных				
		0	1	2	3	4
1	Возраст	<1	1–3	4–7	8–11	12–15
2	Давность	<1	1–3	4–7	>7	–
3	Тип кости	Трубчатые	Плечевые	Смешанные	–	–
4	Травма	Нет	Да	–	–	–
5	Светлый промежуток	Нет	Да	–	–	–
6	Температура	Норма	<38	>38	–	–
7	Состояние	Удовл.	Ср. тяж.	Тяж.	–	–
8	Боль	Нет	Слаб.	Умеренная	Сильная	–
9	Вынужд. положение	Нет	Да	–	–	–
10	Огранич. движений	Нет	Да	–	–	–
11	Боль при пальпации	Нет	Да	–	–	–
12	Боль при перкуссии	Нет	Да	–	–	–
13	Переход в хронику	Нет	Да	–	–	–
14	Осложнения	Нет	Да	–	–	–
15	Форма	Локализованная	Септическая	–	–	–
16	Продолжительность (сут.)	<20	20–39	>40	–	–

Число наблюдений невелико по сравнению с числом состояний, определенных для переменных. Поэтому применяется вероятностный подход, который существенно меньше зависит от объема данных и позволяет исследовать наиболее значимые подмножества переменных.

Данные не являются упорядоченными по времени. Поэтому система не может быть порождающей, и маска определяется, как один столбец (маска без памяти). Определена функция поведения системы и проведен анализ реконструируемости.

Функция поведения параметров системы определяется, как распределение возможности по формуле

$$f_B(c) = \sum_{\alpha \in C} \min [f_B^P(c), f_B^V](c).$$

После вычисления функции поведения системы решалась задача реконструкции.

Функции поведения структур, входящих в систему, определяются как проекции функции  $f_B(c)$ . Для нахождения функции поведения  $f_B^h(c)$  применялся итерационный алгоритм соединения [42] функций поведения, входящих в систему структур.

Проведенный анализ показал, что наиболее часто в структурах при проведении уточняющей процедуры встречаются параметры с номерами 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11 из табл. 1.1. Реконструкция, содержащая структуры с этими параметрами, не отличается по информации от исходной системы, т. е.  $D(f, f^h) = 0$ , до 108-го уровня уточнения.

Рассматривая систему [3, 4, 6, 7, 8, 10, 11] как исходную для реконструкции, было установлено, что в ней определяющими являются параметры 3, 6, 8, 10, 11 (табл. 1.1) (информационное расстояние до 11-го уровня уточнения равно 0).

Соответствующая функция поведения представлена в табл. 1.2.

Затем снова проводилась реконструкция данной системы [3, 6, 8, 10, 11].

Таблица 1.2. Функция поведения параметров системы

$f_B(c)$	Параметры системы				
	3	6	8	10	11
1	0	2	2	1	1
0,68	0	2	3	1	1
0,59	0	1	3	1	1
0,5	0	1	2	1	1
0,14	1	1	2	1	1
0,14	0	1	1	1	1
0,09	0	2	2	0	1
0,09	1	2	3	1	1
0,09	0	2	1	0	1
0,09	3	1	1	0	1
0,09	1	2	1	1	1
0,09	0	0	3	1	1
0,05	2	2	3	0	1
0,05	0	0	1	1	1
0,05	1	1	2	0	1
0,05	2	2	2	0	1
0,05	1	2	2	1	1
0,05	3	0	1	0	1
0,05	3	2	3	1	1
0,05	3	1	1	1	1
0,05	0	1	2	0	0
0,05	0	2	1	0	0
0,05	0	1	1	0	1
0,05	3	1	3	1	1
0,05	0	0	1	0	1
0,05	2	2	1	1	1
0,05	2	2	2	1	0
0,05	0	2	1	1	1
0,05	2	0	1	1	1
0,05	0	2	1	1	0
0,05	2	1	2	1	1
0,05	0	0	2	1	1
0,05	2	0	2	1	1

Уровень уточнения	$D(f, f^h)$	Структуры
1	7.522391E-04	1234/ 1235/ 1245/ 1345/ 2345
2	7.522391E-04	1234/ 1235/ 1245/ 1345
3	7.522391E-04	345/ 1234/ 1235/ 1245
4	7.522391E-04	145/ 245/ 345/ 1234/ 1235
5	7.522391E-04	145/ 245/ 1234/ 1235
6	1.103659E-03	145/ 1234/ 1235
7	1.440181E-03	45/ 1234/ 1235
8	1.440181E-03	1234/ 1235
9	2.072640E-03	125/ 135/ 235/ 1234
10	2.370397E-03	125/ 235/ 1234
11	2.656867E-03	15/ 235/ 1234
12	3.198832E-03	15/ 25/ 35/ 1234
13	3.943154E-03	15/ 25/ 1234
14	4.893450E-03	15/ 25/ 123/ 124/ 134/ 234
15	5.120005E-03	15/ 25/ 123/ 124/ 134
16	6.523848E-03	15/ 123/ 124/ 134
17	8.114259E-03	5/ 123/ 124/ 134
18	9.595982E-03	5/ 34/ 123/ 124
19	1.037381E-02	5/ 123/ 124
20	1.380775E-02	5/ 14/ 24/ 123
21	1.438235E-02	5/ 14/ 123
22	1.639952E-02	4/ 5/ 123
23	2.030176E-02	4/ 5/ 12/ 13/ 23
24	2.347083E-02	4/ 5/ 13/ 23
25	2.960503E-02	1/ 4/ 5/ 23
26	3.883349E-02	1/ 2/ 3/ 4/ 5

Информационное расстояние  $D(f, f^h)$  не изменяется для пяти уровней уточнения и равно  $D(f, f^h) = 7,52 \cdot 10^{-4}$ . Номера 1, 2, 3, 4, 5 соответствуют параметрам 3, 6, 8, 10, 11 из табл. 1.1. Видно, что наиболее уточненной является система

$$145/ 245/ 1234/ 1235,$$

и она лучше всего подходит для реконструкции исходной системы.

Чаще всего в структурах встречается тип кости, что указывает на большую важность учета этого параметра. Четвертый

и пятый уровни уточнения имеют одинаковое информационное расстояние  $D(f, f^h) = 7,52 \cdot 10^{-4}$ , но реконструкция четвертого уровня содержит дополнительно структуру [3, 4, 5]. Это означает, что эти параметры являются взаимозависимыми. Переход на шестой уровень уточнения связан с отбрасыванием структуры [2, 4, 5] и увеличением информационного расстояния до  $D(f, f^h) = 1,1 \cdot 10^{-3}$ . Следовательно, температуру пациента необходимо учитывать совместно с болевыми признаками. Таким образом, табл. 1.2 позволяет установить наиболее возможные признаки болезни.

### 1.3. Математические методы извлечения знаний из данных

При исследовании сложных систем очень часто не представляется возможным получить достоверную математическую модель, основанную на дифференциальных и алгебраических уравнениях, из-за большой неопределенности взаимодействия элементов системы. В таких случаях наиболее важным является этап обработки данных.

#### *Сжатие информации*

В сложных системах, как правило, присутствует большое количество свойств и переменных. Методы снижения размерности предназначены для представления системы, характеризующейся переменными  $x \in R^n$ , в координатном пространстве меньшей размерности  $y \in R^m$ ,  $m < n$ . Для этого можно использовать нелинейные методы (многомерное шкалирование) либо линейные (метод главных компонент) [55]. Метод главных компонент служит вспомогательным, но эффективным способом снижения размерности входных переменных без потери полезной информации.

В методе главных компонент каждая координатная ось является линейной комбинацией исходных переменных системы  $x \in R^n$ . Преобразование по методу главных компонент имеет вид

$$y = Wx,$$

где  $W \in R^{m \times n}$  – матрица преобразования. Матрица  $W$  строится таким образом, что первая главная компонента  $y_1(x) = \sum_{j=1}^n w_{1j} x_j$  обладает наибольшей дисперсией. Вторая главная компонента имеет наибольшую дисперсию из оставшихся и т. д. Размерность  $m$  выбирается таким образом, чтобы выходное пространство  $y \in R^m$  сохранило наиболее важную информацию об исходной системе. Преобразование по методу главных компонент заменяет большое количество взаимно коррелирующих данных, статистически независимыми компонентами с определенным вкладом.

Представим систему данных  $x_k, k = \overline{1, p}$  последовательностью векторов  $z_k, k = \overline{1, p}$ , образующих матрицу  $Z = [z_k]$ ,  $p$  – число наблюдений. Векторы  $z_k, k = \overline{1, p}$  обозначают случайные векторы с нулевым средним значением

$$z_{jk} = \frac{x_{ik} - \overline{x_i}}{\sigma_i}, \quad i = \overline{1, n}; \quad k = \overline{1, p},$$

$$\text{где } \overline{x_i} = \frac{\sum_{k=1}^p x_{ik}}{p}, \quad \sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - \overline{x_i})^2}{p}}.$$

По значениям векторов вычисляется матрица ковариации:

$$S = \frac{1}{p} Z Z^T.$$

Матрицу преобразования  $W$  образуют собственные векторы матрицы  $S$ . Собственные векторы и собственные значения  $\lambda_i$  связаны соотношением  $S w_i = \lambda_i w_i, i = \overline{1, n}$ .

Так как матрица  $S$  симметричная и положительно определенная, то ее собственные числа действительные и положительные. Последовательность собственных чисел можно упорядочить в порядке убывания

$$\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_n.$$

Соответствующие собственные векторы упорядочиваются в той же последовательности и образуют матрицу преобразования

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_m]^T, m \leq n.$$

Вектор  $y = Wx = [y_1, \dots, y_m]^T$  является вектором главных компонент. Погрешность реконструкции вектора данных  $x = W^T y$  определяется как сумма отброшенных собственных чисел  $\varepsilon = \sum_{i=m+1}^n \lambda_i$ .

Преобразование по методу главных компонент определяет корреляцию между переменными, образующими входное множество. Если переменные коррелируют между собой, то для определения всех данных достаточно взять меньшее число переменных. Для нахождения матрицы преобразования можно применять стандартные методы нахождения собственных векторов, например продолжение декомпозиции  $QR$ .

#### *Регрессионные методы анализа данных*

Задача регрессии заключается в установлении зависимостей непрерывных выходных переменных от значений входных переменных. Регрессионный анализ изначально базировался на получении уравнения линейной множественной регрессии с последующим обобщением на нелинейный случай. С развитием теории искусственных нейронных сетей (НС) большую популярность приобрели однонаправленные многослойные нейронные сети. Широкое применение также нашли сети, основанные на радиальных базисных функциях.

Для извлечения знаний из системы данных и для решения задач управления широкое применение нашли однонаправленные многослойные нейронные сети. Важным свойством нейронных сетей является способность к обучению и обобщению полученных знаний. Обученная на ограниченном множестве обучающих выборок сеть обобщает накопленную информацию и выдает реакцию на данные, не применявшиеся при обучении.

Нейронная сеть осуществляет нелинейное преобразование вектора  $x$  в вектор  $y$ :

$$y = \Phi(W, x),$$

где  $\mathbf{W}$  – матрица коэффициентов преобразования, определяемая в процессе обучения сети.

Многослойная нейронная сеть состоит из входного и выходного слоев, а также из нескольких внутренних (скрытых) слоев (рис. 1.2).

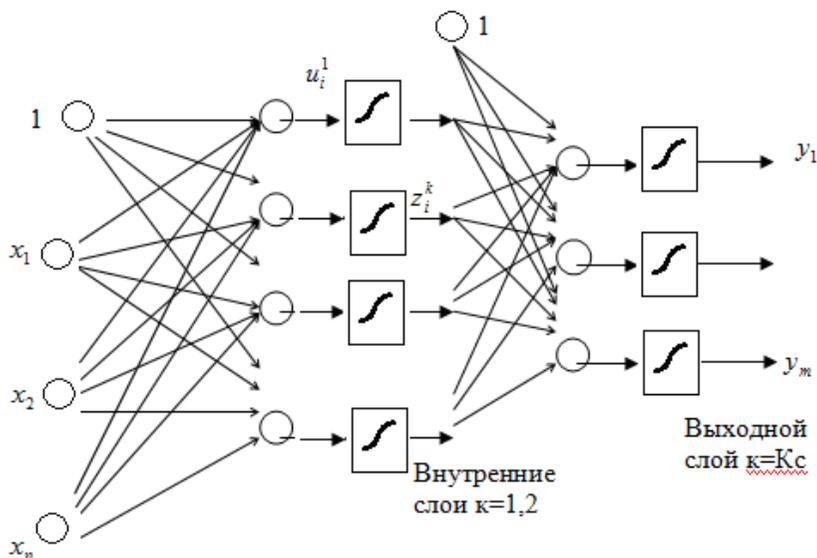


Рис. 1.2. Структура нейронной сети

Входной слой имеет размерность входного вектора  $\mathbf{x} = [x_1, \dots, x_n]$ . Обычно размерность вектора  $\mathbf{x}$  увеличивают еще на единицу, добавляя  $x_0 = 1$ . Также добавляются по одному нейрону с выходом  $z_0^k = 1$  в каждый скрытый слой. Это делается для включения величины смещения функции активации в множество весовых коэффициентов. Каждый нейрон первого скрытого слоя ( $k = 1$ ) осуществляет суммирование входящих сигналов

$$u_i^1 = \sum_{j=0}^n w_{ij}^1 x_j, \quad i = \overline{1, N_1}.$$

Для способности обрабатывать нелинейные зависимости выходной сигнал нейрона преобразуется с помощью функции активации

$$z_i^k = G(u_i^k), i = \overline{1, N_k}; k = \overline{1, Kc},$$

где  $N_k$  – число нейронов в  $k$ -м слое;  $Kc$  – число слоев,  $z_0^k = 1$ .

В качестве функции активации используется сигмоида  $G(s) = \frac{1}{1 + \exp(-\beta s)}$ . Производная от этой функции выражается

через значения самой функции

$$\frac{dG}{ds} = \beta G(s)(1 - G(s)).$$

Выходные преобразованные сигналы суммируются на последующем слое и т. д. до последнего выходного слоя:

$$u_i^k = \sum_{j=0}^{N_{k-1}} w_{ij}^k z_j^{k-1}, z_i^k = G(u_i^k), i = \overline{1, N_k}, k = \overline{1, Kc},$$

так что

$$\mathbf{z}^0 = \mathbf{x}, \mathbf{y} = \mathbf{z}^{Kc}.$$

Построенная таким образом нейронная сеть содержит весовые коэффициенты  $w_{ij}^k, i = \overline{1, N_k}, j = \overline{0, N_{k-1}}, k = \overline{1, Kc}$ , требующие определения в процессе обучения.

Для обучения используется система данных, представляющая собой набор наблюдаемых точек  $(\mathbf{x}^j, \mathbf{f}^j), j = \overline{1, p}$ , где  $\mathbf{x}, \mathbf{f}$  – входной вектор и вектор функции, соответственно. Система данных из  $p$  точек делится на две выборки: обучающую  $(\mathbf{x}^j, \mathbf{f}^j), j = \overline{1, h}$  и проверочную  $(\mathbf{x}^j, \mathbf{f}^j), j = \overline{h+1, p}$ . Весовые коэффициенты нужно подобрать таким образом, чтобы они обеспечили минимальное отклонение рассчитываемых в сети значений  $\mathbf{y}$  от имеющихся  $\mathbf{f}$ , т. е. давали бы минимум целевой функции

$$F(\mathbf{W}) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m (y_i - f_i^q)^2 \Rightarrow \min.$$

Здесь  $\mathbf{W}$  – матрица коэффициентов  $w_{ij}^k, i = \overline{1, N_k}, j = \overline{0, N_{k-1}}, k = \overline{1, Kc}, q$  – номер предъявляемой для обучения пары из выборки  $(\mathbf{x}^q, \mathbf{f}^q), q = \overline{1, h}$ .

Для обучения нейронной сети (настройки коэффициентов  $\mathbf{W}$ ) наиболее часто применяются алгоритм обратного распространения ошибки и генетические алгоритмы.

### *Радиальные нейронные сети*

В отличие от многослойных нейронных сетей, сети радиального типа реализуют принцип локальной аппроксимации [52]. Радиальная сеть имеет только один скрытый слой, выполняющий нелинейное отображение при помощи нейронов с базисными радиальными функциями вида  $\varphi(\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_i\|)$ . Математическая запись такой сети имеет вид

$$F(\mathbf{X}) = \sum_{i=1}^H w_i \varphi(\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_i\|),$$

где  $w_i$  – вектор весов скрытого слоя;  $\mathbf{x}$  – входной вектор;  $\mathbf{c}_i (i = 1, 2, \dots, H)$  – множество центров, подлежащих определению.

Для обучения радиальной сети применяется алгоритм, состоящий из двух этапов и минимизирующий целевую функцию вида

$$E = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P \left[ \sum_{j=1}^H w_j \varphi(\|\mathbf{x}_i - \mathbf{c}_j\| - d_i) \right]^2,$$

где  $d_i$  – ожидаемый выход сети;  $P$  – количество обучающих пар  $(\mathbf{x}_i, d_i)$ ;  $H$  – количество радиальных функций.

В качестве радиальных функций используется функция Гаусса

$$\varphi(\mathbf{x}) = \exp \left[ -\frac{\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_j\|}{2\sigma_j^2} \right]$$

либо обобщенная функция Гаусса

$$\varphi(\mathbf{x}) = \left[ \frac{\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_j\|}{2\sigma_j^2} \right]^{b_j}.$$

Первым этапом алгоритма является процедура подбора параметров радиальных функций, которая является главной трудностью в обучении радиальных сетей. Для решения этой задачи предлагается центры базисных функций  $\mathbf{c}_i$  подбирать методом нечеткой самоорганизации *C-means*. Этот алгоритм позволяет точно определить положение центров  $\mathbf{c}_i$ , что существенно ускоряет процесс обучения и гарантирует нахождение глобального минимума.

Второй этап расчета весовых коэффициентов  $w_j$  ( $j = 1, 2, \dots, H$ ) предполагает вычисление псевдоинверсии радиальной матрицы. Радиальная матрица, обозначим ее через  $\mathbf{G}$ , состоит из радиальных функций и содержит  $P$  строк и  $H$  столбцов.

