

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**

На правах рукописи



Гилёв Денис Викторович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ОКАЗАНИЕМ
УСЛУГ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМИТЕТНОГО И ДИСКРИМИНАНТНОГО
АНАЛИЗА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ**

Специальность 05.13.10 – Управление в социальных и
экономических системах

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор,
Логиновский Олег Витальевич

Челябинск - 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ НА ПРАКТИКЕ ТЕХНОЛОГИЙ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ АКТУАЛЬНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ОКАЗАНИЕМ МЕДИЦИНСКИХ УСЛУГ	16
1.1. Анализ существующих подходов и методов управления оказанием медицинских услуг	16
1.2. Значение диагностики заболеваний в процессе управления оказанием медицинских услуг и повышения их качества	22
1.3. Необходимость повышения эффективности существующих подходов к диагностике заболеваний как составной части методов управления оказанием медицинских услуг	33
1.4. Возможность использования математических методов для повышения качества диагностики	41
1.5. Выводы по главе 1	47
ГЛАВА 2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ КОМИТЕТНОГО И ДИСКРИМИНАНТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ КАК ОСНОВНОГО СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОКАЗАНИЯ МЕДИЦИНСКИХ УСЛУГ	49
2.1. Моделирование в социально-экономической сфере как основа методов диагностики	49
2.2. Математические модели и методы распознавания в составе инструментов диагностики	57
2.3. О сократимости числа членов комитета системы линейных неравенств с целью сокращению количества факторов, необходимых для диагностики заболеваний	66
2.4. Комитетные конструкции для систем нелинейных неравенств и для бесконечных систем линейных неравенств	83

2.5. Выводы по главе 2	90
ГЛАВА 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ МЕТОДОВ КОМИТЕТНОГО И ДИСКРИМИНАНТНОГО АНАЛИЗА В ДИАГНОСТИКЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ.....	
3.1. Использование комитетного решения и циклическая динамика противоречивой задачи выбора стратегии решения и диагностики	92
3.2 Метод поиска скрытых причин наблюдений.....	99
3.3 Совершенствование алгоритма управления диагностикой заболеваний за счет использования комитетных и дискриминантных методов для диагностики заболеваний.....	102
3.4 Выводы по главе 3.....	109
ГЛАВА 4. ВНЕДРЕНИЕ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ И РАЗРАБОТОК ДИССЕРТАЦИИ В ПРАКТИКУ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ	
4.1. Необходимость и особенности внедрения комитетных и дискриминантных методов для диагностики заболеваний	111
4.2. Сравнительные характеристики применения комитетных методов и методов машинного обучения на примере медицинской диагностики	118
4.3. Выводы по главе 4	130
ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ	131
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	134
ПРИЛОЖЕНИЕ – Заключение о практическом применении.....	157

ВВЕДЕНИЕ. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В диссертационной работе изложены результаты исследований совершенствования методов управления оказанием услуг медицинских учреждений на основе использования комитетного и дискриминантного анализа для диагностики заболеваний. Исследованы теоретические аспекты метода комитетов, в частности, возможность сокращения комитета системы включений над плоскостью R^2 и R^n . Применение указанного метода позволило повысить качество медицинской диагностики и улучшить эффективность управления процессом оказания медицинских услуг.

Актуальность темы. В вопросах управления в социальных и экономических системах медицинская проблематика приобретает все большую значимость, а процессы диагностики заболеваний становятся наиважнейшей задачей самых различных учреждений здравоохранения. Неверная диагностика заболеваний приводит не только к тому, что лечение больного становится неэффективным, а иногда даже и вредоносным, но и ведет к значительному увеличению затрат, связанных с дорогостоящими процедурами проведения дальнейших анализов и лечения больного.

В подтверждении выше сказанного можно привести статистику, а именно, уровень общей заболеваемости, на 1000 жителей соответствующего возраста, имеет тенденцию к росту на протяжении последних лет. Рост показателей заболеваемости наблюдается практически по всем классам болезней [124]. В среднем по России первичная заболеваемость (по обращаемости за медицинской помощью) населения всеми болезнями в 2018-2019 гг. повысилась по сравнению с 2000 годом в 1,5 раза. По последним из опубликованных Росстатом данным, зарегистрировано более 240 миллионов случаев заболеваний. Это на 1,1% больше, чем в 2017 году, и на 4,8% больше, чем в 2010 году [37]. По сравнению с 2000 годом (191,3 миллиона случаев) общее число

зарегистрированных случаев заболеваний увеличилось на 24%, а по сравнению с 1990 годом (158,3) - на 50%.

При этом важно отметить, что диагностические ошибки составляют 34% от общего числа медицинских ошибок, которые наносят серьезный вред; 64% таких ошибок приводят к смерти или пожизненной нетрудоспособности пациентов. На их долю приходится 28% всех выплат по искам, связанным с врачебной халатностью. Выяснилось, что на «большую тройку» — сердечно-сосудистые заболевания, инфекции и рак — приходится 74,1% диагностических ошибок, которые привели к необратимым серьезным нарушениям [173, 178, 190].

В связи с отсутствием детализации статистических данных в базах трудно оценить общие экономические потери от неправильной диагностики, но учитывая ее большой процент и высокую стоимость различных инструментальных и лабораторных методов (которые назначают по ошибке), лекарственных препаратов, можно в целом представить ситуацию и понять, что речь идет о миллионах долларов в год [31].

В связи с этим совершенствование методов управления оказанием медицинских услуг является остроактуальной задачей, от которой зависит эффективность деятельности отдельных медицинских учреждений и всей системы здравоохранения в целом.

Безусловно, в медицину вкладываются миллиарды средств, в том числе и в Российской Федерации, для реализации указов Президента, один из последних которых направлен на повышение продолжительности жизни россиян [1]. Для этого разрабатываются не только новые лекарственные препараты, лабораторно-клинические аппараты, но и новые методы и механизмы улучшения качества оказания медицинских услуг. Также прорабатываются стратегии продуктивного управления медицинскими организациями, а также изучаются оценки эффективности этого управления [18, 74]. При этом стоит отметить, что эффективность здесь

оценивается в первую очередь, не столько с экономической точки зрения, а больше с позиции качества предоставленных услуг.

Для достижения целей по улучшению качества оказания медицинской услуг, а, значит, и для повышения эффективности управления медицинской организацией, необходимо использовать подход, учитывающий полный спектр задач. Одной из важнейшей составляющей этого подхода является задача корректной всесторонней и своевременной диагностики.

Современным проблемам качества медицинской помощи и эффективности управления медицинскими организациями посвящены работы таких зарубежных и отечественных исследователей как Горбунов С.Н. [4], Амалицкая С.М. [5], Смирнова О.А. [6], Максимовский М.Ю. [7], Бондаренко Н.Н. [13], Боярский А.П., Чернова Т.В., Якимович Н.П. [14], Вялков А.И. [20], Галкин Р.А. [23], Шмыгалева П.В. [113], Садовникова Ю.Ю., Тимейчук Л.Н., Уварова Г.Г. [121], Эралиева Г.А. [143], Donabedian A. [148, 149, 150], Steiner T.J, Birbeck G.L., Jensen R [189], Vuoru [191].

Многие исследователи, такие как Ибрагимли Х.И. [43, 44], Калиниченко В.И. [47], Каплан Р.С., Нортон Д.П. [49], Нечаева О.Б. [105], Donabedian A. [150], Steiner T.J, Birbeck G.L., Jensen R [189] используют при оценке качества медицинской помощи (причем ставят ее во главе угла) эффективную диагностику.

Анализ используемых на практике технологий диагностики заболеваний показывает необходимость повышения эффективности существующих методов, и в качестве решения этой задачи указывает на возможность использования математических методов. Работы таких исследователей как Donabedian A. [150], Быховский М.Л. [15], Дзизинский А.А. [32], Колчин Р.В., Тещук В.И. [57], Мигущенко Р.П. [104], Wayne [194] подтверждают этот тезис. Более того, в качестве таковых в первую очередь могут выступить методы комитетов и дискриминантного анализа.