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 1 & \varphi_1(\mathbf{x}_1) & \cdots & \varphi_H(\mathbf{x}_1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \varphi_1(\mathbf{x}_P) & \cdots & \varphi_H(\mathbf{x}_P) \end{bmatrix}.$$

Вектор весов  $\mathbf{W} = [w_0, w_1, w_2, \dots, w_H]^T$  находится с помощью операции псевдоинверсии матрицы  $\mathbf{G}$ :

$$\mathbf{W} = \mathbf{G}^+ \mathbf{D},$$

где  $\mathbf{D} = [d_1, d_2, \dots, d_P]^T$  – вектор ожидаемых значений;  $\mathbf{G}^+$  – псевдоинверсия матрицы  $\mathbf{G}$ , которая рассчитывается с помощью операции инверсии

$$\mathbf{G}^+ = (\mathbf{G}^T \mathbf{G})^{-1} \mathbf{G}^T.$$

### *Моделирование систем на основе нечеткого логического вывода*

Гибкость нейронных сетей и их способность к обобщению возрастают при использовании другого направления интеллектуальных технологий – теории нечеткой логики. Применение теории нечеткой логики к описанию сложных систем заключается в том, что система представляется в виде нечеткой сети. Взаимодействия между элементами системы представляются в виде нечетких правил [66]. Количественный результат взаимодействия между элементами определяется на основе нечеткого

вывода. Представим нечеткое правило в виде:  $A \Rightarrow B$ . Условие  $A$  в общем случае представлено в виде:

$$\text{if}(x_1 \in A) \text{AND} \dots (x_j \in A_j) \text{AND} \dots (x_M \in A_M) \text{then}(y \in B_i).$$

Для определения результирующего уровня активации применяется оператор логического умножения для отдельных составляющих условия в правиле. Агрегированная по всем правилам функция принадлежности определяется логическим суммированием. Точечная оценка результата определяется относительно центра области. Правила могут устанавливаться экспертами. При наличии системы данных, соответствующей объекту, правила получают по какому-либо классификационному алгоритму обучения.

Для применения математических методов, позволяющих алгоритмизировать поведение сложных систем, следует построить системы-классификации, отображающие множество описаний объектов с заданными отношениями иерархии и эквивалентности классов (групп). При создании модельной системы-классификации опыт субъекта, оценивающего сопоставимость объектов, заменяется обобщенной экспертной системой. Результатом начального этапа системного моделирования является следующая постановка задачи [67].

Проводится отбор объектов с известными свойствами, образующих множество объектов  $Q$ . Признаки-свойства объектов подразделяются на глобальные и локальные. Глобальные признаки образуют множество  $G = \{G_1, \dots, G_L\}$ , локальные составляют множество  $V$ . Множество  $G = \{G_1, \dots, G_L\}$  представляет собой иерархическую систему, состоящую из  $L$  уровней. Объекты  $Q$  классифицируются в соответствии с их свойствами. Глубина иерархии глобальных признаков зависит от объема и уровня нормирования. Класс  $g$  однозначно характеризуется набором  $L$  чисел  $\langle j_l \rangle, l = \overline{1, L}$ , где  $L$  – количество уровней в иерархии  $G$ .

Для класса  $g$ , к которому отнесен объект, устанавливаются локальные свойства  $v_i, i = \overline{1, m}$ , характеризующие данный класс.

Свойства становятся переменными рассматриваемой системы, являющейся моделью рассматриваемого класса  $g$ . Для переменных системы выбирается начальная разрешающая форма, которая может уточняться в процессе обучения. Значимость свойств и их влияние на трудоемкость деталей определяется при обработке фактических данных.

Пусть в класс  $g$  попало  $n$  объектов  $q_j, j = \overline{1, n}$  со всеми известными свойствами  $v_i, i = \overline{1, m}$ . Обозначим полученную систему  $S(g, V, Q)$ . Данная система определена на параметрически неупорядоченном множестве.

Функция поведения определяет разбиение класса  $g$  на  $K$  кластеров  $p_k, k = \overline{1, K}$  с числом элементов  $N(c_k)$  в каждом кластере. Кроме того, найденная функция поведения дает возможность установить значимость переменных  $v_i, i = \overline{2, m}$  на состояние выходной переменной  $v_1$ . Для этого будем рассматривать  $S(g, V, Q)$  как обобщенную структурированную систему, состоящую из  $K$  элементов  $\langle 1, 2, \dots, K \rangle$ . Задача реконструкции состоит в замене обобщенной системы  $S$  на некоторую гипотетическую  $S^h$ , состоящую из наборов подсистем  $S^x$ , а реконструкция проводится только по той информации, что содержится в этих подсистемах. Функции поведения подсистем определяется как проекция функции поведения обобщенной системы  $[f \downarrow S^x] = f^x$ . Функция поведения  $f_h(c)$  гипотетической системы  $S^h$  вычисляется по итерационному алгоритму соединения подсистем  $S^x$  [42].

Для нахождения степени непосредственного влияния переменных  $v_i, i = \overline{2, m}$  на переменную  $v_1$  рассмотрим два варианта гипотетических систем:

1.  $S^h = \langle 1, i \rangle \langle 2, \dots, i-1, i+1, \dots, m \rangle, i = \overline{2, m}$ .
2.  $S^h = \langle i \rangle \langle 1, 2, \dots, i-1, i+1, \dots, m \rangle, i = \overline{2, m}$ .

При замене системы  $S$  на систему  $S^h$  происходит потеря информации. Мера потери информации называется *информационным расстоянием* и вычисляется по формуле

$$D(S, S^h) = \sum_{c \in C} f_B(c) \log_2 \frac{f_B(c)}{f^h(c)}.$$

Величина информационного расстояния системы  $S^h$  от системы  $S$  для 1-го варианта гипотетической системы будет тем меньше, чем большее влияние свойство  $v_i$  оказывает на свойство  $v_1$ . Для второго варианта  $S^h$  величина  $D(S, S^h)$  возрастает при увеличении влияния  $v_i$  на  $v_1$ .

Весовые коэффициенты  $0 \leq \rho_i \leq 1, i = \overline{2, m}$ , характеризующие степень влияния  $v_i$  на  $v_1$ , определяются по формулам:

$$\rho_i^1 = \frac{1}{\frac{D_i}{\sum_{i=2}^m \frac{1}{D_i}}}, i = \overline{2, m} - 1\text{-й вариант};$$

$$\rho_i^2 = \frac{D_i}{\sum_{i=2}^m D_i}, i = \overline{2, m} - 2\text{-й вариант}.$$

Предпочтение отдается тому варианту, для которого величина  $H^j = \left| \sum_{i=2}^m \rho_i^j \log_2 \rho_i^j \right|, j = 1, 2$  является минимальной.

Выбранные свойства системы  $v_i, i = \overline{1, m}$  характеризуются набором лингвистических переменных  $x_i, i = \overline{1, m}$ . Лингвистические переменные могут иметь основные значения: «низкий» ( $L$ ), «средний» ( $M$ ), «высокий» ( $H$ ) и некоторые промежуточные  $H = \{L, LM, M, MH, H\}$  в случае необходимости. В обучаемой нечеткой системе множество  $H$  содержит произвольное число термов, определяемое разрешающей формой.

Будем записывать  $n$  правил, связывающих состояния переменных системы, в виде

$$P_j : x_k = Z_{kj} \mid \{x_1 = Z_{1j}, \dots, x_i = Z_{ij}, \dots, x_m = Z_{mj}\}, j = \overline{1, n},$$

где  $Z_{ij}$  – некоторое значение из множества  $H$ .

Правило читается: переменная  $x_k$  принимает соответствующее значение из множества  $\{L, \dots, H\}$ , если остальные переменные  $x_i, i = \overline{1, m}, i \neq k$  имеют некоторые значения из этого множества.

Правила могут устанавливаться экспертами. При наличии системы данных, соответствующей объектам  $G$ , правила получаются по алгоритму обучения.

Введем кодировку значений лингвистических переменных в виде номеров термов множества  $x_i = k, k = \overline{0, K_i}, i = \overline{1, m}$ . Каждый терм характеризуется своей функцией принадлежности  $\mu_{ik}(v_i)$ .

Состояния  $s$  соответствуют сочетаниям значений переменных  $v_i, i = \overline{1, m}$ . Каждое состояние будем рассматривать как правило  $P_j, j = \overline{1, N}; N \leq n$ . На этапе определения правил необходимо предусмотреть, чтобы обучающая выборка  $g_j \in G, j = \overline{1, n}$  была подобрана корректно, т. е. правила должны быть непротиворечивыми. В случае если выборка имеет небольшой объем, к полученным правилам эксперт может добавить ряд дополнительных правил.

Объект с прогнозируемой характеристикой имеет определенные количественные характеристики  $v_i = v_i^0, i = \overline{2, m}$ . Требуется определить характеристику  $v_1^0$ .

Пересечением нечетких множеств  $\{x_1 = Z_{1j} \cap x_2 = Z_{2j} \dots \cap x_m = Z_{mj}\}$  для правой части  $j$ -го правила является множество со степенью принадлежности  $\mu_j(v_i^0) = \min_{i=2, m} [\mu_i(v_i^0)]$ . Скорректированная функ-

ция принадлежности, соответствующая переменной  $v_1$ , определяется по соотношению

$$\mu_c(v_1) = \bigcup_{k=0}^{K_1} \mu_{1k}(v_1) b_k,$$

где

$$b_k = \left\{ x_1 = k \mid \max_j \mu_j(v_i^0) \right\}, k = \overline{0, K_1}.$$

Вычисляется точечная оценка переменной  $v_1$

$$v_1^0 = \frac{\int \mu_c(u) u du}{\int_{v_1} \mu_c(u) du}.$$

Результат применения правил нечеткого вывода сильно зависит от выбранного вида функций принадлежности. Как правило, заданием функций принадлежности занимаются опытные эксперты. При наличии имеющихся опытных данных параметры функций принадлежности можно подобрать в процессе обучения нечеткой системы. Для этого можно использовать функции принадлежности трапецидальной формы, как это показано на рис. 1.3.

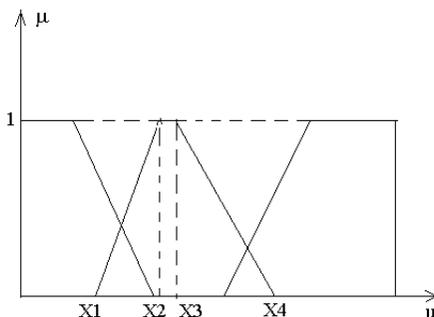


Рис. 1.3. Функции принадлежности в форме трапеций

Параметрами функций принадлежности будут являться значения  $X1, X2, X3, X4$  для каждого терма. Обозначим эти параметры

$$X_{pi}^t, i = \overline{1, m}; t = \overline{1, T_i}; p = \overline{1, 4},$$

где  $T_i$  – количество термов для переменной  $u_i$ .

Вид правил также определяют левая и правая границы термов  $BL_i^t, BR_i^t, i = \overline{1, m}; t = \overline{1, T_i}$ , которые в общем случае не совпадают с  $X_{1i}^t, X_{4i}^t$ .

Результатом алгоритма точечной оценки является результат  $u_k^0$ , зависящий от правил и параметров

$$X_{pi}^t, BL_i^t, BR_i^t, i = \overline{1, m}; t = \overline{1, T_i}; p = \overline{1, 4}.$$

Таким образом, определена функция

$$U = U(u_i^j, X_{hi}^t, BL_i^t, BR_i^t), j = \overline{1, n}$$

или

$$U = U(\mathbf{Y}),$$

где  $\mathbf{Y}$  – вектор, состоящий из переменных  $X_{pi}^t, BL_i^t, BR_i^t, i = \overline{1, m}; t = \overline{1, T_i}; p = \overline{1, 4}$ .

Для обучения строится целевая функция

$$F(\mathbf{Y}) = \left[ \sum_{j=1}^n (U(u_i^j, \mathbf{Y}) - u_k^j)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \Rightarrow \min,$$

минимизирующая среднеквадратическое отклонение между фактическими значениями  $u_i^j$  и полученными точечными оценками  $U(\mathbf{Y})$  за счет изменения переменных

$$\mathbf{Y} = \{ X_{pi}^t, BL_i^t, BR_i^t, i = \overline{1, m}; t = \overline{1, T_i}; p = \overline{1, 4} \}.$$

Обученная система получает способность к прогнозированию и исполнению данных.

### Моделирование динамических систем

Рассмотрим систему в самом общем виде: набор элементов, связи между элементами, цель системы. Связи между элементами (прямые и обратные) задаются в виде нечетких правил. Для определения результирующего уровня активации применяется оператор логического умножения для отдельных составляющих условия в правиле:

$$\mu_A^j(x) = \min_i (\mu_A(x_i)).$$

Агрегированная по всем правилам функция принадлежности определяется логическим суммированием

$$\mu_B(y) = \max_{j=1, N} (\mu_A^j(x) \mu_B^j(y)).$$

Точечная оценка результата определяется относительно центра области:

$$y_c = \frac{\int \mu_B(y) y dy}{\int \mu_B(y) dy}.$$

Если обозначить  $\mathbf{U} = (u_k), k = 1, K$  – вектор входных воздействий, а  $\mathbf{Y} = (y_l), l = 1, L$  – результирующий вектор, то функционирование системы в направлении от входа к выходу определяется зависимостью

$$\mathbf{Y} = \mathbf{F}(\mathbf{U}, \mathbf{W}),$$

где  $\mathbf{W}$  – параметры системы, включая и внешние факторы.

При наличии обратной связи в системе функциональная зависимость принимает рекуррентный вид:

$$\mathbf{Y}(t) = \mathbf{F}(\mathbf{U}(t-1), \mathbf{Y}(t-1), \mathbf{W}),$$

где  $t$  – время развития системы.

Данная модель позволяет имитировать поведение системы при варьировании величин компонент вектора  $\mathbf{U}$ . На основе этих уравнений можно решить задачу оптимального управления: тре-

буется подобрать управляющие воздействия таким образом, чтобы достигнуть экстремума функционала

$$F = \int_0^{t_F} |\mathbf{Y}(t, \mathbf{W}) - \mathbf{Y}_p(t)| dt,$$

где  $\mathbf{Y}_p(t)$  – заданное изменение вектора выходных переменных во времени.

Параметры нечетких правил определяются либо в режиме обучения, либо в режиме «экспертной системы». При практической реализации алгоритмов существуют проблемы, связанные с дифференцируемостью функционалов и наличием многих экстремумов целевой функции. Типичное поведение функции отклонения, показанное на рис. 1.4, имеет большое количество локальных экстремумов и продолжительные плоские участки (здесь переменная  $x$  – разрез по одной из переменных).

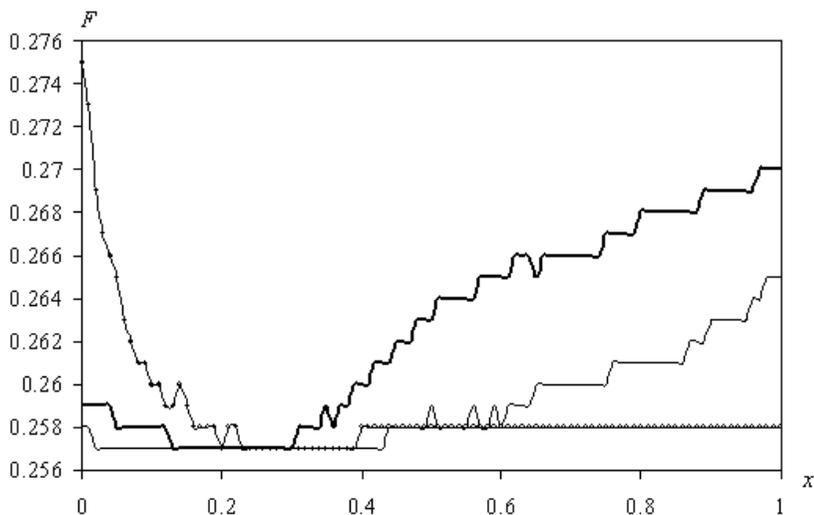


Рис. 1.4. Зависимость функции отклонения  $F(x_i)$

для  $x_{103}, x_{118}, x_{151}$

Такие многоэкстремальные функции в принципе не могут минимизироваться классическими методами оптимизации. Применение генетического алгоритма позволяет решить задачу обучения данной нечеткой системы.

#### 1.4. Методы решения задачи оптимизации

Общая задача математического программирования записывается в виде нахождения экстремума целевой функции (для определенности минимума)

$$F(\mathbf{x}) \rightarrow \min, \quad (1.1)$$

где  $\mathbf{x} \in \mathfrak{R}^N$  – вектор переменных. Ограничения на переменные определяются областью допустимых значений

$$\mathbf{x} \in D. \quad (1.2)$$

Если целевой критерий (1.1) описывается нелинейной функцией и область допустимых значений (1.2) задана системой нелинейных уравнений и неравенств

$$\begin{aligned} \mathbf{g}(\mathbf{x}, \mathbf{a}) &\leq 0, \\ \mathbf{h}(\mathbf{x}, \mathbf{a}) &= 0, \end{aligned} \quad (1.3)$$

то задачи (1.1), (1.3) являются задачей нелинейного программирования. Здесь  $\mathbf{g}, \mathbf{h}$  – векторы функций,  $\mathbf{a}$  – вектор управляемых параметров.

При наличии нескольких критериев  $\mathbf{F} = (F_1, \dots, F_k)$  задача называется многокритериальной или векторной оптимизации  $\mathbf{F}(\mathbf{x}) \rightarrow \min$ .

Описание поведения некоторых систем требует использования дифференциальных уравнений с включением набора управляющих функций  $\mathbf{u}$ . В таких случаях целевым критерием является функционал от этих управляющих функций  $\Phi(\mathbf{u}) \rightarrow \min$ .

Состояние системы определяется дифференциальным оператором  $L(\mathbf{x}, \mathbf{a}, \mathbf{u})$  и ограничениями на область допустимых значе-

ний управляющих функций  $\mathbf{u} \in U$  и переменных (1.2). В таком случае ставится задача оптимального управления. В ряде задач оптимизации целевой критерий может не иметь явного вида, а представляется в виде некоторого алгоритма.

При математическом моделировании объектов, характеризующихся неопределенностью, они могут описываться системами нечеткого логического вывода. Для нахождения оптимального состояния таких объектов следует формулировать задачу нечеткого программирования.

Выбор численных методов решения оптимизационных задач определяется видом задачи. Для простого класса оптимизационных задач с линейными целевыми функциями и линейными ограничениями (задачи линейного программирования) разработаны методы, позволяющие найти оптимальное решение (или установить неразрешимость задачи) за конечное количество шагов расчета. Введение условий дискретности переменных усложняет нахождение решения. Произвольный вид функций ограничивает вычислительные возможности существующих методов оптимизации. Самой большой сложностью для решения задач оптимизации является наличие нескольких экстремумов. При получении решения без дополнительных исследований поведения целевой функции нельзя однозначно установить к какому экстремуму оно сошлось. Поэтому глобальная оптимизация является пока нерешенной проблемой. Результат применения классических методов оптимизации как требующих вычисления производных, так и прямых методов сильно зависит от имеющегося начального допустимого приближения. Появившиеся в последние десятилетия методы оптимизации, основанные на генетических алгоритмах (ГА), в определенной степени уменьшают эти трудности.

Двоичное представление хромосом в классических реализациях алгоритмов влечет за собой определенные трудности при выполнении поиска в непрерывных пространствах, которые связаны с большой размерностью пространства поиска. Это происходит, когда фенотип объекта представляется множеством вещественных чисел, например, при оптимизации сложной функции. Точность представления переменной определяется количеством

разрядов, используемых для кодирования одной хромосомы. Поэтому при увеличении разрядности и размерности вектора переменных пространство поиска расширяется и становится огромным. Для решения таких задач в непрерывных пространствах применяется генетический алгоритм с вещественным кодированием (*RCGA*) [66, 103]. Основная идея *RCGA* заключается в том, чтобы напрямую представлять гены в виде вещественных чисел, т. е. генотип объекта становится идентичным его фенотипу. Вектор хромосомы состоит из вектора вещественных чисел, и точность найденного решения будет определяться не количеством разрядов для кодирования битовой строки, а будет ограничена возможностями ЭВМ, на которой реализуется вещественный ГА.

Применение вещественного кодирования может повысить точность найденных решений и повысить скорость нахождения глобального минимума или максимума. Скорость повышается из-за отсутствия процессов кодирования и декодирования хромосом на каждом шаге алгоритма. Единственное преобразование, которое целесообразно проводить, это приведение переменных к безразмерному виду в диапазоне  $[0;1]$ .

Для *RCGA* стандартные операторы скрещивания и мутации не подходят, т. к. алгоритм работает только с вещественными числами. Рассмотрим следующие типы операторов скрещивания.

### **BLX- $\alpha$ оператор**

Для скрещивания выбираются две особи:

$$\mathbf{x}^{(1)} = (x_1^{(1)}, \dots, x_i^{(1)}, \dots, x_n^{(1)}), \mathbf{x}^{(2)} = (x_1^{(2)}, \dots, x_i^{(2)}, \dots, x_n^{(2)}).$$

Значение нового гена определяется как линейная комбинация  $x_i = a_{BLX}x_i^{(1)} + b_{BLX}x_i^{(2)}$ . Коэффициенты  $a_{BLX}$ ,  $b_{BLX}$  определяются следующими соотношениями:

$$a_{BLX} = (1 + \alpha - u(1 + 2\alpha)), b_{BLX} = (u(1 + 2\alpha) - \alpha),$$

где число  $\alpha \in [0,1]$ ;  $u \in (0,1)$  – случайное число.

**Оператор Bin1**, имитирующий скрещивание при бинарном кодировании:

$$x_i = a_{Bin1} x_i^{(1)} + b_{Bin1} x_i^{(2)},$$

$$a_{Bin1} = \frac{(1+z)}{2}, b_{Bin1} = \frac{(1-z)}{2},$$

$$z = \begin{cases} (2u)^{\frac{1}{1+\beta}} & | u \leq 0,5 \\ (2(1-u))^{-\frac{1}{1+\beta}} & | u > 0,5 \end{cases}.$$

Коэффициент  $\beta > 1$ .

Оператор Fit:

$$x_i = a_{Fit} x_i^{(1)} + b_{Fit} x_i^{(2)},$$

$$a_{Fit} = \frac{\overline{F}(\mathbf{x}^{(1)})}{\overline{F}(\mathbf{x}^{(1)}) + \overline{F}(\mathbf{x}^{(2)})}, b_{BLX} = \frac{\overline{F}(\mathbf{x}^{(2)})}{\overline{F}(\mathbf{x}^{(1)}) + \overline{F}(\mathbf{x}^{(2)})},$$

где  $\overline{F}(\mathbf{x})$  – нормированное значение целевой функции.

Для задачи  $F(\mathbf{x}) \rightarrow \min$  нормированное значение

$$\overline{F}(\mathbf{x}) = 1 - \frac{F - F_{\min}}{F_{\max} - F_{\min}}.$$

Для растяжения значений функции приспособленности применяется операция возведения в степень:

$$\overline{F}(\mathbf{X}) = \left( 1 - \frac{F - F_{\min}}{F_{\max} - F_{\min}} \right)^\gamma, \gamma \in (0,1,1).$$

Оператор скрещивания Bin2

Так же, как в бинарном кодировании, преобразуем вещественное число  $r_i$  на отрезке  $[A_i, B_i]$  в целое число  $g_i = (2^L - 1) \frac{(r_i - A_i)}{B_i - A_i}$ .

В случае бинарного скрещивания при двоичном представлении числа  $g_i$  случайным образом определяется положение раздела хромосомы  $k$  для скрещивания. После этого производится об-

мен выделенными частями хромосом. Если имеется два числа

$$g^{(1)} = \sum_{j=0}^L l_j^{(1)} 2^j, \quad g^{(2)} = \sum_{j=0}^L l_j^{(2)} 2^j, \quad \text{то результат скрещивания}$$

$$g = \sum_{j=0}^k l_j^{(1)} 2^j + \sum_{j=k+1}^L l_j^{(2)} 2^j.$$

Результатом имитации данной операции в вещественном варианте является выражение

$$x_i = a_{Bin2} x_i^{(1)} + b_{Bin2} x_i^{(2)}.$$

Коэффициенты  $a_{Bin2}, b_{Bin2}$  определяются следующим образом:

$$b_{Bin2} = \frac{2^\xi}{2^L} = 2^{\xi-L} = 2^{-1} (2^{-u})^{L-1}, \quad a_{Bin2} = 1 - b_{Bin2},$$

где  $\xi \in [0, L)$  – случайное число, соответствующее позиции скрещивания;  $u = 1 - \frac{\xi}{L-1}$  – случайное число и  $u \in [0, 1]$ .

Операторы скрещивания  $Bin1, Bin2, BLX$  имеют вероятностный механизм за счет случайного выбора  $u$ . В операторах  $Bin1, Bin2$  чаще происходит скрещивание в младших разрядах чисел. В операторе  $BLX$  скрещивание происходит равномерно в диапазоне изменения вещественных чисел. Для всех операторов скрещивания выполняется условие  $a + b = 1$ .

В качестве оператора мутации применялась случайная мутация, при которой  $g_i$ , подлежащий изменению, принимает случайное значение из диапазона своего изменения  $[A_i, B_i]$ .

Кроме оператора мутации применяется оператор инверсии, который для вещественного кода имеет вид

$$\bar{\mathbf{g}} = \begin{cases} (\bar{g}_i = g_{i-\xi}), & i = \overline{1, N - \xi}, \\ (\bar{g}_i = g_{i-n+\xi}), & i = \overline{N - \xi + 1, N}, \xi \in (1, N). \end{cases}$$

Последовательность операций в алгоритме с вещественным кодированием такая же, как и в стандартном генетическом алго-

ритме бинарного кодирования. Отличие заключается в виде генетических операторов. Перед началом процесса при  $t = 0$  формируется популяция, состоящая из  $m$  особей. Особь или хромосома представляется в виде

$$G = [\mathbf{x}\psi] = (g_i), i = \overline{1, N},$$

где  $\mathbf{x} = (x_i), i = \overline{1, N}$  – вектор аргументов функции;  $\psi$  – преобразование, осуществляющее переход от вектора  $\mathbf{x}$  (фенотипа) к кодированному представлению (генотипу).

Преобразование осуществляется приведением аргументов к безразмерному виду

$$\psi : y_i = \frac{x_i - \min_{i=\overline{1, N}} x_i}{\max_{i=\overline{1, N}} x_i - \min_{i=\overline{1, N}} x_i}, i = \overline{1, N}.$$

Обратное преобразование

$$\psi^{-1} : x_i = \min_{i=\overline{1, N}} x_i + y_i \left( \max_{i=\overline{1, N}} x_i - \min_{i=\overline{1, N}} x_i \right), i = \overline{1, N}.$$

Проводится эволюция популяции на итерации  $t = t + 1$ . Отбор особей для скрещивания осуществляется турнирным методом: случайным образом выбираются две особи и особь с лучшим качеством (с минимальным значением  $F(\mathbf{x})$  или с максимальным  $\overline{F}(\mathbf{x})$ ) привлекается для скрещивания при заданной вероятности скрещивания. В общем случае целесообразно рассматривать все операторы скрещивания. При проведении каждой операции скрещивания случайным образом выбирается один из операторов. В этом случае используются все положительные качества всех операторов скрещивания.

В работе [50] было показано, что эффективность генетических алгоритмов можно существенно повысить за счет применения дополнительного улучшения самой лучшей в популяции особи с помощью какого-либо градиентного или прямого метода. Одним из направлений улучшения работы оптимизационных методов является применение гибридных алгоритмов, объеди-

няющих свойства градиентных и эволюционных алгоритмов. Обычно находят начальное приближение, локализованное в области экстремума, с помощью генетического алгоритма, а затем уточняют положение экстремума градиентным методом. В этом случае также ускоряется сходимость, но экстремум не обязательно будет глобальным.

Рассмотрим гибридный алгоритм, основанный на параллельной работе генетических операторов и какого-либо дополнительного градиентного или прямого метода. В популяции, созданной генетическим алгоритмом, выбирается лучшая особь – лидер. Этот лидер обучается отдельно по дополнительному методу. Если его качественный показатель при этом лучше, чем у всех остальных особей в популяции, то он вводится в популяцию и участвует в воспроизводстве потомков. Если появляется особь в популяции, полученная в результате эволюции, с лучшим показателем, то лидером становится она.

#### *Гибридный алгоритм*

1)  $k = 0$ . Формируется популяция, состоящая из  $m$  особей  $\{C^s, s = \overline{1, m}\}^k$  по *BGA*- или *RGA*-методу. Первый номер принимает особь  $C^1$  с лучшим показателем (минимальным значением функции (1.1)). С помощью преобразования  $\psi^{-1}$  получаем вектор  $\mathbf{x}_b^k$  и  $\mathbf{x}^k = \mathbf{x}_b^k$ .

2)  $k = k + 1$ . С помощью квазиньютоновского метода вычисляется следующее приближение вектора  $\mathbf{x}^k$ . Генетическим алгоритмом создается следующая популяция  $\{C^s, s = \overline{1, m}\}^k$  и находится лучшая особь, определяющая очередной вектор  $\mathbf{x}_b^k$ .

3) Если  $F(\mathbf{x}_b^k) < F(\mathbf{x}^k)$ , то  $\mathbf{x}^k = \mathbf{x}_b^k$ .

4) Если  $F(\mathbf{x}_b^k) \geq F(\mathbf{x}^k)$ , то  $C^1 = [\mathbf{x}^k, \psi]$ .

5) Если выполняется условие остановки, то *конец*, иначе, на пункт 2.

По скорости сходимости гибридный алгоритм существенно эффективнее обоих методов, работающих независимо друг от

друга. Применение гибридной схемы для генетического алгоритма, основанной на элитном обучении квазиньютоновским методом лучшего представителя популяции, дало эффект «сумма больше составляющих частей». В результате стало возможным решение задач, невозможное при использовании каждого метода в отдельности.

В качестве дополнительного метода целесообразно также применить генетический алгоритм, но в более узкой области поиска. Границы узкой области поиска определяются следующим образом. Если  $\mathbf{x} = (x'_i), i = \overline{1, N}$  – лучшая в популяции особь, то границы области дополнительного поиска равны:

$$A'_i = x'_i - \Delta_i, B'_i = x'_i + \Delta_i; \Delta_i = \delta(B_i - A_i).$$

Результаты тестов показали, что величина  $\delta \in (10^{-4}, 10^{-3})$ .

## Глава 2

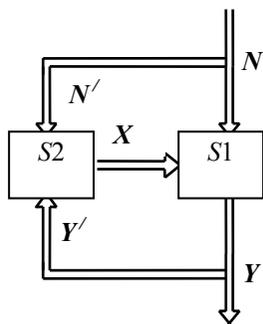
# ПРОБЛЕМА ВЫБОРА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ СЛУЖБОЙ УГОЛОВНО-ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Общеизвестно, что модель – это упрощенное представление некой реальной сложной системы, а также протекающих в ней процессов. Для исследования систем и построения моделей управления используются методы системного анализа [22, 50]. Системный анализ в широком смысле представляет собой научный метод познания, заключающийся в последовательности действий по установлению связей между элементами исследуемой системы. Системный анализ опирается на комплекс общенаучных, экспериментальных, естественно-научных, статистических, математических методов. Это такие методы, как абстрагирование и конкретизация, анализ и синтез, формализация и конкретизация, композиция и декомпозиция, распознавание и идентификация и т. п. Для управления моделью, а следовательно, и управляемой системой (системой с управлением) применяются подходы, изучаемые в теории управления [80]. Принято считать, что системы с управлением создаются для достижения целей, которые определяются в рамках решения неких прикладных задач. Поэтому в зависимости от природы выделяют социальные (или организационные), технические, а также комплексные (организационно-технические) системы с управлением. Совершенно очевидно, что системы медицинского обеспечения относятся к типу организационных (или социальных) систем [104].

Структура системы медицинского обеспечения с управлением представлена на рис. 2.1.

Не вызывает сомнения, что основные характеристики управляющей системы должны позволять с максимальной эффективностью и минимальными издержками производить воздействие на управляемую систему. В нашем случае управляющая система – орган управления (ОУ) медицинской службой и медицин-

ским обеспечением, который реализует задачи целеполагания, стабилизации, оптимизации и тем самым обеспечивает выполнение задачи медико-санитарного обеспечения ФСИН России. Оптимальное достижение конкретной цели, стоящей перед медицинской службой – это с минимальными издержками и максимальной эффективностью обеспечить доведение всего спектра медицинских услуг от «производителя» (в данном случае – медицинского работника) к «потребителю» (пациенту, нуждающемуся в оказании медицинской помощи).



*Рис. 2.1.* Общая структурная схема системы медицинского обеспечения с управлением:  $S1$  – объект управления (силы и средства медицинской службы);  $S2$  – управляющая система (орган управления медицинской службой и медицинским обеспечением);  $N$  – информация о состоянии внешней среды;  $N'$  – доля информации о состоянии внешней среды, имеющаяся в управляющей системе;  $X$  – командная информация (приказы, указания, распоряжения, директивы);  $Y$  – информация о состоянии объекта управления состояние сил и средств медицинской службы);  $Y'$  – информация о состоянии объекта управления, имеющаяся в управляющей системе

Объект управления (силы и средства медицинской службы) является исполнительным инструментом, реализующим основную функцию всей системы медико-санитарного обеспечения ФСИН России.

Полноценное функционирование связки «управляющая система – управляемая система» невозможна без системы связи, которая, являясь частью системы управления, обеспечивает обмен управляющей информацией между управляющей системой и объектом управления. Под системой связи следует понимать

разработку и представление документов медицинского учета и отчетности, а также приказы и распоряжения, касающиеся медицинской службы УИС [57].

Теория систем и системный анализ (ТССА) подразумевают, что все типы систем с управлением подчиняются универсальным законам, знание которых позволяет качественно решать прикладные задачи управления [77]. Это имеет прямое отношение к системам медицинского обеспечения силовых структур. К указанным принципам относятся следующие [50]:

1. Наличие *наблюдаемости объекта управления*. В теории управления объект управления считается наблюдаемым в состоянии  $z(t)$  на множестве моментов времени  $T$ , при входном воздействии  $x(t)$ , если уравнение наблюдения динамической системы, представленное в виде

$$y(t) = g[t, x(t), z(t)],$$

где  $y(t)$  – некоторая реализация выходного процесса, доступная для регистрации, имеет единственное решение

$$z(t) = z(t) \in Z.$$

Если это утверждение справедливо для любого  $z(t) \in Z$ , то объект считается полностью наблюдаемым.

2. Наличие *управляемости* – способности объекта управления переходить в пространстве состояний  $Z$  из текущего состояния в требуемое под воздействиями управляющей системы.

3. Наличие *цели управления*, под которой понимают набор значений количественных или качественных характеристик, определяющих требуемое состояние объекта управления.

4. Возможность выбора *управляющих воздействий (решений)* из множества допустимых альтернатив. Известно, что чем меньше это множество, тем менее эффективно управление.

5. Наличие *критерия эффективности управления*, которым считается степень достижения конечной цели работы системы.

6. Наличие соответствующих *ресурсов* (материальных, финансовых, специальных и др.), ибо управление без ресурсов невозможно.

Под структурой системы с управлением понимается совокупность элементов системы, а также взаимосвязей между ними. При проведении системного анализа на этапе изучения структур системы аналитики решают обычно следующие задачи [22]:

- соответствует ли существующая структура основным целям и функциям системы;

- требуется ли реорганизация существующей структуры, либо необходимо спроектировать принципиально новую структуру;

- каким образом перераспределить функции системы по элементам структуры.

Решение этих задач во многом зависит от того, к какому типу существующих структур систем управления относится анализируемая система [62].

Традиционно различают структуры:

- линейную,

- кольцевую,

- сотовую,

- многосвязную,

- иерархическую,

- звездную.

Целесообразно рассмотреть их последовательно, чтобы определить какой тип структуры системы медицинского обеспечения УИС наиболее оптимален.

В линейной структуре каждая вершина связана с двумя соседними, и при выходе из строя хотя бы одного элемента или связи структура разрушается.

Кольцевая структура отличается замкнутостью, т. к. любые два элемента обладают только двумя направлениями связи.

Сотовая характеризуется наличием резервных связей.

Многосвязная имеет структуру полного графа.

В звездной структуре имеется центральный узел, а все остальные элементы системы являются подчиненными.

Система медицинского обеспечения любой ведомственной системы относится к типу сложной иерархической структуры, т. к. обладает всеми свойствами, характерными для этой структуры.