Исследование метода комитетов является актуальным и находит применение в современной математике, он эффективно используется в практических задачах, в том числе в задачах классификации первичных головных болей, которые имеют широкую распространенность во всем мире. Именно эти заболевания, как правило, очень сложно диагностируются и поэтому выбраны среди других заболеваний как пример использования комитетного и дискриминантного анализа для повышения эффективности диагностики заболеваний. Среди них преобладают первичные головные боли, к которым относятся головные боли напряжения и мигрень. Их распространенность достигает 80% в общей популяции. Головные боли являются частой жалобой у людей любого возраста и ограничивают повседневную активность, снижают работоспособность и качество жизни. Это также отражается и на обучении, что особенно актуально для студентов. Эпидемиологические исследования [154] первичных головных болей показали высокую их распространенность. Распространенность мигреней в различных странах варьируется от 11% до 40% и головных болей напряжения от 5,6 до 40,8%. Учитывая высокую распространенность головных болей среди взрослого населения, частую встречаемость хронических форм головных болей, необходимо изучение встречаемости головных болей у молодых людей, в частности у студентов, для разработки профилактических программ по снижению бремени головных болей.

Методу комитетов посвящены работы таких авторов как Мазуров В.Д. [79, 80, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 179, 180], Хачай М.Ю. [85, 86, 87, 88, 135], Кривоногов А.И. [68], Кобылкин К.С. [52, 53, 54], Рыбин А.И. [85], Белецкий Н.Г. [11], Агарагимов М.М. [3], Кончевский Д.И. [60], Кувшинов Б.М. [45, 66], Никонов О.И. [106, 107], Liu Y [175], Neirotti J. [182], Saad D [186].

Практическим применением теоретических разработок связанных с методом комитетов, представленных в данной работе, является

классификация головных болей напряжения и мигреней. Особую сложность представляют трудности различения видов головных болей. Согласно проведенным исследованиям [154, 189], в 80% случаев диагнозы по головным болям были поставлены неверно, так что задача их диагностики является актуальной и важной, ведь методы лечения такого рода заболеваний совершенно разные. Более того сейчас по международным стандартам в медицине признаются только те исследования, которые имеют доказательность именно с точки зрения математики.

Для классификации головных болей использовался метод комитетов для решения задачи дискриминантного анализа. Метод комитетов был разработан Вл.Д. Мазуровым и его учениками, В.С. Казанцевым, А.И. Кривоноговым, М.Ю. Хачаем, К.С. Кобылкиным и др. Ими были поставлены задачи существования комитета, исследования его свойств, рассмотрены такие вопросы, как минимальный комитет и его построение, созданы несколько версий пакета КВАЗАР [114, 115]. Однако имеются еще некоторые теоретические аспекты метода комитетов, которые требуют проработки, например, вопрос о сократимости членов комитета, который и представлен в данной работе в качестве теоретической части. Также, как было сказано выше, имеющиеся технологии диагностики не являются достаточными, поэтому практическая часть диссертационной работы посвящена использованию метода комитетов для диагностики заболеваний, в нашем случае – первичных головных болей. В связи с этим предложенная тема исследования является важной и актуальной, решение которой требует разработки новых эффективных механизмов, инструментов и технологий.

Целью диссертационной работы является разработка методов комитетного и дискриминантного анализа для их использования в диагностировании заболевания для обеспечения совершенствования методов управления оказанием услуг медицинских учреждений.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие **задачи:**

- произвести анализ существующих методов управления оказанием медицинских услуг в учреждениях здравоохранения;
- обосновать роль диагностики заболеваний как одного из важнейших элементов процесса оказания медицинских услуг, который главным образом влияет на их эффективность, а соответственно и на эффективность деятельности медицинских учреждений в целом;
- проанализировать основные методы диагностики заболеваний, используемые на данный момент в медицинских учреждениях, выделить их достоинства и недостатки;
- рассмотреть основные математические методы диагностики заболеваний, оценить возможность применения комитетных и дискриминантных методов;
- в рамках использования комитетных методов предложить способ снижения размерности задачи, способствующей сокращению количества факторов, необходимых для диагностики заболеваний;
- разработать методические положения по использованию усовершенствованного в диссертационной работе метода комитетов и дискриминантного анализа для решения задачи диагностики первичных головных болей;
- использовать в практике работы медицинских учреждений предложенные в диссертационной работе методы комитетного и дискриминантного анализа для улучшения диагностики заболеваний и повышения эффективности оказания медицинских услуг.

Объектом исследования является процесс управления оказанием медицинских услуг в учреждениях здравоохранения.

Предметом исследования выступают методы диагностики заболеваний, которые главным образом влияют на эффективность работы медицинских учреждений.

Методы исследования базируются на методах теории управления в социальных и экономических системах, дискриминантного анализа, решения систем линейных уравнений, в том числе несовместных, комитетных методов, методов математического программирования, а также теории искусственного интеллекта.

Тематика работы. Содержание диссертации соответствует следующим пунктам области исследования Паспорта специальности ВАК РФ 05.13.10 «Управление в социальных и экономических системах»:

п.1. Разработка теоретических основ и методов теории управления и принятия решений в социальных и экономических системах.

п.2. Разработка методов формализации и постановка задач управления в социальных и экономических системах.

п.4. Разработка методов и алгоритмов решения задач управления и принятия решений в социальных и экономических системах.

п.5. Разработка специального математического и программного обеспечения систем управления и механизмов принятия решений в социальных и экономических системах.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- 1) выполнен анализ актуальных методов и механизмов управления оказанием медицинских услуг, используемых на практике в различных медицинских учреждениях;
- 2) обоснован взгляд на роль диагностики заболеваний как одного из важнейших компонентов процесса управления оказанием медицинских услуг;
- 3) разработан качественно новый метод на основе комитетного анализа, позволяющий уменьшить количество факторов, необходимых для диагностики заболеваний, и в этой связи способствующий совершенствованию методов управления оказанием медицинских услуг;

- 4) разработаны методические положения по развитию механизмов управления оказанием медицинских услуг за счет внедрения системы подготовки принятия решения, реализованного за счёт методов комитетного и дискриминантного анализа в диагностику заболеваний;
- 5) показано использование усовершенствованного в диссертационной работе метода комитетов и дискриминантного анализа для решения задачи диагностики первичных головных болей.

Практическая значимость диссертационного исследования состоит в том, что автором предложены и реализованы на практике методы управления оказанием услуг медицинских учреждений за счет внедрения комитетного и дискриминантного анализа для диагностики заболеваний, предложена методика по совершенствованию методов диагностики заболеваний, и, как следствие, по развитию методов управления оказанием медицинских услуг, а также представлены рекомендации по использованию усовершенствованных методов для классификации первичных головных болей.

Разработанные в диссертационной работе основные научные положения и рекомендации практического характера могут, по мнению автора диссертации, найти применение не только для диагностирования головных болей, но и других социально-значимых заболеваний; более того, использование указанных методов возможно не только в управлении оказанием медицинских услуг и в целом в здравоохранении, но и в управлении в иных социальных и экономических системах.

Реализация и внедрение результатов работы

Научные положения и разработки диссертационного исследования предложены для использования ряду медицинских учреждений Челябинской области.

Апробация работы. Научные положения и разработки автора, а также основные результаты диссертационного исследования

докладывались и обсуждались на следующих научно-технических и практических конференциях и семинарах:

Семинар отдела математического программирования Института математики и механики им. Н. Н. Красовского УрО РАН (Екатеринбург, УрО РАН, 2018);

Третья ежегодная научная конференция консорциума журналов экономического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва, МГУ, 2019);

I Всероссийская научно-практическая конференция "Перспективы развития экономики здоровья (Уфа, БашГУ, 2019);

Семинар лаборатории международной и региональной экономики института управления и экономики УрФУ "Моделирование сбалансированного технологического и социально-экономического развития в России и мире" (Екатеринбург, УрФУ, 2020);

Семинары кафедры «Информационно-аналитическое обеспечение управления в социальных и экономических системах» ЮУрГУ (Челябинск, 2018, 2019, 2020 гг.).

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 26 работ, в том числе 6 статей – в изданиях из Перечня ВАК, 14 статей – в изданиях, индексируемых в международных базах Scopus/Web of Science, 6 статей в прочих изданиях.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты анализа методов и механизмов управления оказанием медицинских услуг, используемых на практике в различных медицинских учреждениях.

2. Обоснование роли диагностики заболеваний как одного из важнейших компонентов процесса управления оказанием медицинских услуг.

3. Метод на основе комитетного анализа, способствующий сокращению количества факторов, необходимых для диагностики

заболеваний, который способствует совершенствованию методов управления оказанием медицинских услуг.

4. Методические положения по развитию методов управления оказанием медицинских услуг за счет внедрения методов комитетного и дискриминантного анализа в диагностику заболеваний.

5. Результаты внедрения, разработанных в диссертации подходов и методов управления оказанием медицинских услуг на практической задаче диагностирования первичных головных болей.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав и заключения содержащего основные выводы и результаты, а списка литературы из 194 наименований; содержит 133 страниц основного текста, 10 рисунков, 3 таблицы.

Во введении приводится обоснование актуальности темы исследования, изложены цели и задачи работы, указаны результаты, полученные в диссертации, определены практическая ценность и области применения результатов, приведены сведения по апробации работы и представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертационной работы приводится анализ существующих методов управления оказанием медицинских услуг в учреждениях здравоохранения, обосновывается роль диагностики заболеваний как одного из важнейших элементов процесса оказания медицинских услуг. Осуществляется анализ используемых на практике технологий, подходов и методов диагностики заболеваний, выделяются их недостатки и достоинства, указывается значимость своевременно поставленного диагноза в критериях оценки качества предоставляемых медицинских услуг. Также вводится обоснование необходимости совершенствования существующих методов диагностики за счет математических методов. В главе рассматриваются основные математические методы и модели, которые позволяют дополнить пул

имеющихся методов диагностики, среди которых основными являются дискриминантный и комитетный анализ.

Во второй главе диссертационной работы в рамках использования комитетных методов сначала задача диагностики заболеваний представляется в виде задачи дискриминантного анализа, которая в свою очередь при необременительных условиях сводится к системе линейных неравенств. При этом указывается, что полученная система может оказаться несовместной. В этом случае применяется метод комитетов. Показано, что качество комитета улучшается при уменьшении числа его членов. В главе рассматривается метод снижения размерности задачи, способствующий сокращению количества факторов, необходимых для диагностики заболеваний. Математически метод рассматривает сокращение числа членов комитета, а именно первично обсуждается частный случай линейной системы неравенств, на основании которого строится теория сократимости комитета. Приводится несколько примеров комитетов в пространстве \mathbb{R}^2 , затем обобщается теория на пространство \mathbb{R}^n .

Делается замечание относительно связи между минимальным комитетом и несократимым. Приводится алгоритм нахождения минимального комитета, основанный на методе фундаментального свертывания системы линейных неравенств.

В третьей главе диссертационной работы приводятся методические положения и рекомендации по применению методов комитетного и дискриминантного анализа в диагностике заболеваний как одного из элементов методов управления оказанием медицинских услуг учреждениями здравоохранения. В главе рассматривается возможность использования циклической динамики противоречивой задачи выбора стратегии решения и диагностики, а также описывается реализация метода поиска скрытых причин наблюдений. Главным результатом, полученным в главе 3, является алгоритм управления диагностикой заболеваний,

включающий в себя качественно новые блоки, основанные на методах комитетного и дискриминантного анализа, разработанных автором диссертации.

В четвертой главе диссертационной работы описывается внедрение предложенных моделей и алгоритмов на конкретной медицинской задаче, связанной с классификацией первичных головных болей. Приводится сравнительный анализ предложенных комитетных методов и методов машинного анализа, делаются соответствующие выводы.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ НА ПРАКТИКЕ ТЕХНОЛОГИЙ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ АКТУАЛЬНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ОКАЗАНИЕМ МЕДИЦИНСКИХ УСЛУГ

1.1. Анализ существующих подходов и методов управления оказанием медицинских услуг

Вопросы управления в социальных и экономических системах становятся все более актуальными в современный период, который характеризуется усилением политической, социальной и экономической нестабильности, а также развитием разного рода эпидемий и пандемий в мире. Исследованию различных аспектов управления в социальных и экономических системах, в том числе учреждениях здравоохранения, посвящено множество научных публикаций как отечественных [2, 40, 51, 73, 74, 75, 76, 77, 78], так и зарубежных авторов [128, 129, 159, 160, 187].

Одной из последних научных монографий в области эффективного управления является «Эффективное управление организационными и производственными структурами» под редакцией заслуженного деятеля науки РФ, профессора О. В. Логиновского [77]. В ней рассмотрены вопросы совершенствования управленческих подходов в органах государственной власти, промышленных предприятиях и корпорациях.

Теория управления оказанием медицинских услуг основана на общих принципах управления, которые полезно рассмотреть с медицинской точки зрения. Некоторые из развитых в указанной выше монографии современных подходов можно применить и в области здравоохранения, хотя и стоит отметить, что данная область является несколько специфичной, поскольку она связана напрямую с наивысшей степенью важности – человеческой жизнью. В то же время процессы оказания медицинских услуг реализуются в условиях экономических кризисов,

недостаточного финансирования, ухудшения уровня жизни населения регионов Российской Федерации, что требует совершенствования существующих и разработки новых методов процессного управления оказанием медицинских услуг учреждениями отечественного здравоохранения, позволяющих осуществлять управление в условиях неопределенности и недостаточной обеспеченности ресурсами, а также эффективно решать задачи снижения рисков, в том числе связанных с негативным влиянием человеческого фактора.

Среди категорий процессов оказания медицинской помощи в учреждениях здравоохранения главным образом выделяют шесть основных.

В первую очередь, когда пациент обращается за медицинской помощью происходит его клиническое обследование. Оно заключается в сборе анамнеза, который может проводиться посредством опроса больного, так и его общего осмотра (пальпация; перкуссия; аускультация), а также, если необходимо, в направлении на специальный осмотр узконаправленному специалисту.

Затем, вторым порядком, идет процесс диагностирования заболевания, исходя, в том числе из данных опроса и осмотра, а также клинических, лабораторных, параклинических и иных обследований.

В качестве третьего процесса отдельно выделяют непосредственно постановку диагноза. Особо стоит отметить, что этот процесс отличается от второго тем, что диагностирование – это именно обследования, то есть, грубо говоря, получение данных при помощи каких-либо механизмов (анализы крови, ультразвуковое исследование, магнитно-резонансная томография и другие). А третий процесс характеризуется именно постановкой диагноза по совокупности данных (анатомических,

этиологических, патогенетических, симптоматических и социальных факторов), собранных на первых двух этапах.

Четвертый процесс является факультативным и присутствует при обнаружении непонятной этиологии заболеваний либо иных нестандартных ситуациях. Заключается он в проверке диагноза, в его уточнении посредством дополнительных обследований, в том числе дорогостоящих, высокотехнологичных.

Пятый процесс – это подбор лекарственных средств и дозировок в соответствии со стандартами лечения; а также назначение спектра лечебно-профилактических мероприятий, начиная от физиотерапии, заканчивая высокотехнологичными хирургическими операциями; и, в конечном счете, выписывание рекомендаций.

Шестой процесс заключается в ведение фиксирующей документации - амбулаторной карты; листка временной нетрудоспособности; выписка рецептов.

Во всех шести описанных процессах особо важным является процесс постановки диагноза. Если он выполнен с ошибками, неточностями, в результате которых установлен неверный диагноз, то последующие процессы будут скорее всего не только неэффективными и бесполезными, но и вредоносными для пациентов и всей медицинской организации. Действительно, неверно поставленный диагноз, как правило, влечет за себя неадекватное лечение, назначение неверных лекарственных средств и лечебно-профилактических мероприятий, что может привести к значительному ухудшению состояния больного и даже к его смерти с одной стороны, а также к увеличению стоимости лечения и иных затрат.

Безусловно, нельзя оставлять без внимания и все остальные процессы, первые два важны и неразрывно связаны с корректной постановкой диагноза, но тем не менее, даже если они выполнены на

высшем уровне, в большинстве случаев возможны ошибки в постановке диагноза. Это происходит по разным причинам, основными из которых можно выделить:

- плохое соби́рание анамнеза (хотя это относится к первому процессу), недостаточное осмысливание его и использование в диагнозе (это уже непосредственно третий процесс);
- недостоверность объективного обследования больного (это касается второго процесса) и неправильная интерпретация его результатов (и вновь относится к третьему процессу);
- недостаточность лабораторного и инструментального исследования, неправильное использование результатов этого исследования (также превалирует в третьем процессе);
- недостаточность методов диагностирования в общем (также является недостатком третьего процесса);
- неполноценное обобщение данных обследования больного, а также неумелое их использование применительно к особенностям течения болезни;
- длительное бессимптомное течение болезни;
- тяжелое состояние больного, затрудняющее его обследование;
- редкость заболевания или атипичное его течение.