Необходимо отметить, что в теории управления существует понятие организационной структуры управления, под которой понимают совокупность подсистем, объединенных иерархическими взаимосвязями, обеспечивающими распределение функций управления между лицом, принимающим решение (ЛПР), и подчиненными структурами [54]. Организационная структура регулирует финансовые, материальные и информационные потоки, объединяет человеческие и материальные ресурсы, упорядочивает связи между ними. Организационную структуру определяют следующие характеристики:

- количество звеньев управления;
- количество уровней иерархии;
- степень централизации управления;
- делегирование полномочий;
- норма управляемости.

*Уровень (ступень) иерархии* – это группа звеньев, в которых ЛПР имеют одинаковые полномочия. Связи между уровнями иерархии выражают отношение подчинения нижних уровней (дочерних) верхним (родительским). Небезынтересно отметить, что при проектировании систем управления важно определить степень централизации (децентрализации) управления. Система управления *называется централизованной*, если принятие решений осуществляется только в центральном (самом верхнем) узле системы. Система управления *называется децентрализованной*, если решения принимаются отдельными элементами системы независимо от других участников процесса и не корректируются центральным органом управления. В децентрализованной системе органы управления приближены к объектам управления. Это повышает оперативность управления, улучшает контроль за состоянием объекта управления, ускоряет получение информации о необходимых параметрах управляемой системы и об окружающей среде.

Необходимо особо подчеркнуть, что в реальных системах часть решений принимается централизованно, а часть – децентрализованно. Делегирование полномочий, т. е. передача части прав принятия решений нижестоящим звеньям управления, используется, как правило, для разгрузки центра, повышения качества управления.

Основными видами организационных структур считаются:  
функциональная,  
дивизиональная,  
линейная,  
линейно-штабная,  
проектная,  
матричная.

Функциональная (традиционная, классическая) структура является наиболее часто используемой. Этот способ структурирования системы управления основан на создании отдельных звеньев, соответствующих одноименным функциям управления (планирование, учет, контроль, анализ и др.) (рис. 2.2).

Преимущества функциональной структуры управления:

- улучшение координации;
- исключение дублирования функций.

Недостатки функциональной структуры:

- конфликты между звеньями;
- увеличение длительности процесса управления;
- отсутствие персональной ответственности за результаты работы.

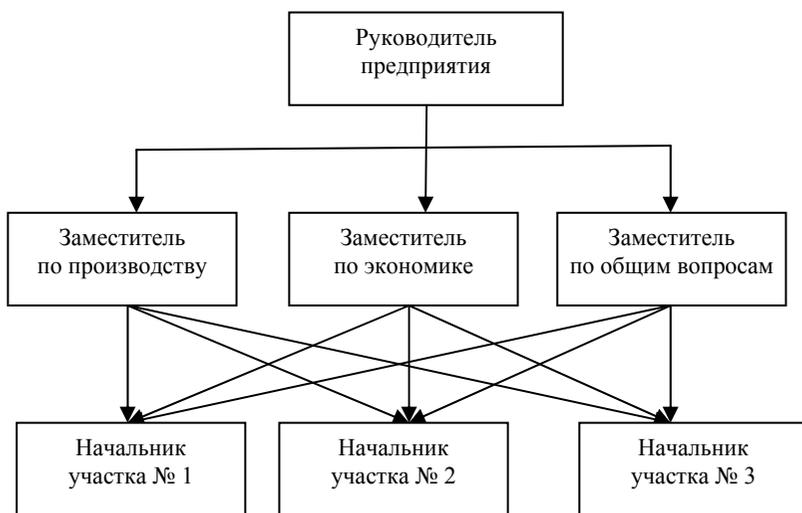


Рис. 2.2. Пример функциональной структуры управления

В случае использования *дивизиональной* структуры управления происходит деление системы управления по возможным трем признакам:

- по продукту;
- группам пользователей;
- географическим регионам.

В крупные узлы системы делегируется большинство полномочий центра, и они действуют как почти самостоятельные организации.

Дивизиональные продуктовые структуры используются тогда, когда имеется большое число разнообразных услуг или продуктов, предоставляемых пользователям. Как правило, дивизиональная структура представлена управленческими звеньями, занимающимися соответствующими продуктами (услугами).

Дивизиональные структуры, ориентированные на пользователей, состоят из подразделений, каждое из которых обслуживает определенную категорию потребителей. Примерами таких структур являются структуры банков, торговых организаций, учебных заведений и т. п. (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Дивизиональная структура управления

Региональные дивизиональные структуры связаны с ростом организации. По этому типу организованы в частности транснациональные промышленные компании. В соответствии с концепцией военного строительства, принятой в конце 90-х годов, было установлено единое военно-административное деление территории Российской Федерации на шесть региональных дивизиональных структур, называемых стратегическими направлениями:

Западное (в границах Московского военного округа);

Северо-Западное (в границах Ленинградского военного округа);

Юго-Западное (в границах Северо-Кавказского военного округа);

Центрально-Азиатское (в границах Приволжского и Уральского военных округов);

Сибирское (в границах Сибирского и Забайкальского военных округов);

Дальневосточное (в границах Дальневосточного военного округа).

На каждом направлении было организовано оперативно-стратегическое (территориально-стратегическое) командование. Оно по своему статусу отвечает за состояние, развитие, подготовку и применение дислоцированных в своих границах всех военных формирований независимо от их вхождения в различные федеральные ведомства. Это позволяет централизовать все имеющиеся силы и средства, рационально их использовать, обеспечивая безопасность на том или ином стратегическом направлении.

Выбор конкретного типа дивизиональной структуры (по продукту, пользователю или по географическому признаку) зависит от того, какой фактор является доминирующим для достижения стратегической цели.

Несмотря на недостатки дивизиональной структуры (дублирование функций, сложность контроля подразделений) она неизменно рассматривается как наиболее эффективная.

*В линейной структуре* все элементы находятся на прямой вертикальной линии подчинения, от верхнего до нижнего уров-

ня. При этом каждый уровень управления подчиняется вышестоящему.

Сочетание линейной и функциональной структур представляет собой линейно-штабную структуру (рис. 2.4). При этом создается одна или несколько групп подчиненных управленцев одного уровня иерархии, отвечающих за отдельные функции управления. В результате линейное руководство дополняется штабным.



Рис. 2.4. Линейно-штабная структура управления

При неправильном построении системы управления и нарушении связей между подсистемами, расположенными на различных иерархических уровнях, возникают структуры, называемые *патологическими*.

Один из примеров патологии – это так называемое *двойное подчинение*, когда для некоторого ОУ существуют две системы управления. Так, на рис. 2.5 показано, что ОУ2 одновременно подчиняется системам управления СУ2 и СУ3.

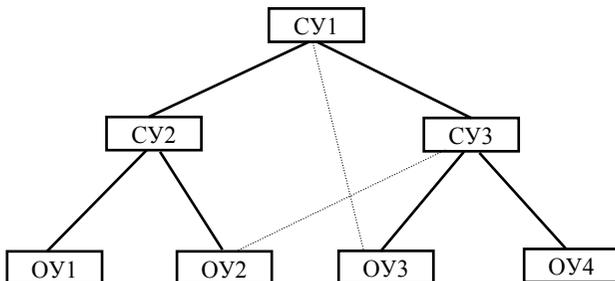


Рис. 2.5. Примеры патологических систем управления

Чтобы такой ОУ мог функционировать нормально, необходимо очень четкое разделение функций между системами СУ2 и СУ3, а также координация их действий со стороны центрального органа управления СУ1. При несогласованных действиях подразделений СУ2 и СУ3 находящийся в их подчинении ОУ2 будет получать противоречащие друг другу указания и распоряжения, а в некоторых ситуациях не будет получать никаких указаний.

В пенитенциарной медицине пример такого управления – явление так называемой *двойной лояльности*, при которой медицинские работники подчиняются одновременно начальнику исправительного учреждения (ИУ) и начальнику медицинской службы территориального органа ФСИН [32, 72].

Рассматривая систему управления медицинской службы УИС, необходимо отметить, что медицинская служба уголовно-исполнительной системы – это уникальная, складывающаяся десятилетиями, структура. На сегодня это единая многоуровневая система учреждений и подразделений, призванная обеспечить доступность, своевременность, качество и преемственность оказания медицинской помощи личному составу УИС и лицам, содержащимся в учреждениях УИС. Исторически сложилось так, что в отношении пенитенциарного врача на сегодня существует описанная выше система «двойного управления». С одной стороны, пенитенциарный врач – это собственно врач, дававший клятву Гиппократу и имеющий соответственное подчинение по специальным вопросам, с другой – сотрудник системы, подчиняющийся приказам начальника того исправительного учреждения, где данный сотрудник служит [72].

«Двойная лояльность» – это этический термин, означающий одновременную лояльность к двум отдельным, зачастую противоположным интересам, следствием которой является конфликт интересов управляющих структур [32]. Пенитенциарным медикам постоянно приходится выбирать между врачебной лояльностью к пациенту и лояльностью к государству (в нашем примере – в лице службы исполнения наказаний).

Международная рабочая группа по двойной лояльности, созданная в 1993 г. организацией «Врачи за права человека», дает

следующее описание шести наиболее распространенных типов нарушений прав человека, вызванных ситуацией двойной лояльности [25, 26]:

1. Использование медицинских знаний или квалификации от имени государства для причинения боли или физического либо психологического вреда, которые не оправданы применяемым лечением (в том числе участие в пытках, в исполнении смертной казни, в производстве принудительных аборт, стерилизации и контрацепции, в проведении унижительных медицинских осмотров и калечащих операций на женских половых органах, в использовании химических и физических средств фиксации либо инвазивных осмотров из соображений усиления безопасности в тюрьмах, центрах временного содержания и других учреждениях закрытого типа).

2. Подчинение независимого медицинского суждения о лечении или диагностике задаче подтверждения выводов, благоприятных для государства.

3. Ограничение или отказ в предоставлении лечения либо информации о лечении ради выполнения государственной политики таким образом, что это нарушает права человека в отношении пациента (сюда входит отказ или ограничение в предоставлении медицинской помощи из дискриминационных соображений либо отказ или ограничение в предоставлении помощи заключенным и задержанным лицам).

4. Раскрытие конфиденциальных сведений о пациенте органам государственной власти или влиятельным негосударственным структурам.

5. Проведение освидетельствования для юридических или административных целей так, что это имеет последствия для прав человека.

6. Молчание в ситуации нарушений прав человека в отношении лиц и групп, находящихся под опекой медицинских работников.

В свете сказанного становится ясно, что роль врача в местах лишения свободы очень важна. Врач – это единственный человек в исправительном учреждении, которому начальник тюрьмы не может давать указаний в отношении его профессиональных

обязанностей. Однако в компетенции начальника ИУ отдача приказов, которые пенитенциарный врач обязан выполнять как аттестованный сотрудник.

Место пенитенциарного врача в структуре управления и основные звенья существовавшей до 2014 г. модели управления представлены на рис. 2.6. Как видим, в этой системе управления имелись два проблемных или патологических узла, которые многие годы являлись причиной многочисленных конфликтов, жалоб, судебных разбирательств и других подобных проблем.

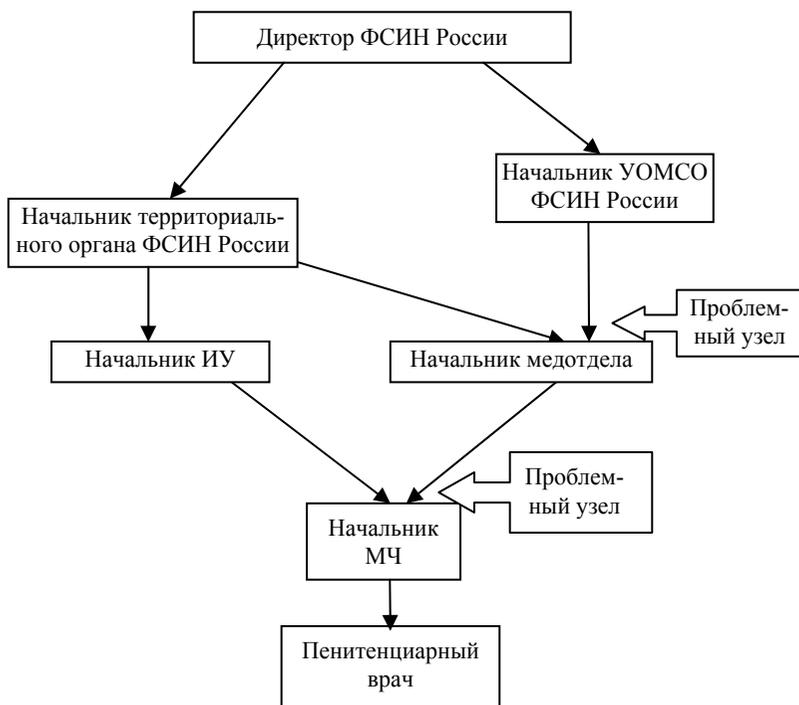


Рис. 2.6. Существовавшая до 2014 г. модель управления медицинской службой уголовно-исполнительной системой

Необходимо отметить, что пенитенциарная медицина является «лицом» уголовно-исполнительной системы, т. к. по работе здравоохранения УИС зачастую оценивается вся федеральная

служба исполнения наказаний, именно по качеству работы медицинской службы делаются некие окончательные итоговые выводы. При этом многочисленные факты, относящиеся к так называемой «двойной лояльности» (раскрытие врачебной тайны, выполнение приказов, направленных на неоказание нужной медицинской помощи, выполнение пенитенциарными медиками несвойственных им функций и т. п.), привели к дискредитации работы пенитенциарных медиков и многочисленным жалобам со стороны как правоохранительных организаций, так и самих отбывающих срок наказания граждан.

Настоятельная потребность в переменах в деле медицинского обеспечения лиц, отбывающих наказание в виде лишения свободы, привела к тому, что в 2011–2013 гг. была проведена реформа пенитенциарного здравоохранения, квинтэссенцией которой стало создание медико-санитарной части (МСЧ) [73, 74]. С 2014 г. новая система управления была внедрена повсеместно.

Изначально предполагалось, что МСЧ будет представлять собою сеть филиалов и центральный орган – управление медико-санитарной частью, состоящий из нескольких отделов. Медико-санитарная часть должна являться самостоятельным юридическим лицом. Возглавлять ее должен начальник МСЧ, который, как представлялось, должен непосредственно подчиняться директору ФСИН России, а по вопросам медико-санитарного обеспечения – начальнику управления организации медико-санитарного обеспечения ФСИН России. Структура этой модели управления представлена на рис. 2.7.

Как видим, в данном случае ликвидируются два патологических узла, а сама схема управления имеет характер дивизиональной структуры, которая, по общему мнению, является наиболее эффективной системой управления.

Однако наличие недостатков, которые изначально характерны для данного типа управления (дублирование функций, сложность контроля подразделений, высокие затраты на содержание параллельных веток управляющих структур), привели к тому, что в ходе реформирования было решено частично отказаться от указанной модели управления [56].

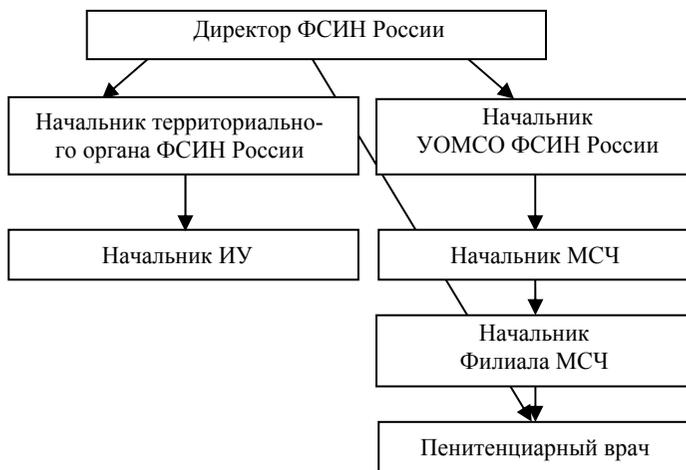


Рис. 2.7. Предполагаемая модель управления медицинской службой уголовно-исполнительной системой

На сегодняшний день модель управления медицинской службой ФСИН выглядит следующим образом (рис. 2.8).

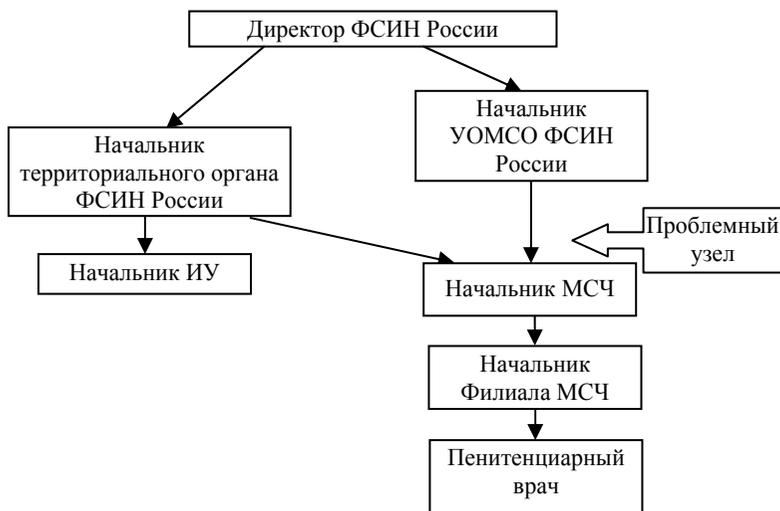


Рис. 2.8. Существующая модель управления медицинской службой уголовно-исполнительной системы

Как видим, в модели управления ликвидирован один патологический узел, дававший максимум проблем. Это двойное подчинение пенитенциарного врача. Такое изменение структуры управления, т. е. вывод медиков из прямого подчинения начальников исправительных учреждений, дает возможность избежать выполнения медицинскими работниками режимных функций, разглашения врачебной тайны и т. п. Вместе с тем, остается еще один патологический узел на уровне управления медико-санитарной части. Дальнейший мониторинг работы медицинской службы УИС покажет, насколько изменилась ситуация при изменении модели управления и сохранении существующей ситуации.

В целом считается, что создание медико-санитарных частей ФСИН России позволит [71]:

- обеспечить независимость медицинских специалистов (врачей) в принятии профессиональных решений.