Также, несмотря на рассмотренные процессы, необходимо учитывать и иные медицинские ошибки. К таковым относятся:

- лечебно-технические (недостаточное для постановки правильного диагноза обследование пациента);
- диагностические (неправильный диагноз);

- организационные (плохо организованы рабочее место и процесс лечения);
- лечебно-тактические (неверный выбор средств и методов лечения заболевания);
- ошибки в поведении;
- неправильное ведение документации.

При этом, если обратиться к статистике, то диагностические ошибки составляют наибольшую долю среди всех медицинских ошибок, а именно 34% от общего числа медицинских ошибок, которые наносят серьезный вред. Немаловажен и тот факт, что 64% таких ошибок приводят к смерти или пожизненной нетрудоспособности пациентов. На их долю приходится 28% всех выплат по искам, связанным с врачебной халатностью. Более того, если рассмотреть главенствующие заболевания, от которых страдает большинство населения планеты, а именно, сердечно-сосудистые заболевания, инфекции и рак, то на них приходится 74,1% диагностических ошибок, которые привели к необратимым серьезным нарушениям [173, 178, 190].

Таким образом, в процессе оказания особое внимание необходимо уделять именно постановке диагноза, а для этого необходимо чтобы все процессы управления оказанием медицинскими услугами были хорошо отлажены. В целом управление оказанием медицинской помощи является центральным ядром функционирования любой организации здравоохранения. Как объект управления процесс оказания медицинской помощи является динамично развивающейся системой, все элементы которой взаимосвязаны и взаимозависимы. Они требуют четкого и целенаправленного взаимодействия администрации и персонала каждого отделения.

Для достижения эффективности управления оказанием медицинских услуг, некоторые авторы [12] предлагают использовать процессный подход.

Эффективное управление на любом уровне невозможно без тщательной проработки этой проблемы. Составные части совершенствования управления:

- формирование современной методологии управленческих процессов;
- рациональное построение информационного обеспечения управления,
- применение передовых технологий информатизации.

Системный подход к управлению в современном здравоохранении предполагает сочетание и единство рыночных, административных, технологических методов, направленных на достижение цели здравоохранения: оказание доступной, квалифицированной и бесплатной медицинской помощи населению.

Еще один подход, применяемый для управления оказанием медицинской помощи – принцип декомпозиции. Сущность этого метода состоит в том, что каждый процесс может быть разбит на некоторое количество подпроцессов, выполнение которых приводит к получению на выходе определенного продукта или услуги с заданными параметрами (свойствами), определяемыми соответствующими регламентами. Такой метод как раз можно применить к процессу постановки диагноза, что позволит конкретизировать и локализовать цели и задачи, определить владельцев процедур и т.д.

В результате применения современных методов управления получают оптимальное соотношение таких показателей, как объем, качество, себестоимость и эффективность оказания медицинской помощи.

Как было сказано выше, описанный в данном пункте процесс оказания медицинских услуг не всегда производителен и эффективен, поскольку в ходе его реализации может быть совершено значительное количество медицинских ошибок, которые негативно влияют как на качество медицинской услуги, так и на работу медицинского учреждения в целом. Таким образом, возникает необходимость совершенствования подходов и методов управления оказанием услуг, оказываемых медицинскими учреждениями. При этом было отмечено, что большая часть ошибок приходится именно на процесс постановки диагноза заболеваний, в связи с этим, необходимо предварительно указать значение диагностики в повышении качества услуг, а также особое внимание обратить на существующие методы диагностики и на возможность их совершенствования и разработки новых.

1.2. Значение диагностики заболеваний в процессе управления оказанием медицинских услуг и повышения их качества

Затруднения в сфере здравоохранения, относящиеся к ее эффективности и качеству — это остроактуальная проблема современного социума. Качество медицинской помощи и медицинской услуги являются двумя разными тезисами. При этом оба этих тезиса являются неразрывным элементом управления оказанием медицинской помощи и представляют собой неоднородное явление, подразумевающее под собой большое число различных критериев. Какого-либо конкретного мнения, касающегося содержания этих определений, у исследователей по всему миру нет и поныне, поэтому у разных авторов их трактовки отличаются. Диагностика имеет превалирующее значение в процессе управления оказанием медицинских услуг. Более того, диагностика играет немалую роль при оценке качества медицинской услуги и помощи.

Так, А. Donabedian [148, 149, 150] полагает следующее: качество помощи — это применение с целью извлечения максимальной пользы последних достижений науки и различных практик в сфере здравоохранения. При этом не должен расти шанс риска здоровью от применяемого лечения. В свою очередь А.В. Короткова, Г.И. Галанова, и Ю.М. Комаров [59] идентифицируют качество медицинской помощи как характеристики, которые подтверждают ее соразмерность потребностям пациента, его ожиданиям, современному уровню науки и техники.

Медицинская помощь признается качественной, если она:

- 1) полностью соответствует современным технологическим стандартам;
- 2) пациент удовлетворен ее качеством;
- 3) не повлекла за собой осложнений в процессе лечения.

Вышеперечисленные условия отмечены европейским региональным бюро всемирной организацией здравоохранения.

Эксперты всемирной организации здравоохранения полагают, что конечной целью медицины является предоставление больному помощи максимально достижимого уровня. Ее результаты должны быть пропорциональны максимально возможному уровню современной науки, учитывая при этом все индивидуальные факторы пациента. На аналогичном уровне должно быть и взаимодействие больного с системой здравоохранения. Чтобы достичь результата должны быть привлечены минимальные средства. Риск проявления неблагоприятных последствий для больного должен сводиться к минимуму. Существенно важно и получение пациентом максимального удовлетворения от процесса оказания помощи. Всемирная организация здравоохранения, основываясь на вышеперечисленных представлениях, в конечном итоге пришла к такой формулировке: качество оказанной помощи — это содержание взаимодействия врача и пациента, основанное на квалификации персонала. Говоря иными словами, это: способность снизить риск прогрессирования

заболевания и предотвращение создания нового патологического процесса; оптимизация использования ресурсов; обеспечение удовлетворенности пациента от взаимодействия с системой охраны здоровья. Основываясь на ISO 8402, качество — это параметры и свойства продукции и услуг, определяющих их способность соответствовать предполагаемым и установленным требованиям. Под этим же термином в Глоссарии подразумеваются параметры, подтверждающие соответствие потребностям пациента (населения) оказанной помощи, а также соответствие современному уровню науки. Согласно заключению Ю.М. Комарова [58], из данного определения делается вывод: качество ориентировано на пациента и его удовлетворение. Оно должно иметь в базисе современные достижения в сфере медицины. Исследователи до сей поры не могут прийти к единому мнению и какому-либо точному определению характеристик качественной помощи, хотя определенные наработки в данном направлении имеются.

На рисунке 1 показаны факторы качественной медицинской помощи, которые отмечает А. Donabedian [150].

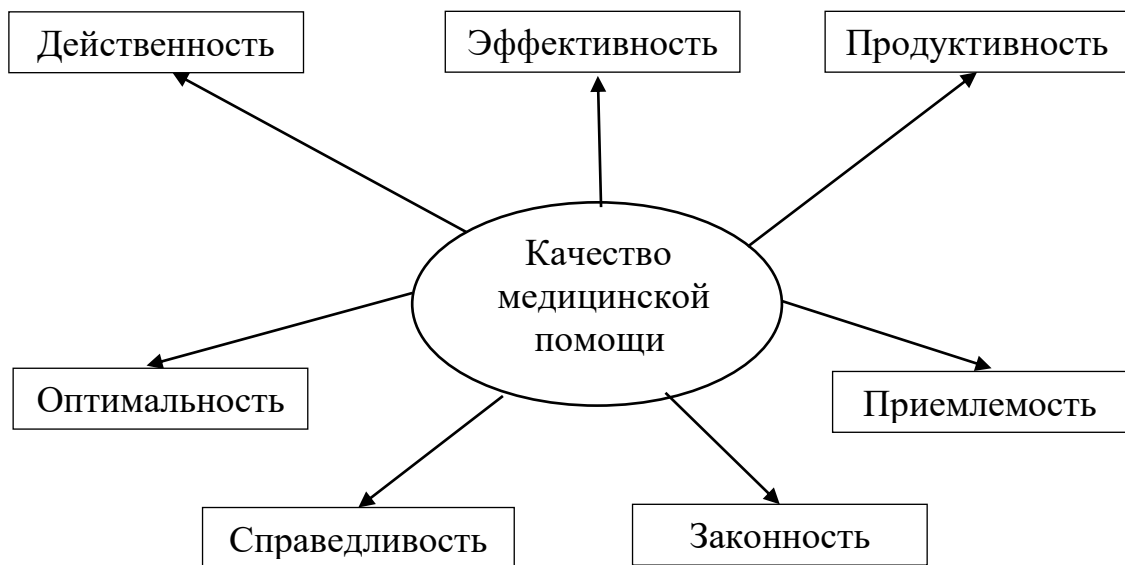


Рис.1. Атрибуты качественной медицинской помощи, выделенные А. Donabedian (составлено автором на основе изученной литературы).

На рисунке 2 показаны параметры качественной медицинской помощи, которые выделяет Н.В. Vuору [191].



Рис.2. Атрибуты качественной медицинской помощи, выделенные Н.В. Vuору (составлено автором на основе изученной литературы).

Рабочая группа по обеспечению качества Европейского Регионального бюро Всемирной организации здравоохранения рекомендует [140] учитывать важнейшие всесторонние характеристики, которые указаны на рисунке 3.

Авторы вышеперечисленных подходов к оценке качества помощи сходятся в одном: помощь должна быть удовлетворительной и результативной по отношению к пациенту.

К великому сожалению, анализируя итоги исследований за последние годы, напрашивается вывод: надлежащее качество помощи и ее доступность недостижимы и поныне [24, 44]. Опросы населения говорят об изрядном количестве граждан, получивших некачественную помощь [32]. Так, 66% россиян не получают медицинское обслуживание должного уровня. Неудовлетворение системой здравоохранения в целом изъявили

58% граждан [46]. Памятуя о том, что гарантии государства в этой сфере носят преимущественно декларативный характер, такие результаты не выглядят чем-то противоестественным. Сравнительно с другими странами континента, отношение к проблеме охраны здоровья в России отличается в более «низкую» сторону. Схожая ситуация и с запросами пациентов. При этом запросы среди разных возрастных групп дифференцированы (менее требовательными являются лица старше 60 лет). Социальный статус также влияет на уровень запросов (выше уровень достатка – выше уровень запросов) [21].

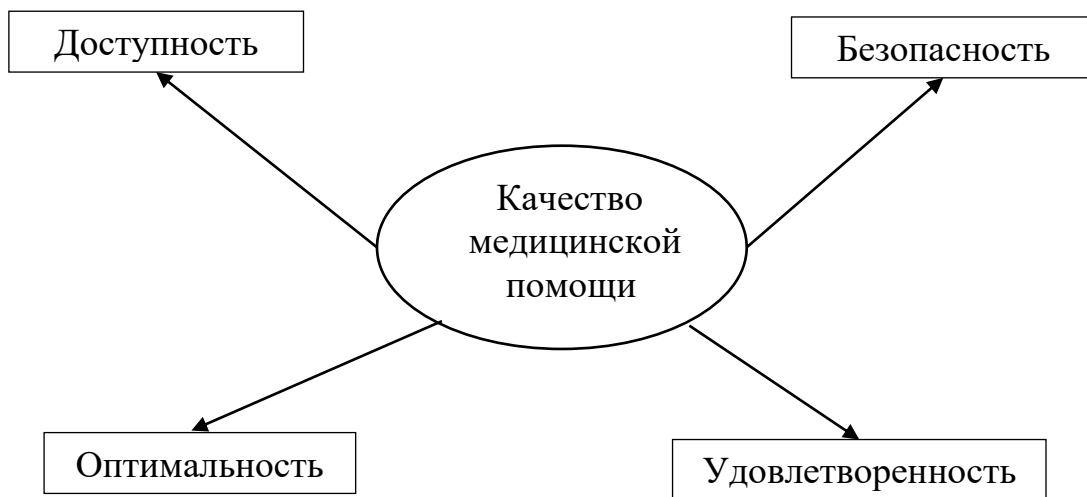


Рис.3. Атрибуты качественной медицинской помощи, выделенные Регионального бюро Всемирной организации здравоохранения (составлено автором на основе изученной литературы).

Рост числа обращений в суды и страховые компании прямо зависит от недовольства качеством медицины [5]. Изучение тенденции обращений в Минздрав Оренбургской области [14, 30] выявило огромное число недовольных как качеством оказываемой помощи, так и ее доступностью. Первичной помощью остались недовольны 68% опрошенных; специализированной – 32%. В Санкт-Петербурге анализ заявок [23] к представителям страховых организаций выявил 36,5% жалоб на неподобающий уровень организации медпомощи. Доля жалоб на нарушения деонтологии и этики составила 1,7%; на качество помощи –

1,7%; на отказ от ее исполнения – 1,1%. В общем и целом, очевиден рост числа обращений в страховые организации [41]. Признаны обоснованными 43,8% обращений. Результатами вышеперечисленных оценок доказывается субъективное недовольство пациентов.

Оценка качества в многопрофильном стационаре с использованием автоматизированной технологии [41] показала: в 29,4% случаев смертей пациентов имела место неправильная постановка диагнозов. Анализ ошибок по материалам судебно-медицинской экспертизе [42] выявил связанность с экстренной помощью 53,2% от общего количества случаев:

- 8,4% от общего числа случаев приходится на хирургов;
- 33,6% – на акушеров-гинекологов;
- на терапевтов – 19,7%;
- на педиатров – 11,2%.

Около 71% ошибок были допущены в стационаре. Дефекты диагностики составили 39,4%. Такое серьезное количество ошибок выделяет важнейшую роль диагностики в повышении качества медицинских услуг. В 50% случаев помощь оказывалась не полностью. В 25% помощь была несвоевременной и неправильной. Именно неверная или слишком поздняя диагностика приводила к длительным расстройствам здоровья или смерти. Вследствие этого назначалась поздняя госпитализация; неадекватная терапия; низкий уровень наблюдения и контроля за больными; слишком ранний перевод из интенсивной терапии. Все это приводило к несвоевременному ее оказанию.

Некоторые авторы обособляют те причины, что способны привести к дефектам в ведении пациентов и некачественной помощи. Значительное количество из них [43, 47] сходятся во мнении, что основными являются финансовые, тактические, организационные и лечебно-диагностические причины.

Примечательно и такое мнение [127]: кризисом здравоохранения обуславливается низкое качество медицинской помощи. В его базисе находятся:

- 1) Спорное разделение ответственности участников системы здравоохранения.
- 2) Отсутствие координации деятельности.
- 3) Весьма абстрактное правовое регулирование управления.

Законодательство само по себе не формирует должного единства в организационном аспекте. Значительная доля решений управленцев не имеют под собой достаточных обоснований, осуществляясь «методом проб и ошибок». Подобный подход влияет на уровень материально-технической базы неблагоприятным образом. Около 80% устаревшей техники эксплуатируются и поныне. В России уровень обеспечения иными видами современной аппаратуры на порядок ниже, чем в других странах Евразии [25]. Приблизительно 3000 единиц аппаратуры, поставленной по проекту «Здоровье», в данное время простаивает.

Нравственно-идеологические факторы в свою очередь играют большую роль во всей ситуации в целом. В сфере охраны здоровья произошла череда изменений, таящих в себе деструктивное влияние. Они повлекли доминирование экономических аспектов во всей сфере, дивергенцию профессиональных принципов, оскудение межличностных отношений.

Имеет место быть автономизация врачей – вступление в негосударственные денежные отношения с пациентами. Порождается наплевательское отношение к коллективу, пациентам и учреждению в целом [13, 145].