- не привлекать медицинских работников для выполнения функций и задач, не связанных с вопросами оказания медицинской помощи и медицинского обеспечения.

- организовать проведение плановых мероприятий по включению медико-санитарных частей в территориальные программы обязательного медицинского страхования субъектов Российской Федерации.

- обеспечить свободы маневра силами и средствами медицинской службы.

- более оперативно принимать решения по выполнению задач и функций медико-санитарного обеспечения.

- создать условия для интеграции медицинской службы уголовно-исполнительной системы в государственную систему здравоохранения.

- оказать влияние на формирование позитивного общественного мнения о ФСИН России.

- снизить показатели обращаемости с жалобами лиц, содержащихся под стражей и осужденных.

Решением проблемы существования оставшегося патологического узла в модели управления медицинской службой ФСИН может быть так называемое межранговое управление (управле-

ние «через инстанцию»). На рис. 2.9 показано, что центральный орган *A* системы управляет подразделениями низшего уровня через промежуточные системы управления *B* и *B* и, кроме того, объектом управления ОУЗ непосредственно, минуя промежуточные уровни или ранги.

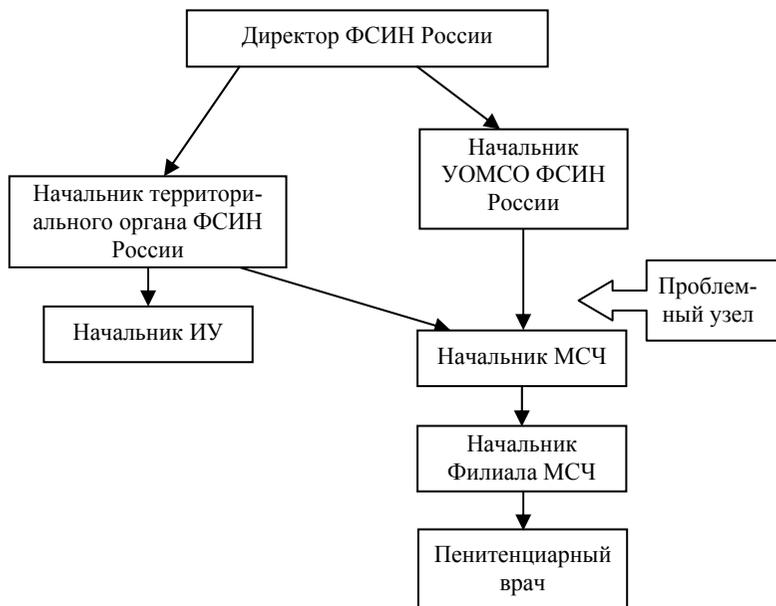


Рис. 2.9. Возможная схема межранговой модели управления медицинской службой

Не вызывает сомнения, что поиск такой модели должен быть осуществлен в ближайшее время (рис. 2.10).

Исходя из сказанного следует считать, что основными задачами текущего этапа реформирования медицинской службы УИС являются [71]:

- оценка функционирования единой системы медико-санитарных частей;
- обеспечение независимости медицинского персонала в принятии решений и сосредоточение их усилий на непосредственном выполнении задач по медико-санитарному обеспечению;

- укрепление материально-технической базы медицинских подразделений;
- создание одноканальной системы финансирования.

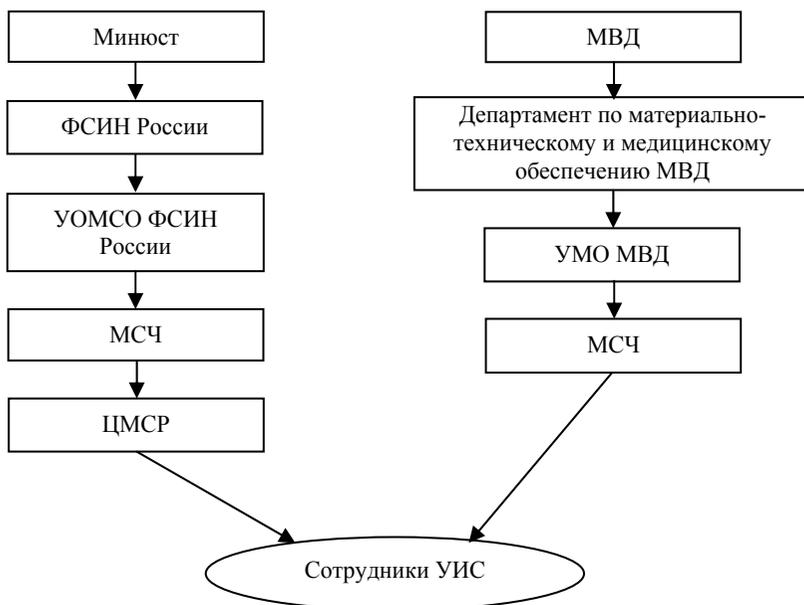


Рис. 2.10. Модель системы медицинского обеспечения сотрудников УИС

Отдельной проблемой является медицинское обеспечение сотрудников УИС. С позиции теории управления модель системы медицинского обеспечения сотрудников УИС является патологической, т. к. управляемый объект (сотрудники УИС, нуждающиеся в медицинской помощи) относится к структурам двух независимых друг от друга систем.

Из патологической структуры модели системы медицинского обеспечения сотрудников УИС вытекает множество проблем: несогласованность документации, отсутствие внятной статистики, недостаточное качество медицинской помощи (КМП), проблемы с диспансеризацией и т. д. Учитывая, что медицинские мощности Министерства внутренних дел (МВД) намного выше,

чем ФСИН, сотрудники УИС зачастую оказываются в положении «людей второго сорта» при оказании медицинской помощи. Имеющиеся в структуре МСЧ ФСИН России центры медицинской и социальной реабилитации (ЦМСР) на сегодня оснащены явно недостаточно. Кроме того, само понятие ЦМСР в том значении, которое придается ему в УИС, отсутствует в номенклатуре Минздрава. Согласно приказу Минздрава № 529н от 6 августа 2013 г. «Об утверждении номенклатуры медицинских организаций», центры медицинской и социальной реабилитации предназначены исключительно для инвалидов и детей-инвалидов с тяжелыми формами детского церебрального паралича, а также для больных наркоманией. Сказанное актуализирует проблему медицинского обеспечения сотрудников УИС – проблему, которая на сегодня не имеет однозначного решения (во всяком случае, в рамках существующей системы управления медицинской службой УИС).

Как видим, проблемы правильного построения системы медико-санитарного обеспечения уголовно-исполнительной системы невозможны без их научного осмысления. В противном случае, необдуманные реформы ведут к разорительной трате материальных и финансовых средств, ненужному ажиотажу при выполнении противоречивых приказов, а также к потере доверия к управляющему органу со стороны участников процесса – медиков, работающих в пенитенциарной системе Российской Федерации. К сожалению, опыт последних десятилетий показывает, что пренебрежение к элементарным знаниям в области теории управления, авторитаризм в принятии решений, склонность к сомнительным схемам, пришедшим из 90-х годов, привели к крайне негативным последствиям в реализации реформы уголовно-исполнительной системы нашей страны, что в полной мере касается системы медико-санитарного обеспечения ФСИН России.

### Глава 3

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕФОРМИРОВАНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ СЛУЖБЫ УГОЛОВНО-ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Принципы анализа системы с управлением были реализованы при проведении эксперимента по реформированию медицинской службы УИС, проводимого с целью совершенствования оказания медицинской помощи осужденным и лицам, заключенным под стражу в течение 2011 г. Данный эксперимент осуществлялся в рамках исполнения поручения Президента Российской Федерации. В качестве экспериментальных регионов выступили Тверская область, г. Санкт Петербург и Ленинградская область. Суть эксперимента заключалась в коренном изменении структуры медицинской службы исправительных учреждений в этих двух регионах России [74]. Реформирование предполагало создание медико-санитарных частей – принципиально новых организационных структур медицинской службы УИС.

Система мониторинга эксперимента в течение 2011 г. предполагала слежение за многими параметрами, характеризующими медицинскую службу УИС. Обилие индикаторов нередко не давало ясной картины происходящего и подчас даже искажало существующее положение вещей [36]. В этой связи среди специалистов, врачей-организаторов здравоохранения пенитенциарной системы был проведен опрос, на основании которого и выбраны наиболее информативные, по их мнению, показатели, по динамике которых можно было бы судить об эффективности проводимых реформ в медицинской службе уголовно-исполнительной системы [39].

Количественную оценку степени значимости предлагаемых факторов решено было провести на основе метода анализа иерархий, который предполагает декомпозицию проблемы на более простые составляющие с построением дерева иерархий, в котором цель располагается в вершине, а промежуточные уровни образуют критерии и факторы [3]. В результате сжатия

информации и уменьшения энтропии число анализируемых показателей сократилось сначала до 30, затем до 25. Конечная модель была представлена 9 ключевыми показателями, включенными в компьютерную программу, которая позволяла оперативно проводить анализ ситуации (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Модель системы мониторинга эксперимента

Для установления относительной важности элементов иерархии использовалась шкала отношений, расчеты проводились с использованием метода анализа иерархий [61].

Степень важности элементов нижнего уровня для элементов, расположенных в иерархии на более высоких уровнях, определялась с помощью иерархического синтеза. Низший уровень об-

разуют переменные, характеризующие систему  $\mathbf{x} = (x_i)_{i=\overline{1,n}}$ . Результирующее значение  $y$  складывается с учетом весовых коэффициентов на предыдущих уровнях.

Если провести умножение матриц, то получим коэффициенты значимости каждой переменной  $\mathbf{x} = (x_i)_{i=\overline{1,n}}$  на величину  $y = y(\mathbf{x}, \tilde{\mathbf{w}}^3)$ .

В общем виде оператор иерархического синтеза запишем в следующей форме:

$$S: \tilde{w}_{ij}^{l+1} = \sum_{j^{(l)}=1}^{n^{(l)}} \tilde{w}_{ij^{(l)}}^l w_{j^{(l)}i}^{l+1}, l = \overline{1,L};$$

$$l = 1: \tilde{w}_{ij}^1 = w_{ij}^1,$$

где  $L$  – количество уровней иерархии;  $n^{(l)}$  – количество элементов на уровнях ( $n^{(1)} = n$ ,  $n^{(L)} = 1$ ).

Для количественной оценки величины  $y(\mathbf{x})$  следует привести все значения переменных  $\mathbf{x}$  к безразмерному виду:

$$\bar{x}_i = \frac{x_i - x_i^{\min}}{x_i^{\max} - x_i^{\min}}, i = \overline{1,n}.$$

В этом случае преобразование  $y(\mathbf{x})$  примет вид:

$$y = \sum_{i=1}^n \tilde{w}_i^L \bar{x}_i, y \in [0,1].$$

В итоговую формулу, с помощью которой можно оценить эффективность работы медицинской службы территориального органа Федеральной службы исполнения наказаний (ФСИН), вошли параметры, представленные в табл. 3.1.

Итоговая формула расчета интегрального показателя выглядит следующим образом:

$$Y = 221,33 + X_1 \cdot 3,88 + X_2 \cdot 1,72 + X_3 \cdot 1,72 - X_4 \cdot 42,67 +$$

$$+ X_5 \cdot 1,72 - X_6 \cdot 0,00089 - X_7 \cdot 0,00179 - X_8 \cdot 1,38 - X_9 \cdot 0,573.$$

Динамика интегрального индекса в течение года в экспериментальных регионах представлена на рис. 3.2.

**Таблица 3.1. Перечень оценочных показателей результатов проведения эксперимента по реформированию медицинского обеспечения УИС**

Обозначение в формуле	Наименование анализируемого параметра	Единицы измерения
$X_1$	Уровень пролицензированности филиалов медико-санитарной части	%
$X_2$	Укомплектованность врачами по специальностям	%
$X_3$	Укомплектованность средним медицинским персоналом	%
$X_4$	Коэффициент совместительства медперсонала	Коэффициент
$X_5$	Доля врачей, имеющих квалификационную категорию (высшую, первую или вторую категории)	%
$X_6$	Уровень общей заболеваемости	На 100 тыс. населения
$X_7$	Уровень первичной заболеваемости	На 100 тыс. населения
$X_8$	Уровень смертности	На 100 тыс. населения
$X_9$	Уровень первичной инвалидности	На 100 тыс. населения

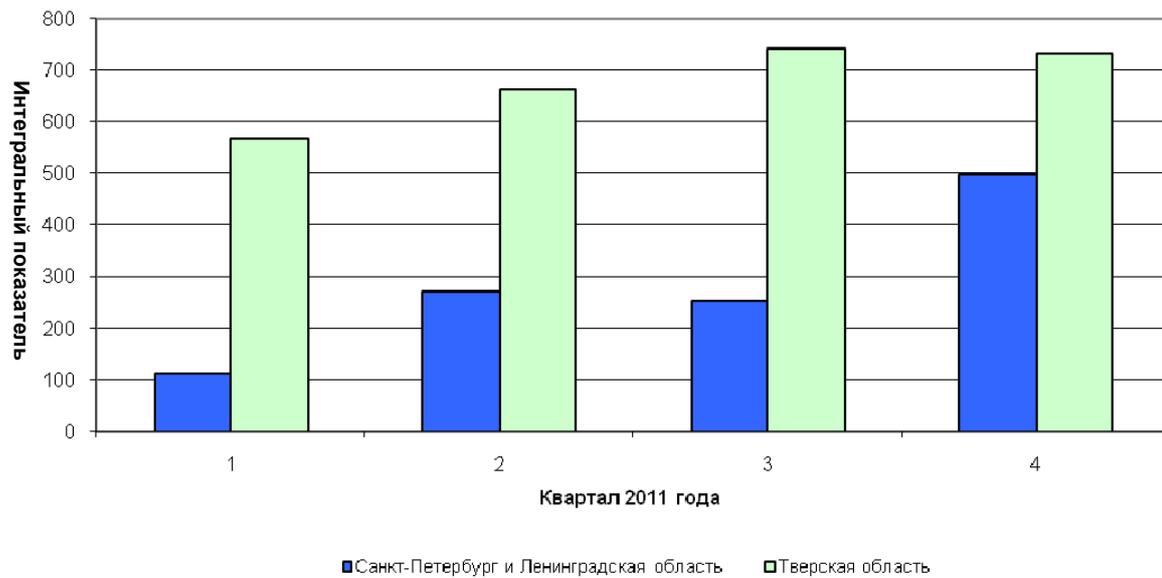


Рис. 3.2. Динамика интегрального индекса в экспериментальных регионах

Как видно из рис. 3.2, в течение года интегральный показатель в обоих регионах повысился. При этом первоначально, судя по его величине, ситуация с медицинским обеспечением в пенитенциарной системе Тверской области была намного лучше, нежели в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. Дальнейший прирост интегрального показателя в Санкт-Петербурге и Ленинградской области были выше, нежели в Тверской области.

Предложенная методика, при условии ее модификации под конкретную задачу мониторинга, позволит объективно, в реальном режиме времени, получать достоверную информацию о качестве работы медицинской службы территориальных органов ФСИН.

На основании полученных данных стало возможно определять уровень готовности медицинских служб регионов к дальнейшему проведению реформ в пенитенциарной медицине. Алгоритм анализа представлен на рис. 3.3.

Как видно из схемы, готовность к организации медико-санитарной части в территориальном органе ФСИН зависит от многих факторов, основными из которых являются: лицензирование, состояние материальной базы и степень готовности персонала [73]. Проведение анализа эффективности реформы, при условии декомпозиции проблемы на четкие составляющие и синтез дерева решений, позволяет осуществлять мониторинг ситуации с определением «уровня» медицинской службы во всех регионах нашей страны с использованием системы «светофор» (красный – плохо, желтый – удовлетворительно, зеленый – хорошо).

Естественно, что при оценке реформирования медицинской службы ФСИН необходимы индикаторы, мониторинг которых давал бы исчерпывающую информацию о качестве управления процессом.

Известно, что под понятием «эффективность» понимается степень достижения конкретных результатов. Эффективность здравоохранения, его служб и отдельных мероприятий измеряется совокупностью критериев и показателей, каждый из которых характеризует какую-либо сторону процесса медицинской деятельности [53, 72].

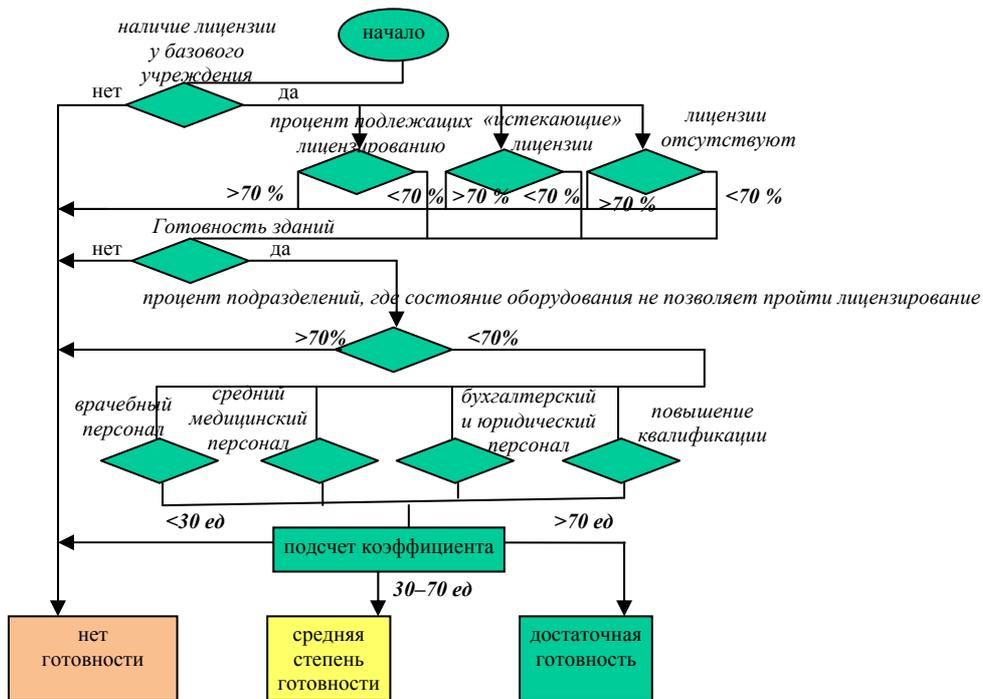


Рис. 3.3. Алгоритм определения готовности медицинских служб территориальных органов ФСИН к организации медико-санитарных частей

Расчет показателей эффективности здравоохранения производится по следующим направлениям [72]:

1. **По виду эффективности:** медицинская; социальная; экономическая.