Научно-технический прогресс тоже служит поводом для развития деструктивных процессов в системе охраны здоровья [4, 16]. И поныне не создано методов профилактики, диагностики и лечения, которые были бы

абсолютно безопасны для пациента. Имеющийся арсенал методов лечения становится более «агрессивным».

Прогресс неумолимо увеличивает риски человеческого фактора в негативных последствиях. Итогом дебатов по данной проблеме в ВОЗ было принятие резолюции WHA 55/18. Резолюция признает базисным принципом работы обеспечение безопасности больных. Была отмечена важность разработки глобальных стандартов измерения, определения и отчетности неблагоприятных последствий и ошибок при оказании помощи [50]. Позже было решено сформировать Международный Альянс по улучшению ситуации в сфере безопасности пациентов. Исходя из вышесказанного, вполне очевидна проблема низкого качества помощи. В свою очередь нельзя не отметить: ставя достижение определенного уровня качества медицинской помощи своей целью, руководителю крайне важно понимать пути достижения цели. Вот только и поныне для качества медицинской помощи не существует единого определения. Те, что уже существуют, в какой-то мере лишь дублируют друг друга. Или же акцентируют внимание лишь на каких-либо аспектах [20, 120].

Помимо всего сказанного выше, существует мнение о необходимости разграничения терминов «качество медицинской услуги», «качество медицинской помощи» и «качество организации помощи» [121]. Оно обусловлено отличиями наборов их характеристик. Основные атрибуты этих понятий выделены, основываясь на анализе различных источников. Они приведены в таблице 1. Из нее следует, что общей чертой всех трех вышеперечисленных терминов является своевременная диагностика заболевания и адекватность его лечения.

Необходимо отметить: оценивая составляющие качества, авторы предлагают всяческие индикаторы. Отчасти они могут повторяться [7, 9]. В зависимости от уровня управления и конкретных задач трактовка индикаторов может значительно отличаться. На это оказывают влияние уровень решаемых задач и управления. Исходя из этого могут отличаться и

Таблица 1. Основные атрибуты понятий качества (составлено автором на основе проанализированных источников).

Основные характеристики качества		
медицинской помощи	медицинской услуги	организации оказании помощи
<p><i>Доступность:</i> акцент на объективную оценку с учетом сложившихся обстоятельств</p>	<p><i>Доступность:</i> акцент на информационную составляющую. Получение в доступной для пациента форме информации о состоянии здоровья, результатах обследования, вариантах и результатах лечения, возможных рисках</p>	<p><i>Доступность:</i> акцент на субъективную оценку пациента</p>
<p><i>Технологичность:</i> соответствие современному научно-техническому уровню, диагностирование и лечение заболеваний по современным стандартам доказательной медицины</p>	<p><i>Квалификационные требования к врачам:</i> выполнение требований к профессиональной компетенции, объему знаний, практических умений, навыков врачей, знание «золотых» стандартов диагностики и лечения</p>	<p><i>Деонтологические аспекты:</i> поведение врача, его умение вести прием, тщательность и полнота обследования, быстрое установление правильного диагноза, убедительность заключения, отзывчивость (и вновь акцент на субъективную оценку)</p>
<p><i>Эффективность:</i> соответствие фактически достигнутого результата запланированному</p>	<p><i>Профессиональные качества врача</i> компетенции в проведении методик лечения, согласованность действий и преемственность</p>	<p><i>Санитарно-бытовые условия:</i> Требования к инвентарю и технологическому оборудованию лечебных учреждений</p>

принимаемые решения. Так, кадровый состав образует важнейший компонент качества структуры в целом. Он влияет на безопасность

помощи. В частности, важна являющаяся официальным индикатором доля сертифицированных сотрудников. Параллельно с тем, с позиции менеджера по персоналу достижение необходимого уровня пребывает в прямой зависимости от уровня зарплат [105]. «Клинические» индикаторы, в свою очередь, должны рассматриваться в ключе удовлетворения сотрудников своими зарплатами.

Итог: существующие методы неоднозначны и требуют уточнений по требованиям [59]:

- измеримости;
- клинической достоверности;
- профессиональной идентификации;
- возможности исполнять управленческие и клинические функции.

К настоящему моменту формирование контроля государства за медициной страдает от весьма скудных юридических отражений своих основ [6]. Принципиальная потребность здравоохранения сейчас – реформы систем эффективности и оценки качества. Они должны быть едиными для всех видов подразделений системы здравоохранения. С учетом показателей по критериям должен рассчитываться и уровень зарплат. Далеко от конкретики и отношение к средствам оценки качества медицинской помощи (к стандартам в частности).

Бытует мнение [33], что настоящие стандарты не соответствуют профильным требованиям. Это связывают с невозможностью отнести их к конкретным стандартам, используемых при регламентировании производства услуг, продукции и методик контроля (испытаний, измерений, анализа).

Более того, крайне важно понимать, что далеко не каждый врач знает и понимает соответствующие стандарты, не говоря уже о соблюдении их в своей практической деятельности.

Стандартизация в сфере охраны здоровья в юридическом ключе также не выглядит идеальной [130, 143]. Регистрация действий врача, отличных от стандарта на деле являет лишь констатацию нарушений технологии. Однако эти нарушения могут вызвать как отрицательное, так и положительное влияние. Это зависит от конкретной ситуации. Также стандарты установлены по отношению достаточно малого числа заболеваний. При сравнении с общим числом нозологических форм сей факт особенно заметен.

Основной недостаток стандартов – быстрая утрата актуальности. Они требуют постоянных корректировок. Далек от решения вопрос об интерпретации действий врача, приведших к печальным последствиям, но выполненных по всем стандартам. Одновременно с этим имеются патологические состояния, делающие невозможной разработку стандартных моделей (атипичное течение болезни и реакция организма, комбинированные заболевания). Де-юре стандарты медицинской помощи рекомендованы нормативно-правовыми актами при условии утверждения их приказами министерства.

Выработка единой методики контроля, не допускающей произвольного толкования требований, также остается насущной проблемой. Она не должна допускать:

- произвольных трактовок требований;
- устанавливать ограничения для лиц, контролирующих оптимизацию медицинской деятельности, эффективное и оперативное устранение выявленных дефектов [13].

Определенные авторы [15, 32, 57, 63, 113, 150, 194] в свою очередь придерживаются мнения, что наиболее целесообразно использовать комплексный метод для оценки качества оказания помощи или услуги. В свою очередь вышеназванный метод наиболее приемлем для управления ее качеством. В его базис заложен системный анализ взаимодействия подразделений медицинской организации друг с другом. Также в него

включен анализ показателей их работы с корреляционной зависимостью, учитывающей вклад в общий результат. В данном методе возможно применить инструменты, используемые в улучшении процессов производства, равно как и экспертный и самые прогрессивные математические методы. Своевременность и корректность поставленного диагноза – первое на что обращают внимание при комплексном подходе. Ведь дальнейшее адекватное лечение, выздоровление человека и улучшение его качества жизни зависит именно от правильности диагноза. Как следствие субъективная оценка качества лечения конкретного пациента повысится. Вскрыть истинные причины заболевания и получить эффективное лечение невозможно именно без полно диапазонного диагноза. Подчас поставленный диагноз не объясняет причину заболеваний по одним лишь внешним симптомам. Это признак устаревших диагностических методов. Для учащения совершения правильной диагностики все существующие методики диагностики необходимо подвергать анализу и тщательную изучению. Важна оценка этих методик с позиции соответствия современному уровню. Увеличение числа диагнозов, поставленных верно, приведет к повышению качества медицинской помощи и медицинской услуги в целом.

1.3. Необходимость повышения эффективности существующих подходов к диагностике заболеваний как составной части методов управления оказанием медицинских услуг

Диагностика имеет единую трактовку не зависимо от сферы, в которой она будет применяться, если эта трактовка происходит через методологию. Диагностика позволяет определить сущность состояния исследуемой нами системы через соотношение имеющихся отклонений и причин их появления с выявленными симптомами. Таким образом, можно охарактеризовать диагностику как идентификацию, определение конкретного явления. Например, в медицине диагностика позволяет

распознать болезнь, при техосмотре диагностика позволяет выявить неисправность обследуемого устройства и др. Диагностика различается по трем элементам: объект, цель и средства диагностики. Если мы обратимся к любой науке, то увидим, что в зависимости от сферы, в которой осуществляется диагностика, все вышеуказанные элементы будут иметь свою специфику. Например, в медицине объектом будут являться процессы, протекающие внутри организма, целью будет являться установление точного диагноза, исходя из имеющихся симптомов, а средствами будут различные способы медицинского обследования и вмешательства. В зависимости от сферы, в рамках которой осуществляется диагностика, в науке она различается по используемой для ее изучения методологии, рассматриваемым концепциям, но все равно продолжает сохранять единые для любой науки (сферы применения) признаки, через которые дается определение сущности диагностики.

В науке принято выделять три определения понятия «диагностика». Диагностика рассматривается учеными:

Во-первых, как научная дисциплина.

Во-вторых, как процесс, в ходе которого определяется состояние изучаемого объекта.

В-третьих, как совокупность средств, способов, с помощью которых определяется состояние изучаемого объекта. Следует отметить, что последняя представленная трактовка понятию «диагностика» находит наибольшую поддержку в науке.

Так, В.В. Щербина обосновывает свой выбор последней трактовки тем, что оно является образующим понятием для двух предыдущих трактовок, которые можно рассматривать как производные от последнего определения понятия «диагностика» [141].

В медицине существует отдельный раздел именуемый «Медицинская диагностика». В рамках данного раздела изучаются методы, с помощью которых определяется диагноз, изучается содержание самого процесса по

определению самого диагноза (отклонений) и его этапы. Под медицинской диагностикой следует понимать процесс определения сущности заболевания, выявления отклонений, позволяющих установить диагноз.

Исторически установление диагноза пациенту ассоциировалось у людей с искусством в сфере медицины. До XX века ключевую роль в определении диагноза играла история болезни пациента в связи с тем, что практически не было средств диагностики способных содействовать врачам. Существенные изменения в медицине произошли в XX веке. Новые разработки в сфере медицинских технологий позволили создать новые средства диагностики, что существенно способствовало росту эффективности в установлении точного диагноза.

В настоящее время все имеющиеся методы диагностики можно разделить на:

1) лабораторные (исследующие отклонения в составе и изменения свойств тканей и биологических жидкостей больного, а также выявляющих возбудителей болезней);

2) инструментальные (обследование внутренних органов посредством различных механических приборов).

Если существует необходимость выявить проблемы, существующие на клеточном уровне организма, то в исследованиях применяется лабораторный метод, в основу которого положено исследование биологических жидкостей (кровь, слюна, моча и др.). Когда нам необходимо установить проблемы, связанные непосредственно с органом человеческого тела, то применяется инструментальный метод.

Следует отметить, что при использовании лабораторного метода полученные результаты сравнивают с показателями здоровых людей, которые включаются в определенный диапазон, и которые могут варьироваться в зависимости от лабораторий, проводящих соответствующие исследования.

Также следует отметить, что помимо вышеназванных лабораторных методов диагностики также выделяют способы идентификации микроорганизмов (например, бактериологический, микроскопический, вирусный и другие).

Инструментальные методы диагностики в свою очередь подразделяются на две группы:

Первая группа – это инвазивные методы. Например, к таким методам можно отнести рентген с контрастированием, когда происходит проникновение в полость организма.

Вторая группа – это не инвазивные методы диагностики, при которых целостность тканей не нарушается, проникновения внутрь не происходит (например, электрокардиограмма и др.).

Стоит отметить, что вышеназванные лабораторные и инструментальные методы диагностики являются лишь одним из примеров возможной классификации методов диагностики.

Согласно другой классификации методы диагностики можно подразделить на:

- лабораторные;
- структурные;
- функциональные.

Остановимся кратко на каждом из них.

Лабораторный метод как описывалось выше, в первую очередь, позволяет определить изменения, происходящие на химическом, клеточном уровне. Например, в рамках лабораторного метода проводится общий анализ мочи.

Структурный метод позволяет определить изменения, происходящие непосредственно в органах и тканях. Например, в рамках этого метода проводятся ультразвуковые исследования.

Функциональный метод непосредственно исследует функционирование отдельных органов, определяет переносимость или

непереносимость нагрузки на организм. Например, в рамках данного метода при астме берутся дыхательные пробы.

Необходимо отметить, что существуют определенные рекомендации и стандарты, которые определяют, какие методы должны применяться при заболевании конкретного органа.

В настоящее время разработаны скрининг-тесты, позволяющие диагностировать заболевание на его начальной стадии.

В медицине существует такой термин как клиническое принятие решений. Под ним следует понимать непосредственно весь процесс по определению и установлению точного диагноза. В первую очередь происходит изучение истории болезни пациента в целях формулирования причин будущего диагноза. Сформулированные причины в науке именуется дифференциальным диагнозом. На следующем этапе происходит сужение круга возможных диагнозов при помощи определения перечня тестов, исходя из жалоб пациента, и получения результатов исследования. Стоит отметить, что сужение круга возможных диагнозов происходит не за один раз, а до тех пор, пока врач не будет лично до конца уверен в правильности конечного диагноза, когда симптомы будут в тесной взаимосвязи с установленными причинами их проявления, подтвержденными с помощью тестов. В процессе лечения также возможно уточнение или даже изменение ранее установленного диагноза, когда в ходе лечения не наблюдается положительной динамики, либо вовсе наблюдается ухудшение состояния пациента.

В первую очередь при определении диагноза врач всегда выдвигает гипотезу о наиболее вероятном заболевании, но в тоже время в первую очередь он может начать детальный осмотр пациента на предмет наличия у него наименее вероятного при выявленных симптомах диагноза. Это связано с тем, что существуют диагнозы опасные для жизни и влекущие тяжелые последствия для организма, поэтому они должны быть так же незамедлительно проверены, как и наиболее вероятный диагноз.

Установление диагноза представляет собой алгоритм последовательных действий. В начале алгоритма стоит жалоба, с которой пациент обращается к врачу. В дальнейшем врач следуя алгоритму устанавливает предварительные диагнозы, которые впоследствии уточняются и корректируются.

Все имеющиеся на данный момент в медицине тесты, позволяющие установить диагноз, не являются абсолютными в верности полученных по ним результатов. В связи с этим в медицине необходимо иметь не большое количество одинаковых тестов, а большое разнообразие разных тестов. Только тогда вырастает вероятность установления наиболее точного диагноза, так как каждый тест обладает своей спецификой. Наличие строго однотипных тестов в первую очередь негативно скажется на самочувствии пациента, которому придется ждать, а иногда и тратить свои денежные средства на приобретение других тестов, которые позволят уточнить диагноз, опровергнуть предыдущий тест.

Процесс установления диагноза будет малоэффективен, если не будет взаимодействия врача и пациента. Врач не сможет иметь полную информацию об истории болезни пациента, если последний не будет сообщать ему необходимую информацию, будет умалчивать определенные симптомы. Длительное наблюдение за пациентом позволяет врачу сформировать наиболее полное представление о возможном диагнозе, поэтому не маловажным фактором в медицине является посещение одного и того же врача, у которого пациент наблюдается много лет. Врач, много лет наблюдающий за пациентом, сможет легко отличить симптомы, вызванные реальным заболеванием от схожих симптомов, проявляющихся в результате некоторых эмоциональных потрясений (например, в результате сильного стресса). В результате все сказанное выше в первую очередь будет способствовать эффективности лечения, быстроте установления точного диагноза и, следовательно, позволит пациенту сэкономить денежные средства, которые он мог бы потратить на

посещения ряда разных специалистов, выписывающих неэффективные лекарства.

В первую очередь перед любым врачом всегда стоит такая наиболее сложная задача, как определение опасного для жизни заболевания на его ранних стадиях, когда оно еще поддается лечению. Не каждую болезнь есть возможность сразу диагностировать на ранней стадии. С момента ее появления и до проявления первых симптомов может пройти несколько лет, когда общие симптомы, схожие со многими болезнями примут уже специфическую форму, позволяющую точно установить диагноз.

На практике многие врачи сталкиваются с тем, что общие симптомы характерные для ряда разнородных заболеваний невозможно связать в единый точный диагноз, не зная лично самого пациента. Например, усталость может говорить с одной стороны, о депрессии, а с другой стороны, может быть одним из признаков начинающейся анемии. В приведенном примере первое, что необходимо сделать врачу – это провести соответствующий тест, который точно способен установить диагноз «анемия», даже если он однозначно уверен в том, что пациент пришел к нему с депрессией.