2. **По уровню:** уровень работы врача; уровень работы подразделений; уровень работы медицинских учреждений; уровень работы отрасли здравоохранения; уровень народного хозяйства.

3. **По этапам или разделам работы:** на этапе предупреждения заболевания; на этапе лечения заболевания; на этапе реабилитации.

4. **По объему работы:** эффективность лечебно-профилактических мероприятий; эффективность медико-социальных программ.

5. **По способу измерения результатов:** через снижение потерь ресурсов; через экономию ресурсов; через дополнительно полученный результат; через интегрированный показатель, который учитывает все результаты.

6. **По затратам:** по затратам общественного труда; суммарный показатель по затратам живого и общественного труда.

7. **По форме показателей:** нормативные показатели здоровья населения; показатели трудовых затрат; стоимостные показатели.

Эффективность здравоохранения не может быть определена однозначно [72]. Применительно к здравоохранению определяются **три типа эффективности:** медицинская, экономическая и социальная. При этом существует взаимосвязь и взаимообусловленность между медицинской, социальной и экономической эффективностью, например, без оценки результатов медицинской и социальной эффективности не может быть определена и экономическая эффективность.

**Медицинская эффективность** отражает степень достижения поставленных задач диагностики и лечения заболеваний с учетом критериев качества, адекватности и результативности.

При оценке эффективности работы врачебного персонала и средних медицинских работников, в первую очередь, исходят из результатов оценки качества медицинской помощи (КМП). Необходимо отметить, что без создания полноценной ведомственной системы оценки КМП с выделением отдельного штата измерение некоторых предложенных параметров будет во многом формальным [3].

На уровне учреждений здравоохранения и отрасли в целом медицинская эффективность измеряется множеством специфических показателей, отражающих совокупные достижения медицинской службы. Считаем необходимым указать, что наибольшее качество оценки эффективности деятельности медицинских учреждений достигается их оценкой сторонними, независимыми организациями. В системе национального здравоохранения такой организацией является территориальный фонд обязательного медицинского страхования.

Оценка эффективности деятельности осуществляется последовательно и поэтапно. В основу методики расчета может быть положено сопоставление фактических возможностей и показателей, которые обязательны и адекватны (целевой ориентир). Ввиду отсутствия утвержденных целевых показателей в УИС и несопоставимости с имеющимися показателями Минздрава видится целесообразным использовать сопоставление фактических показателей со средними показателями по округу или УИС [72]. Такой подход, безусловно, учитывает изменения в рамках всей УИС и определяет степень данных изменений в территориальном органе ФСИН России, но не учитывает в полной мере региональные особенности деятельности медицинской службы УИС и существующие нормативы для граждан страны.

**Социальная эффективность** – это степень достижения социального результата. В рамках уголовно-исполнительной системы мы не можем прибегнуть ко всем показателям социальной эффективности, используемым в системе национального здравоохранения, например, увеличение продолжительности предстоящей жизни, коэффициент дожития и т. д.

В качестве основного параметра достижения социальной эффективности можно считать возможным использование оценки удовлетворенности обслуживаемого контингента системой оказания медицинской помощи в целом. Кроме того, в качестве дополнительных параметров можно осуществлять оценку таких показателей, как снижение уровня смертности и инвалидности.

**Экономическая эффективность** – это соотношение полученных результатов и произведенных затрат. Расчет экономической эффективности связан с поиском наиболее экономичного

способа использования имеющихся ресурсов. Этот показатель является необходимым составляющим звеном в оценке функционирования системы здравоохранения в целом, отдельных ее подразделений и структур, а также экономическим обоснованием мероприятий по охране здоровья населения.

Однако в условиях уголовно-исполнительной системы, когда практически 100 % финансирования осуществляется из средств государственного бюджета, отсутствует система финансирования по результату лечения, существующая в национальном здравоохранении система оценки экономической эффективности в практическом плане к уголовно-исполнительной системе неприменима [73].

В качестве оценки экономической эффективности возможно использование оценки наличия просроченной дебиторской и кредиторской задолженности; соблюдение сроков, порядка и обоснованности представления бюджетных заявок; процент использования бюджетных ассигнований на обеспечение выполнения функций.

В целях перспективного планирования и равномерного распределения финансовых потоков целесообразно осуществлять расчет объема выделенных финансовых средств на одного человека. Однако необходимо отметить, что практическое использование в планировании показателя объема финансирования на одного человека, содержащегося в учреждениях УИС, возможно только при внедрении стандартов медицинской помощи на всех этапах ее оказания.

С использованием указанных индикаторов нами разработана *ERP*-система управления медицинской службой УИС, основанная на изложенных в монографии принципах построения моделей управления. В основу системы положен механизм автоматического расчета индекса эффективности, примененный в ранее проведенных научно-исследовательских работах и реализованный в программе автоматизации мониторинга заболеваемости «Мониторинг Т» (Благодатских Г. А., Горохов М. М., Пономарев С. Б., Романов К. А., свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014661812 от 13 ноября 2014 г.).

## Глава 4

### ПЕРСПЕКТИВЫ ИНФОРМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ СЛУЖБОЙ ФСИН РОССИИ

Известно, что в своем историческом развитии информационные системы, способные оптимизировать управление социальными структурами, постоянно усложнялись [4, 6, 7]. Они прошли путь от простейшего отслеживания текущего состояния, до корпоративных информационных систем, которые способны самостоятельно вести учет и оптимизацию процессов управления, согласуя их с условиями внешней среды.

Становление методов управления системами происходит в начале XX века. Основоположниками были Ф. Тейлор [63] и Г. Гантт [86, 87]. В 20-е годы впервые был применен принцип «точно-в-срок» (*Just-In-Time*, JIT, TBC) на заводе *Ford Motor Company* (США) [85]. Широкое распространение система TBC получила с конца 50-х годов XX века, когда японская компания *Toyota Motors*, а потом и другие автомобильные компании Японии, начали внедрять систему Канбан [98]. В настоящее время система TBC широко используется в Японии, США и Европе.

Конец 80-х – середина 90-х годов ознаменованы появлением концепции *ERP* (планирование ресурсов предприятия) [95, 96]. Цельность системы *ERP* предполагает, что все ее модули могут обмениваться информацией друг с другом. Это и есть главное преимущество данного класса систем [88–91, 93].

В 90-е годы XX века были созданы 2 новые концепции: синхронное планирование и интегрированное производство. Синхронное планирование (*Advanced Planning & Scheduling, APS* [81, 82]) – это одно из последних достижений западной научной мысли в области управления сложными системами. Предполагается, что именно *APS* вытеснит *MRP II. Computer Integrated Manufacturing (CIM)* [97, 101, 102, 105], интегрированное производство) – дальнейшее обогащение систем управления, аналогичное улучшению *MRP* [100] до *MRP II* [99]. При их использо-

вании интеграция функций в единое целое приводит к появлению качественно новой функциональности.

Как было сказано, отличительной особенностью системы *ERP* является то, что все ее модули могут обмениваться информацией друг с другом [43]. Максимальный эффект наблюдается в том случае, если каждый из участников процесса активно сопровождает свою часть системы. В результате возникает возможность получить преимущество от действий своих коллег. В данном случае имеет место эффект « $2 + 2 = 5$ ». Это означает, что каждый получает от системы гораздо больше данных, чем вкладывает сам [94]. Иначе говоря, эффективность системы существенно повышается для каждого из членов процесса [75].

Классическая *MRP II/ERP*-система предполагает взаимосвязь функции планирования и управления с функциями выполнения планов, учета и контроля. Ко всему этому в *CIM* добавлены системы автоматического проектирования (САПР-системы) и оперативного управления подразделениями (АСУТП-системы).

Обобщая вышесказанное, отметим, что *CIM*-система интегрирует разнообразные программные продукты, которые имеют разную идеологию, операционные системы и форматы данных. Именно эта задача и представляется наиболее трудной, хотя и принципиально разрешима. Но на практике простой интеграции разнородных программ недостаточно – необходимо сотрудничество и взаимодействие подразделений между собой (рис. 4.1).

При описании предметной области и составлении баз данных, которые будут в дальнейшем использоваться для объектно-ориентированной декомпозиции [24, 28, 41, 44, 45, 48, 58, 59], применяются различные подходы. Ознакомиться с работами можно в источниках [5, 8, 9–20, 35, 49, 51, 59, 60, 83, 84, 92]. Условно можно выделить два подхода: проблемно-ориентированный [46] и процессно-ориентированный [25, 38]. Два этих подхода используют разные уровни описания предметной области и являются взаимно дополняющими друг друга.

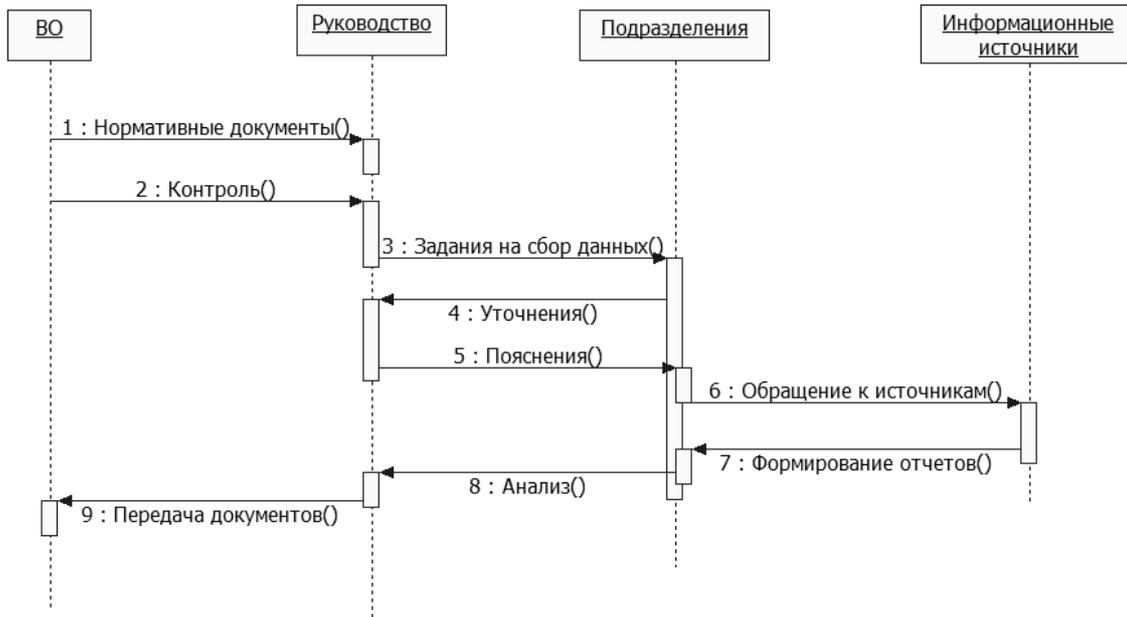


Рис. 4.1. Среда функционирования управляемой системой

При применении проблемно-ориентированного подхода анализ проводился в два этапа. На первом этапе – поиск и определение точных формулировок проблем, имеющих однозначную трактовку. В описании проблем нет элементов, указывающих на решение, в формулировке проблемы присутствует лишь описание самой проблемы, причины которой необходимо установить.

Второй этап анализа проблем заключается в поиске всевозможных причин, которые привели к указанным следствиям [34]. При проведении данного этапа на практике применяются следующие подходы:

- «мозговой штурм» (*brainstorming*),
- метод двойного создания идеи (*the double team-ideation method*),
- «Семь инструментов» (*Seven Toos*),
- «Рыбья кость» или схема Исикавы (*Fishbone*),
- метод разделения процесса на паттерны (*Process patterning*),
- метод симулирования и бенчмаркинг.

Представляется, что аналитический подход, основанный на комплексном применении методов бенчмаркинга, разделения процессов на паттерны и симулирования может быть наиболее эффективным для решения описанной задачи. При применении метода симулирования может быть построена абстрактная модель с применением метафор, позволяющая оценить процессы и организацию.

В приведенных выше обстоятельствах необходимо решать следующие проблемы [21]:

- наличие случайных факторов;
- отсутствие централизованного учета технических исполнителей (ТИ);
- слабая связь между ТИ и руководителями; так, руководитель может иметь слабое представление о действительном уровне квалификации ТИ и качестве своей работы, а ТИ не может своевременно получить данные о фактическом выполнении задания или же имеет об этом слабое представление;
- низкий контроль работы руководителей;
- большие трудозатраты по работе с бумажными документами, их сопровождению, исполнению и движению;

– отсутствие единой системы ранжирования качества выполнения работ; каждый руководитель оценивает качество работ по своей системе, что предоставляет некоторые трудности в объективной оценке работы ТИ и централизованной обработке данных по оценке качества в целом;

- отсутствует централизованное планирование мероприятий;
- большие трудовые затраты в управлении.

Описание возможных причин, которые приводят к вышеперечисленным проблемам и следствиям [26, 27]:

– недостаточная регламентация процессов и зависимость их от человеческого фактора;

– дублирование функций анализа и сбора информации в различных подразделениях;

– отсутствие единых хранилищ информации и централизованных баз данных по различным предметным областям деятельности;

– разрозненность документооборота по разным структурным подразделениям из-за отсутствия единого хранилища информации по разным предметным областям.

При внедрении комплексной автоматизированной информационной системы и реинжиниринге процессов в данной предметной области имеются следующие проблемы, затрудняющие разработку единого информационного пространства:

– отсутствие проработанной концепции автоматизации, обобщающей специфику организации основного процесса;

– отсутствие типового решения, реализующего единую концепцию и дающего основу для создания комплексной информационной системы.

Применение процессно-ориентированного подхода при описании предметной области заключается в выделении некоторых ключевых процессов, которыми необходимо управлять. При классическом (функциональном) [26, 27, 29, 30] подходе к анализу предметной области функционирующая структура представляет собой совокупность подразделений, выполняющих строго определенную последовательность некоторых задач, между которыми определены некоторые взаимодействия, а основная трудовая задача делится на некоторые этапы, и каждый со-

трудник специализируется на выполнении строго определенной задачи.

*Данная парадигма обладает рядом недостатков:*

1. Слабая мотивация работников на результат, т. к. они не понимают процессов за рамками своих подразделений. При этом нет направленности на главные задачи.

2. Затруднен обмен информацией между подразделениями в силу иерархичного строения функциональных структур. Подавляющая часть времени уходит на передачу результатов обработки информации между подразделениями (около 80 %).

Основной процесс любой управляемой структуры в своей основе имеет три составные части [78]:

- планирование основной деятельности и ее организация;
- сам основной процесс и его движение;
- контроль за основной деятельностью.

Каждый из этих трех процессов раскладывается на отдельные составляющие:

– планирование основной деятельности основывается на нормативных документах, номенклатуре, штатном расписании, материальной базе;

– планирование основной деятельности заключается в составлении планов, нормативной документации;

– контроль основной деятельности основывается на внешних отчетах, анализе данных по выполнению основных функций и контролю работы руководителей подразделений.

Остальные процессы являются вспомогательными. Из них выделяются процессы, образующие инфраструктуру организации. К числу таких процессов относятся: процессы документооборота, кадровые процессы, процессы материально-технического обеспечения. Основным связующим процессом между процессом управления и основным процессом является процесс документооборота, который порождает единую информационную среду организации.

Из управляющих процессов выделяются: планирование, контроль и анализ данных. Объектами реинжиниринга процессов являются следующие объекты:

- организационная структура предприятия;
- организация основного процесса;

- научная деятельность предприятия;
- методы и формы проведения основной деятельности;
- используемые средства для проведения основной деятельности;
- виды работ.

Для описания процесса на формальном языке-псевдокоде можно использовать различные языки моделирования, в частности – UML [23]. При этом изначально приводится идеализированная модель, которая исключает случайные факторы и учитывает только то, что управляющее действие проходит успешно все этапы процесса, не приходя к каким-либо другим финальным состояниям, кроме одного, – завершение основного процесса. Собственно говоря, эту фазу можно разбить на множество малых фаз или субфаз, каждая из которых отвечает за определенные подзадачи. В конце каждой субфазы проводится анализ полученных данных и проводится отбор контингента, допущенного к последующей субфазе.

Необходимо отметить, что отсутствие комплексного подхода к информатизации послужило фактором развития большинства проблем в информатизации [21]: громоздкие решения, высокая стоимость владения информационными структурами предприятий и т. д.

Информационная среда организации может быть условно разделена на следующие компоненты:

- аппаратный комплекс включает в себя оборудование мобильных и стационарных серверов и рабочих станций, периферийное оборудование, сетевое оборудование с телекоммуникационными каналами [65];
- программный комплекс состоит из системного, прикладного и инструментального программного обеспечения с разными типами лицензии;
- кадровый актив информационной структуры, который отвечает за формирование и развитие информационной модели, администрирование и сопровождение программно-аппаратного комплекса организации;
- метаструктура среды является описанием правил наполнения и использования информационной структуры организации;

метаструктура должна строиться на основе стратегических и тактических целей, именно она оказывает влияние на содержание остальных компонентов и динамику их развития.

Во главе управляющей структуры находится руководитель, исполняющий задачу координации деятельности в целом. В подчинении у руководителя есть заместители, координирующие деятельность по определенным направлениям и решающие тактические и оперативные задачи. Стратегические вопросы развития, как правило, решает коллегиальный орган. Как было сказано в гл. 1, в целом организация имеет иерархическую структуру, основными элементами которой являются структурные подразделения. Разработка методов управления структурными подразделениями является важной задачей, решение которой может обеспечить значительный положительный эффект.

На сегодняшний день сбор и обработка большого потока информации [79], полученной из структурных подразделений, в целях оперативного управления и формирования отчетности представляют из себя весьма трудоемкую задачу, поскольку для этого используются автономные программы, удовлетворяющие нуждам лишь определенных отделов, но непригодные для использования в информационной системе совместно. Для решения задач подобного класса необходима более совершенная информационная инфраструктура, иная организация обеспечения полноты и согласования данных.

Высокая динамичность изменений в среде функционирования системы требует от информационной системы (ИС) высокой эффективности в условиях непрерывно меняющихся постановок задач и организационных структур.

Полная концептуальная схема развертывания системы управления представлена на рис. 4.2.

Неотъемлемым элементом системы выступает веб-портал. Веб-портал реализует задачи дистанционного основного процесса. Сервер позволяет интегрировать все существующие информационные системы, объединяя их в единую систему класса *ERP*.

Показатели, полученные с помощью обобщенной информационной системы, также позволяют построить качественную и достоверную математическую модель интегральной оценки.

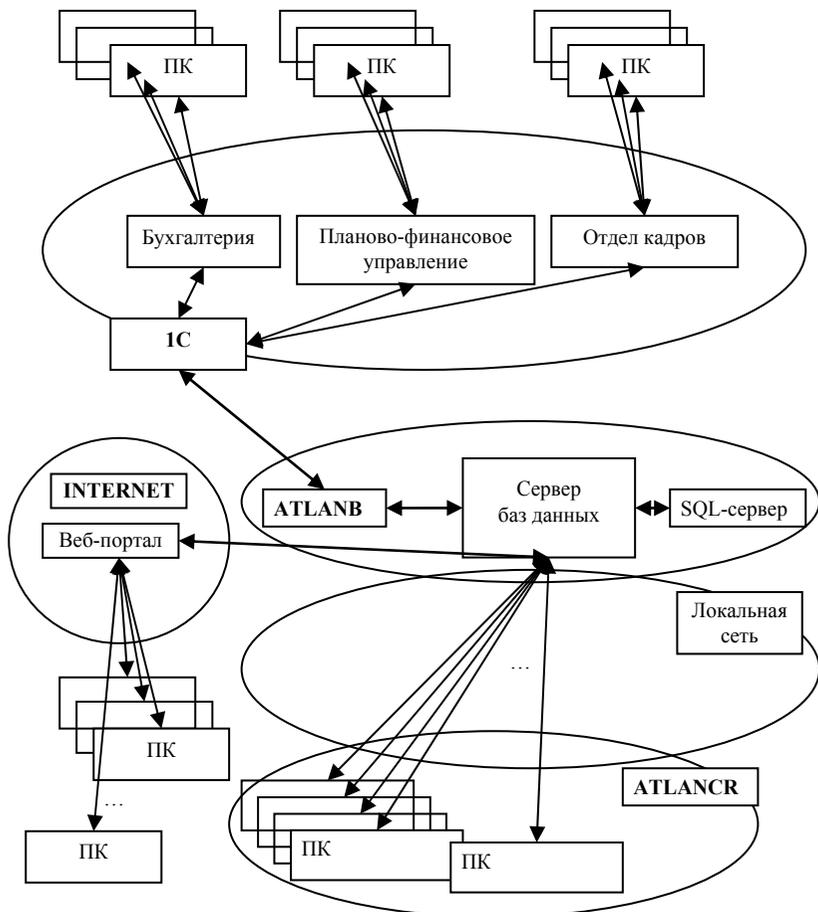


Рис. 4.2. Концепция развертывания системы

Необходимо отметить, что задача повышения эффективности внутренних систем управления организации является сложно-формализуемой. Для оценки эффективности управления необходимо проводить сложные экспертизы [40].

При проведении сложных экспертиз часто прибегают к экспертным методам. Функциями экспертов в процессе управления являются формирование объектов (альтернативы, постановка целей, формирование решений и т. п.) и их количественная

оценка. При этом в формировании объектов исследования значимую роль принимает опыт практической деятельности эксперта и уровень его знаний.

Характерными особенностями метода экспертных оценок [33] как научного инструмента решения сложных, неформализуемых проблем, являются, *во-первых*, научно обоснованная организация проведения всех этапов экспертизы, обеспечивающая наибольшую эффективность работы на каждом из этапов, и, *во-вторых*, применение количественных методов как при организации экспертизы, так и при оценке суждений экспертов и формальной групповой обработке результатов. Эти две особенности отличают метод экспертных оценок от обычной, давно известной экспертизы, широко применяемой в различных сферах человеческой деятельности.

При использовании метода экспертных оценок возникают свои проблемы. Основными из них являются: подбор экспертов, проведение опроса экспертов, обработка результатов опроса, организация процедур экспертизы.

Построение иерархии [40] является следующим этапом наших рассуждений. На практике не существует установленной процедуры генерирования целей, критериев и видов деятельности для включения в иерархию или даже в более общую систему. Это зависит от тех целей, которые мы выбираем для декомпозиции сложной системы.

Обычно эта процедура начинается с обзора существующих литературных источников. При ознакомлении с чужими работами происходит словно проход через процесс мозгового штурма для обобщения всех концепций, важных для задачи, вне зависимости от их соотношения или порядка. Важно то, что основные цели устанавливаются на верхнем уровне иерархии; их подцели – непосредственно ниже вершины; силы, ограничивающие акторов, – еще ниже. При этом наблюдается доминирование силы над уровнем самих акторов. Акторы, в свою очередь, доминируют над уровнем своих целей, ниже – уровень их возможных действий, и в самом низу – уровень различных возможных исходов. Ситуации решения конфликтов и планирования принимают данную иерархическую форму, которая для них является естест-

венной. Для физических систем возможные действия в иерархиях заменяются схемами проектирования. Далее идут промежуточные уровни. Однако потребуются большие перепроверки, и будет множество замечаний, перед тем, как оформится проработанный план построения иерархии.

Для определения приоритетов в иерархиях необходим метод [14] определения силы влияния факторов низшего уровня иерархии на верхние с целью выявления величины их воздействия на главную цель.

Этот метод можно описать следующим образом. Пусть заданы элементы четвертого уровня иерархии и один элемент следующего более высокого уровня. Нужно сравнить элементы четвертого уровня попарно по силе их влияния на этот элемент. Для этого поместить числа, отражающие достигнутое при сравнении согласие во мнениях, в матрицу и найти собственный вектор с наибольшим собственным значением. Собственный вектор обеспечивает упорядочение приоритетов, а собственное значение является мерой согласованности суждений.

На основании анализа существующих систем необходимо выделить следующие направления (или технологические пути), которые могут применяться при автоматизации процессов: построение архитектуры системы «с нуля», без использования каких-либо базовых платформ, при возможности использования сторонних решений для реализации хранения данных, интерфейса; построение архитектуры системы на базе серверов приложений и *фреймворков*, использование их единого базового функционала для развертывания систем [15].

Суммируя сказанное выше, можно утверждать, что существует необходимость рассмотрения всех процессов и выявления их специфических особенностей с точки зрения методологий *CRM*, *ERP/ERP II* и *ECM/ECM II* в комплексе [5]. На их основании был проведен контекстный анализ предметной области и выявления особенностей предметной области в контексте данных методологий [8].

Рассматривая управляемую структуру с точки зрения методологии *CRM* [84], можно выделить следующие области автоматизации, отвечающие за соответствующие процессы: задачи по

управлению персоналом и осуществлению контроля над ним; получение ранжированных списков, в частности – система рейтинговой оценки качества работы ТИ, руководителей; управление загрузкой сотрудников и структурных подразделений; управление различными видами работ сотрудников, управление общими задачами.

Данный список показывает, что общая направленность *CRM*-стратегии в основном применима к персоналу, его учету и управлению задачами подразделений и персонала. Именно к этим понятиям (или сущностям) будет применяться технология *CRM*. В отношении сотрудников применима технология управления, нацеленная на повышение качества выполнения производственных заданий, выявление наиболее сильных сотрудников, на повышение квалификации сотрудников, а в отношении ТИ будут реализованы задачи, направленные на повышение качества знаний, выявление наиболее сильных исполнителей и анализ выполненных работ, их результатов.

При этом необходимо учитывать, что поскольку сотрудники могут быть как в одном, так и в нескольких подразделениях, то здесь применима методология *ЕСМ*, которая предполагает автоматизацию документооборота, в частности введение электронного документооборота, и его анализ.

В рамках *ЕСМ* выделяются следующие области: управление приказами; управление трудовыми договорами; управление основными планами; управление индивидуальными планами; управление мероприятиями в рамках подразделений и их протоколирование.

В рамках *ERP/ERP-II* выделяют задачи, которые касаются следующих ресурсов управляемой структуры: временной ресурс; человеческий ресурс; информационный ресурс.

Под *временным ресурсом* понимается количество запланированных часов, отработанных часов, время, отведенное на выполнение тех или иных видов работ (загрузка специалистов).

Под *человеческим ресурсом* понимается наличие сотрудников, работающих в той или иной области.

Под *информационным ресурсом* понимается вся информация (*enterprise content*), которая производится в процессе движения

различных процессов, происходящих внутри организации, ее обработка, анализ и хранение.

Необходимо отметить, что одна из специфических особенностей всех информационных процессов состоит в том, что большая часть функций основного процесса не проявляется в виде операций финансово-хозяйственной деятельности.

Разработка любой современной корпоративной системы всегда связана с применением трех технологий:

- управленческой (применение методологий *CRM* и *ERP*),
- производственной (применение методологий *MRP*),
- информационной (применение методологий *ECM*).

Технологии взаимодействуют между собой, как единый механизм, принимающий на входе материальные, трудовые и информационные ресурсы, на выходе выдающий планируемый результат. Роль информационной системы в управленческом механизме логистической цепочки заключается в обеспечении единого информационного пространства, где могут быть организованы информационные связи любой направленности и сложности (рис. 4.3) [16].

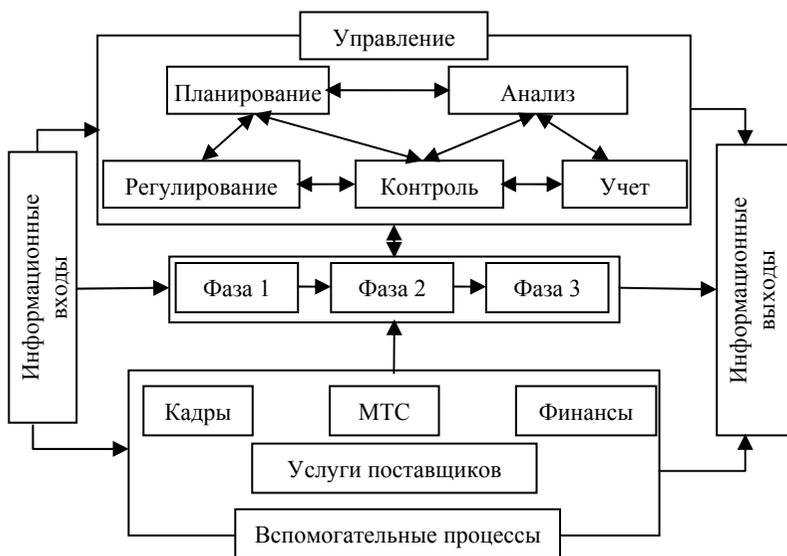


Рис. 4.3. Схема основных процессов

В работах В. К. Абросимова предложен подход [2] к рассмотрению информационных систем в контексте общей теории систем. Для этого им был применен метод аналогий. На основании данной работы, применительно к информационно-аналитической системе, предлагаются понятия объекта управления, органов управления, управляющего воздействия, программы управления, управляющих сигналов и обратной связи. Объектом управления выступают внутренние процессы организации. Органы управления представимы в виде двух компонентов. «Руководящий» компонент обеспечивает функцию «управляющего устройства».

Данный компонент реализуется лицом, ответственным за внутренний процесс. «Исполнительный» компонент представляется специальным механизмом сценариев управления в виде инструкций по работе с информационной системой. Управляющее воздействие реализовано посредством системы регламентов внутренних процессов. Программа управления реализована в виде последовательности управляющих воздействий в сфере управления внутренними процессами. Управляющие сигналы – изменение ключевых регистров информационной системы. Обратная связь реализована через изменение состояния внутренних процессов.

## *Заключение*

Как следует из приведенного в монографии материала, проблема управления медицинской службой уголовно-исполнительной системы должна основываться на базовых принципах управления силовой структурой, где вопросы стратегии и тактики управления подчиняются четким алгоритмам и основаны на научном подходе, использующем положения теории управления, теории обратной связи, теории систем. Структурирование системы управления с разграничением функций объекта и субъекта управления, а также создание системы подлежащих мониторингу индикаторов должны быть основополагающими в обосновании реформирования медицинской службы уголовно-исполнительной системы. Изложенные принципы были использованы при создании нового структурного подразделения медицинской службы уголовно-исполнительной системы – медико-санитарной части.

Как было показано, оптимальной моделью управления медицинской службой уголовно-исполнительной системы является дивизиональная модель. Однако недостатки данной модели (дублирование многих функций, сложность контроля подразделений, высокие затраты на содержание параллельных веток управляющих структур) на сегодня не позволяют полностью внедрить ее в практику.

В результате применения знаний теории управления в существующей на сегодня иерархической модели управления медицинской службой УИС в виде линейной многоуровневой структуры ликвидирован патологический узел в виде двойного подчинения пенитенциарного врача. В результате созданы предпосылки для ликвидации явлений так называемой «двойной лояльности» и улучшения эффективности работы медицинской службы УИС. Вместе с тем, в существующей модели остается еще один патологический узел в виде двойного подчинения начальника МСЧ. В связи с этим требуется продолжить мониторинг эффективности проводимой реформы. Думается, что как

вариант решения данной проблемы следует рассмотреть схему межрангового управления медицинской службой УИС.

Для эффективного контроля проводимых реформ можно привлечь методики, апробированные при мониторинге эксперимента по реформированию медицинской службы УИС, проводимого в Санкт-Петербурге и Тверской области в 2011 г., основанные на использовании метода анализа иерархий. Будет весьма интересным рассмотреть в качестве рабочего инструмента и искусственные нейронные сети. Опыт подобного подхода, как следует из представленных в монографии материалов, у авторов имеется.

Кроме того, используемый авторами метод анализа иерархий может быть рекомендован для автоматизированной оценки качества работы медико-санитарных частей. При этом следует опираться на показатели медицинской, экономической и социальной эффективности функционирования системы здравоохранения.

В монографии также проведен анализ существующих электронных систем управления. Выделен ряд наиболее применимых ИС к системе управления внутренними процессами: *CRM*, *ERP*, *ЕСМ*. При анализе использованы системный и процессный подходы. Предложено в качестве средства формализации использовать язык *UML*. Проведен анализ существующих систем управления процессами исследуемого типа и выбран способ повышения эффективности внутренних систем управления – создание специфической информационно-аналитической системы повышения эффективности управления системой медицинского обеспечения в УИС.

## Список литературы

1. *Абдеев, Р. Ф.* Философия информационной цивилизации. – М. : ВЛАДОС, 1994. – 120 с.
2. *Абросимов, В. К.* Кибернетический подход к управлению информационными ресурсами организации // Бизнес-Информатика. – 2012. – № 1 (19). – С. 3–8.
3. Автоматизированная система мониторинга качества медицинской помощи в уголовно-исполнительной системе как инструмент социально-экономического управления / С. Б. Пономарев [и др.]. – Ижевск, изд-во ИжГТУ. 2009. – 92 с.
4. *Аккоф, Р.* О целеустремленных системах / Р. Аккоф, Ф. Эммери. – М. : ЛКИ, 2008. – 272 с.
5. Анализ существующих систем управления ресурсами предприятия / Г. А. Благодатский [и др.] // Актуальные проблемы социально-экономического развития современной России : материалы Всерос. науч.-практ. конф., дек. 2008 г. – Ижевск : КнигоГрад, 2009. – С. 28–31.
6. *Андрейчиков, А. В.* Системный анализ и синтез стратегических решений в инноватике. Основы стратегического инновационного менеджмента и маркетинга / А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – М. : Либроком, 2012. – 250 с.
7. *Баранов, В.* Двадцать один вопрос о корпоративных информационных системах // iTeam – Технологии корпоративного управления. – URL: [http://www.iteam.ru/publications/it/section\\_52/article\\_2210/](http://www.iteam.ru/publications/it/section_52/article_2210/) (дата обращения: 25.04.2012).
8. *Бас, А. А.* Разработка программно-инструментальных средств планирования ресурсов и управления в социально-экономических системах / А. А. Бас, Г. А. Благодатский, М. М. Горохов // Вестник ИжГТУ. – 2011. – № 3 (51). – С. 146–149.
9. *Благодатский, Г. А.* Информационная система оценки показателей деятельности вуза // Материалы IX студ. науч. конф. кафедры «ПМИ» ИжГТУ. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2007. – С. 43.
10. *Благодатский, Г. А.* Информационная система управления учебным процессом вуза / Г. А. Благодатский, А. Г. Кучеренко // Математические модели и информационные технологии в организации производства. – 2010. – № 1 (20). – С. 123–128.
11. *Благодатский, Г. А.* К вопросу проектирования информационной системы вуза // Г. А. Благодатский, М. М. Горохов, Д. И. Казанцев // Наука Молодая. – URL: [http://www.young-science.ru/images/stories/content/start/2010/03/22\\_Blagodatskij/article.doc](http://www.young-science.ru/images/stories/content/start/2010/03/22_Blagodatskij/article.doc) (дата обращения: 10.06.2011).

12. *Благодатский, Г. А.* К вопросу создания информационной системы вуза // Вестник ИжГТУ. – 2010. – № 4 (48). – С. 118–120.
13. *Благодатский, Г. А.* Разработка концепции информатизации подразделения организации бюджетной сферы / Г. А. Благодатский, М. М. Горохов, А. В. Щеняцкий // Математические модели и информационные технологии в организации производства. – 2011. – № 1 (22). – С. 141–145.
14. *Благодатский, Г. А.* Создание математической модели анализа структуры аккредитационных показателей вуза с применением метода анализа иерархий / Г. А. Благодатский, М. М. Горохов, Д. И. Казанцев // Вестник ИжГТУ. – 2010. – № 2 (46). – С. 115–118.
15. *Благодатский, Г. А.* Разработка программно-инструментальных средств для реализации конструктора систем класса CRM / Г. А. Благодатский, М. М. Горохов, А. А. Становских // В мире научных открытий. – 2013. – № 10.1 (46). – С. 20–33.
16. *Благодатский, Г. А.* Программно-инструментальные средства повышения эффективности внутренних бизнес-процессов предприятий / Г. А. Благодатский, М. М. Горохов, В. А. Тененев. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2015. – 188 с.
17. *Благодатский, Г. А.* Анализ системы организации и управления учебным процессом вуза / Г. А. Благодатский, М. М. Горохов, Д. И. Казанцев // Математические методы и интеллектуальные системы в экономике и образовании : материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Ижевск : Изд-во УдГУ, 2010. – С. 92–103.
18. *Благодатский, Г. А.* Аналитическое описание учебного процесса / Г. А. Благодатский, Д. И. Казанцев // Информационное и техническое обеспечение инновационных технологий : материалы Республ. науч.-метод. конф. – Сарапул : Изд-во СПИ, 2010. – С. 53–61.
19. *Благодатский, Г. А.* К вопросу управления вузом / Г. А. Благодатский, Д. И. Казанцев // Информатика и вычислительная техника : сб. тр. науч.-техн. конф. факультета. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2010. – С. 73–78.
20. *Благодатский, Г. А.* Состояние автоматизации систем управления вузом / Г. А. Благодатский, Д. И. Казанцев // Системный анализ в проектировании и управлении : сб. науч. тр. XIII Междунар. науч.-практ. конф. – Ч. 2. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – С. 365–366.
21. *Брукс, Ф.* Мифический человеко-месяц или как создаются программные системы. – М. : Символ-Плюс, 2010. – 304 с.
22. *Бутакова, М. М.* Экономическое прогнозирование: методы и приемы практических расчетов. – 2-е изд. – М. : КноРус, 2010. – 168 с.

23. Буч, Г. Введение в UML от создателей языка / Г. Буч, Дж. Рэмбо, И. Якобсон. – М. : ДМК Пресс, 2011. – 496.
24. Буч, Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование / пер. с англ. под ред. И. Романовского и Ф. Андреева. – 2-е изд. – Калифорния. – URL: <http://www.helloworld.ru/texts/comp/other/oop/index.htm> (дата обращения: 02.03.2012).
25. Ваганов, А. Процессно-ориентированный подход. – URL: <http://www.cfin.ru/press/zhuk/2006-11/10.shtml> (дата обращения: 15.11.2006).
26. Васильев, В. Н. Модели управления вузом на основе информационных технологий. – Петрозаводск : Изд-во Петрозаводск. гос. ун-та, 2000. – 164 с.
27. Галактика Управление вузом // Галактика. – URL: <http://vuz.galaktika.ru/> (дата обращения: 25.04.2012).
28. Гайсарян, С. С. Объектно-ориентированное проектирование. – URL: [http://www.mista.ru/oop\\_book/index.htm](http://www.mista.ru/oop_book/index.htm) (дата обращения: 01.06.2011).
29. ГОСТ Р 52653–2006. Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Термины и определения // Консорциум-Кодекс : электрон. фонд прав. и техн. документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-52653-2006> (дата обращения: 26.09.2017).
30. ГОСТ Р 52655–2006. Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Интегрированная автоматизированная система управления учреждением высшего профессионального образования. Общие требования // Консорциум-Кодекс : электрон. фонд прав. и техн. документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200052737> (дата обращения: 26.09.2017).
31. Гуляшинов, А. Н. Теория принятия решений в сложных социотехнических системах : учеб. пособие для студ. вузов направл. «Систем. анализ и упр.» и «Информатика и вычисл. техника» / А. Н. Гуляшинов, В. А. Тененев, Б. А. Якимович. – Изд-во ИжГТУ, 2005. – 280 с.
32. Двойная лояльность и права человека в медицинской практике: Предлагаемые принципы и институциональные механизмы / пер. с англ. – М. : Права человека, 2004. – 176 с.
33. Добров, Г. М. Экспертные оценки в научно-техническом прогнозировании. – Киев : Наук. Думка, 2006. – 310 с.
34. Друкер, П. Классические работы по менеджменту. – М. : Юнайтед-Пресс, 2010. – 224 с.
35. Информационная среда учебного подразделения, как фактор его конкурентоспособности / Г. А. Благодатский [и др.] // Современные проблемы экономики, бизнеса и менеджмента: теория и практика : материалы Междунар. онлайн-видеоконф. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2011. – С. 162–165.

36. Исследование критерия эффективности медицинского обслуживания для оптимизации сети медицинских частей учреждений территориального органа ФСИН России / В. А. Тененев [и др.] // Интеллектуальные системы в производстве. – 2007. – № 1. – С. 85–99.
37. *Кадыков, В. В.* Методологические вопросы принятия командиром решения / В. В. Кадыков, А. Н. Гуляшинов. – М. : ВА им. М. В. Фрунзе, 1974. – 110 с.
38. *Каменова, М. С.* Процессно-ориентированное внедрение ERP-систем / М. С. Каменова, А. И. Громов, А. В. Гуслистая // iTeam – Технологии корпоративного управления. – URL: [http://www.iteam.ru/publications/it/section\\_52/article\\_1410/](http://www.iteam.ru/publications/it/section_52/article_1410/) (дата обращения: 25.04.2012).
39. К вопросу о применении информационных систем для оптимизации тактики ведения больных в местах лишения свободы / С. Б. Пономарев [и др.] // Интеллектуальные системы в производстве. – 2007. – № 2 – С. 100–103.
40. К вопросу о выборе метода решения задачи оптимизации иерархической структуры / Е. А. Авдеев [и др.] // Научное творчество XXI века : сб. ст. V Междунар. науч.-практ. конф. – Т. 3. – Красноярск : Научно-инновационный центр, 2012. – С. 99–102.
41. *Киммел, П.* UML. Основы визуального проектирования. – М. : НТ «Пресс», 2008. – 272 с.
42. *Клир, Дж.* Системология. Автоматизация решения системных задач. – М. : Радио и связь, 1990. – 544 с.
43. *Козаловский, В.* Происхождение ERP // iTeam – Технологии корпоративного управления. – URL: [http://www.iteam.ru/publications/it/section\\_52/article\\_1646/](http://www.iteam.ru/publications/it/section_52/article_1646/) (дата обращения: 05.04.2012).
44. *Ларман, К.* Применение UML и шаблонов проектирования. – М. : Вильямс, 2004. – 624 с.
45. *Леоленков, А. В.* Объектно-ориентированный анализ и проектирование с использованием UML и IBM Rational Rose. – М. : Бином, 2006. – 320 с.
46. *Лэриби, Дэвид.* Введение в проблемно-ориентированное проектирование. – URL: <http://msdn.microsoft.com/ru-ru/magazine/dd419654.aspx> (дата обращения: 01.06.2011).
47. *Мамиконов, А. Г.* Управление и информация. – М. : Наука, 1975. – 110 с.
48. *Мацяшек, Л. А.* Анализ и проектирование информационных систем с помощью UML 2.0. – М. : Вильямс, 2008. – 816 с.
49. Методы повышения конкурентоспособного потенциала предприятия / Г. А. Благодатский [и др.] // Проблемы совершенствования механизма управления экономическими системами в современном ми-

ре : сб. ст. Междунар. науч. интернет-конф. – Казань : КФ МОСАП, 2009. – С. 885–903.

50. *Милов, А. В.* Экономическая кибернетика / А. В. Милов, В. Н. Тимохин, Г. А. Черноус. – Донецк : Донец. нац. ун-т, 2004. – 105 с.

51. Организация системного подхода для защиты данных информационной системы «Электронный факультет» / А. А. Бас [и др.] // В мире научных открытий. – 2011. – № 12 (24). – С. 72–82.

52. *Осовский, С.* Нейронные сети для обработки информации / пер. с польск. И. Д. Рудинского. – М. : Финансы и статистика, 2002. – 344 с.

53. Перспективы применения математической модели в оценке эффективности реформирования медицинской службы уголовно-исполнительной системы России / С. Б. Пономарев. – Вестник ИжГТУ. – 2012. – № 2 (54). – С. 140–142.

54. *Першина, Е. Л.* Интеллектуальные системы поддержки принятия решений: комплексы программ, модели, методы, приложения / Е. Л. Першина, О. А. Попова, С. Н. Чуканов. – Омск : СибАДИ, 2010. – 204 с.

55. *Пономарёв, М. И.* Анализ систем данных с неопределенностью / М. И. Пономарёв, В. А. Тененёв, Б. А. Якимович. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2014. – 287 с.

56. *Пономарев, С. Б.* Некоторые аспекты информатизации управления в медицинских учреждениях уголовно-исполнительной системы / С. Б. Пономарев, А. П. Приклонский // Ведомости уголовно-исполнительной системы. – 2016. – № 10 (173). – С. 26–28.

57. Правовое регулирование и организация медико-санитарного обеспечения осужденных / А. Р. Пустовалов [и др.]. – Вестник удмуртского университета. Экономика и право. – 2014. – № 3. – С. 168–172.

58. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования / Э. Гамма [и др.]. – СПб. : Питер, 2001. – 368 с.

59. Применение программного обеспечения с открытым кодом при обучении объектно-ориентированному проектированию информационных систем на примере StarUML / С. В. Смирнов [и др.] // Информационно-коммуникационные технологии в обучении 2010 : материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Ижевск : Изд-во ИПК и ПРО УР, 2010. – С. 72–77.

60. Программа автоматизации мониторинга заболеваемости в регионе «мониторинг Т». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014661812 от 13 ноября 2014 г. / Г. А. Благодатский. – Бюллетень «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем». – 2014. – № 12. – С. 1–4.

61. *Саати, Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий : пер. с англ. – М. : Радио и связь, 1989. – 316 с.
62. *Сафронов, Н. А.* Экономика предприятия. – М. : Юрист, 1998. – 584 с.
63. *Тейлор, Ф.* Принципы научного менеджмента. – М. : Знание, 1975. – 85 с.
64. *Телятников, Г. В.* Философские и социологические вопросы теории управления войсками. – Калинин : ВКА ПВО, 1972. – 110 с.
65. *Темников, Ф. Е.* Теоретические основы информационной техники / Ф. Е. Темников, В. А. Афонин, В. И. Дмитриев. – М. : Энергия, 1979. – 512 с.
66. *Тененев, В. А.* Генетические алгоритмы в моделировании систем / В. А. Тененев, Б. А. Якимович. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ. 2010. – 308 с.
67. *Тененев, В. А.* Моделирование организационно-технических систем методами нечеткой логики / В. А. Тененев, Б. А. Якимович // Интеллектуальные системы в производстве. – 2003. – № 1. – С. 80–99.
68. *Тененев, В. А.* Применение методов системологии при диагностике заболеваний / В. А. Тененев, Б. А. Якимович, Н. С. Стрелков // Вестник ИжГТУ. – 1999. – № 1. – С. 18–19.
69. *Терехов, В. А.* Цель и результат в процессе решения мыслительной задачи // Психологические исследования интеллектуальной деятельности / под ред. О. К. Тихомирова. – М. : МГУ, 1979. – С. 45–48.
70. *Туленков, А. М.* Взаимосвязь здравоохранения пенитенциарной системы и системы общественного здравоохранения / А. М. Туленков, С. В. Воробей // Проблемы правового регулирования деятельности уголовно-исполнительной системы : сб. материалов Всерос. конф. НИИ ФСИН России, октябрь 2014 г. – М., 2014. – С. 34–37.
71. *Туленков, А. М.* Противостояние интересов администрации пенитенциарных учреждений и медицинских работников. Этические аспекты / А. М. Туленков, С. В. Воробей // Проблемы правового регулирования деятельности уголовно-исполнительной системы : сб. материалов Всерос. конф. НИИ ФСИН России, октябрь 2014 г. – М., 2014. – С. 120–125.
72. *Туленков, А. М.* Основные принципы организации медико-санитарного обеспечения лиц, содержащихся в пенитенциарных учреждениях России и за рубежом : моногр. / А. М. Туленков, С. Б. Пономарев. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2014. – 120 с.
73. *Туленков, А. М.* Финансовое обеспечение объемов медицинской помощи по условиям ее предоставления в учреждениях федеральной службы исполнения наказаний / А. М. Туленков, С. Б. Пономарев, С. Н. Барышев // Вестник уральской медицинской академической науки. – 2013. – № 1 (43). – С. 17–18.

74. Туленков, А. М. Новая модель пенитенциарного здравоохранения / А. М. Туленков, С. Б. Пономарев, А. А. Половникова. – Преступление и наказание. – 2012. – № 6. – С. 6–8.

75. Уайт, О. У. Управление производством и материальными запасами в век ЭВМ. – М. : Прогресс, 1978. – 302 с.

76. Философский энциклопедический словарь / гл. ред.: Л. Ф. Ильичев, П. Н. Федосеев, С. М. Ковалев, В. Г. Панов. – М. : Сов. энциклопедия, 1983. – 561 с.

77. Чернышев, М. А. Основы менеджмента / М. А. Чернышев, Э. М. Коротков, И. Ю. Солдатова. – М. : Дашков и К ; Наука ; Интерпериодика МАИК ; Наука-Пресс, 2006. – 206 с.

78. Шеер, А. В. Бизнес-процессы : основные понятия, теории, методы. – М. : Просветитель, 1999. – 150 с.

79. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетике. – М. : Изд-во иностр. лит., 1963. – 830 с.

80. Якимович, Б. А. Методы анализа и моделирования систем / Б. А. Якимович, В. А. Тененев. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2001. – 152 с.

81. Advanced Planning and Scheduling Solutions in Process Industry / Edit. Hans-Otto Gantner, Paul van Beek. – Cambridge: Springer, 2003. – 426 p.

82. APICS dictionary / Edit. J. F. Cox, etc. Chicago : American Production and Inventory Control Society, 1992.

83. Blagodatskiy, G. A. The Corporate Information Systems Evolution // International Workshop “Innovation Information Technologies – Theory and Practice”. – Dresden: Forschungszentrum Dresden-Rossendorf, 2010. – P. 227–228.

84. Blagodatskiy, G. A. The Development of the Software Tools for Visual Designer of the CRM-Systems/ G. A. Blagodatskiy, M. M. Gorokhov // In the World of Scientific Discoveries. – Series B. – 2014. – V. 2. № 1. – P. 4–11.

85. Ford, Henry. My life and work. Sioux Falls: NuVision Publications, 2007. – 192 p.

86. Gantt, Henry L. A graphical daily balance in manufacture // Transactions of the American Society of Mechanical Engineers. – 1903. – Vol. XXIV. – P. 1322–1336.

87. Gantt, Henry L. Work, Wages, and Profits. – New York : Engineering Magazine Co., 1916. – 330 p.

88. Goldratt, Eliyahu M. Critical Chain. – Great Barrington: North River Press, 1997. – 246 p.

89. Goldratt, Eliyahu M. The Choice. Efrat Goldrat-Ashlag: Great Barrington : North River Press, 2010. – 240 p.

90. *Goldratt, Eliyahu M.* The Goal: A Process of Ongoing Improvement / Eliyahu M. Goldratt, Jef Cox. – Great Barrington: North River Press, 2004. – 384 p.
91. *Goldratt, Eliyahu M.* The Race / Eliyahu M. Goldratt, Robert E. Fox. – Aldershot: Gower Publishing Ltd., 1994. – 181 p.
92. Information Security Organization System Approach / A. A. Bas [et all] // The Proceedings of the 3-rd forum of young researches. – Izhevsk : IStu Publishing, 2012. – P. 235–241.
93. *Keller, Erik L.* Enterprise Resource Planning : The changing application model // SAP R/3 3.1. – Stamrord: Gartner Group, 1996.
94. *Kincaid, Judith W.* Customer Relationship Management : Getting It Right. – New York: HP Books and Prentice Hall PTR, 2002. – 512 p.
95. *Koch, Christopher.* ERP definition and solutions // Интернет-портал компании “CIO”. URL: [http://www.cio.com/article/40323/ERP\\_Definition\\_and\\_Solutions](http://www.cio.com/article/40323/ERP_Definition_and_Solutions) (дата обращения: 25.04.2012).
96. *Koch, Christopher.* The ABCs of ERP // iTeam – Технологии корпоративного управления. – URL: [http://paginas.fe.up.pt/~mgi00011/ERP/abcs\\_of\\_erp.htm](http://paginas.fe.up.pt/~mgi00011/ERP/abcs_of_erp.htm) (дата обращения: 25.04.2012).
97. *Korem, Yoram.* Computer Control of Manufacturing Systems. – New York : McGraw Hill Inc., 1983. – 304 p.
98. *Liker, Jeffrey.* The Toyota Way : 14 Management Principles From The World's Greatest Manufacturer. – New York: McGraw-Hill Inc., 2003. – 350 p.
99. *Oliver Wight.* Manufacturing Resource Planning: MRP II: Unlocking America's Productivity Potential Revised Edition. – New Jersey : Wiley, 1995. – 488 p.
100. *Orlicky, J.* Material Requirements Planning : The New Way of Life in Production and Inventory Management. – New York : McGraw-Hill Inc., 1975. – 292 p.
101. *Rehg, James A.* Computer-Integrated Manufacturing / James A. Rehg, Henry W. Kraebber. – New Jersey: Prentice Hall, 2004. – 592 p.
102. *Rehg, James A.* Introduction to Robotics in CIM Systems / James A. Rehg. – New Jersey: Prentice Hall, 2008. – 510 p.
103. *Tenenev, V. A.* Practice of genetic Algorithms. Universitas / V. A. Tenenev, B. A. Yakimovich. – GYOR Nonprofit Kft., 2012. – P. 279.
104. Some aspects of informatization management in large systems (on the example of health service department) / G. A. Blagodatsky [et all] // Последние тенденции в области науки и технологий управления / Г. А. Благодатский [и др.]. – 2014. – Т. 5. – С. 116–125.
105. *Waldner, J.* CIM : Principles of Computer Integrated Manufacturing. Indianapolis: J. Willey & Sons, 1992. – 206 p.

*Научное издание*

**Благодатский** Григорий Александрович  
**Горохов** Максим Михайлович  
**Пономарёв** Сергей Борисович

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ  
МЕДИЦИНСКОЙ СЛУЖБЫ УГОЛОВНО-ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ  
СИСТЕМЫ И УПРАВЛЕНИЕ ЕЕ РЕФОРМИРОВАНИЕМ

*Монография*

Редактор *Н. К. Швиндт*  
Технический редактор *С. В. Звягинцова*  
Верстка *С. В. Петуховой*  
Дизайн обложки *Е. А. Рябичевой*

Подписано в печать 11.10.2017. Формат 60×84/16. Бумага офсетная  
Усл. печ. л. 6,04. Заказ № 322. Тираж 300 экз. (1-й з-д 1–100)

Издательство Ижевского государственного технического университета  
имени М. Т. Калашникова  
Отпечатано в типографии Издательства ИжГТУ. 426069, Ижевск, Студенческая, 7