На основе всего вышеизложенного можно заключить, что наличие множества методов диагностики не гарантирует точное определение диагноза, так как существует множество факторов, влияющих на точность проводимых исследований. Работа врачей осложняется тем, что общие симптомы характерны для ряда разнородных заболеваний, в результате чего врачу необходимо изучить соответствующий объем информации для дальнейшего соотношения каждого конкретного симптома с конкретной болезнью. В некоторых случаях врачам могут помочь компьютерные технологии. Например, они применялись в мире для диагностики редких генетических заболеваний за короткий промежуток времени [8, 177]. Современные компьютерные программы в определенных случаях

помогают врачу установить наиболее точный диагноз в максимально короткий срок.

Часто можно столкнуться с высказыванием о том, что смерть пациента – это прямая причина врачебной ошибки, что врач диагностировал не правильный диагноз, который соответственно привел к подобному исходу. В процессе сбора информации для статистики причин смертности пациентов было установлено, что в результате диагностических ошибок умирает примерно 10% пациентов. Как правило, деятельность непосредственно самого врача не является основной причиной диагностической ошибки. Основным фактором здесь следует считать недостаточность имеющихся методов диагностики, ограниченность ресурсов человеческого мозга, который не позволяет удерживать в памяти все содержательные моменты о пациенте и о заболеваемости, а также большой поток больных, с которыми врачу приходится работать одновременно.

Ученые, исследующие диагностические ошибки выделяют несколько факторов, которые, по их мнению, приводят к причинам возникновения соответствующих ошибок. В качестве примера приведем ряд следующих факторов.

Во-первых, это низкий уровень взаимодействия подразделений системы здравоохранения. Низкий уровень развития информационных технологий в сфере здравоохранения, отсутствие единой эффективно работающей базы.

Во-вторых, это межличностные проблемы, возникающие между врачами и их пациентами. Например, когда пациент не до конца раскрывает все имеющиеся симптомы, что создает препятствия для врача в установлении точного диагноза. Когда врач не знаком с пациентом, что не позволяет учитывать эмоциональное состояние пациента.

В-третьих, это проблемы внутри самой системы здравоохранения в сфере отсутствия должным образом обеспечения системы осуществления диагностики.

В связи с этим ряд современных организаций предпочитает использовать компьютерные технологии, считая их наиболее эффективными при осуществлении медицинской диагностики.

Так, существуют данные, что рынок услуг, по осуществлению диагностики через три года достигнет 76 млрд долларов. [185]

В результате всего сказанного выше необходимо резюмировать, что точный диагноз, возможно, поставить только при соблюдении ряда условий. В частности, к таким условиям относятся метод исследования и контроля за самим непосредственно процессом. Наиболее приемлемым нам представляется математический подход [152]. Данный подход будет иметь одинаковую эффективность как при решении сложных вопросов при создании врачом соответствующего алгоритма по определению точного диагноза, так и при элементарных легких алгоритмах [117]. Также необходимо отметить, что если количество вариантов постановки диагноза (симптомов) слишком много, то врачам необходимо использовать компьютерные технологии, так как от этого напрямую зависит быстрота постановки диагноза и эффективность от раннего начала лечения.

1.4. Возможность использования математических методов для повышения качества диагностики

На сегодняшний день, можно констатировать, что применение математических методов, реализованных с помощью компьютерных программ, утилит и приложений, необходимо для того, чтобы поставить диагноз.

В современном мире, выделяется 4 направления ЭВМ в медицинской практике, приведенных на рис. 4.

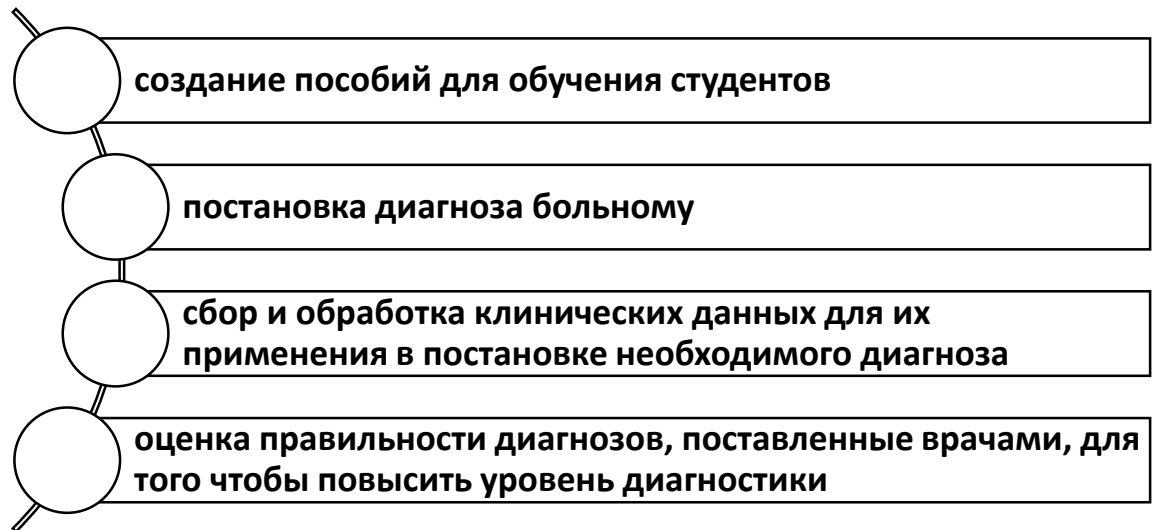


Рис.4. Направления ЭВМ в медицине (составлено автором на основе изученной литературы).

На сегодняшний день диагностика с помощью персонального компьютера находится на начальном этапе своего развития. Несмотря на данный факт, зарубежными исследователями получены некоторые результаты, поэтому дальнейшее изучение этого направления можно считать перспективным.

Разберем задачу: постановка диагноза в результате выбора одного из двух.

Существует список данных: признаки, симптомы, анамнез, лабораторное обследование - все это проверяется у обследуемого пациента. В такой список входят данные, относящиеся к 2-м болезням. Когда появляется больной, лечащий врач, просмотрев список симптоматики, ставит нужный диагноз. В основном этот процесс осуществляется в уме по памяти. Несмотря на богатый опыт, для того чтобы подтвердить свое впечатление, специалист прибегает к количественным данным.

К числу численных методов дифференциальной диагностики относится статистический дискриминантный анализ. Охарактеризуем данный метод более подробно.

На основании дискриминантного анализа, объекты подразделяются на 2 группы. В основу деления входит показатель равный сумме нескольких компонент, т.е. баллов. Каждая из групп мерит определенную характеристику. Если сумма баллов, которая была вычислена для объекта, превалирует над величиной порога одной группы, то он попадает в данную группу.

Вышеизложенный метод применяли в диагностике тиреотоксикоза исследователи: Wayne E.J, Crooks J.C. и Murray I.D. [194]. Несмотря на то, что клиническая картина данного заболевания проста, бывают ситуации, когда мнения врачей расходятся или врач поменял свое мнение или сомнителен диагноз. Поэтому ученые разработали наименее сложный метод, для точной диагностики в сомнительных ситуациях. С помощью метода можно было отделить больных тиреотоксикозом, от пациентов при затруднении оценки заболевания. Вычислительные методы можно не использовать во врачебной практике, если врач, имея большой опыт, легко принимает верное решение. И напротив, когда врач сомневается в верности поставленного диагноза, то их применение не только полезно, но и необходимо.

За счет дискриминантной функции, статистический анализ может быть наиболее точным. В основном врач делает выбор между возможными диагнозами. Интерпретацию, а также оценку результатов осложняет отсутствие математической модели. Применение дискриминантных функций может вызвать ряд проблем. В классическом подходе подразделяя больных на 2 группы, матрицы симптоматики в них одинаковы, также распределения - нормальные многомерные. Если корреляционные матрицы различаются, то диагнозу нужно больше вычислений.

Кроме этого, сложность появляется при обобщении метода дискриминантных функций. Случаи представлены на рисунке 5.

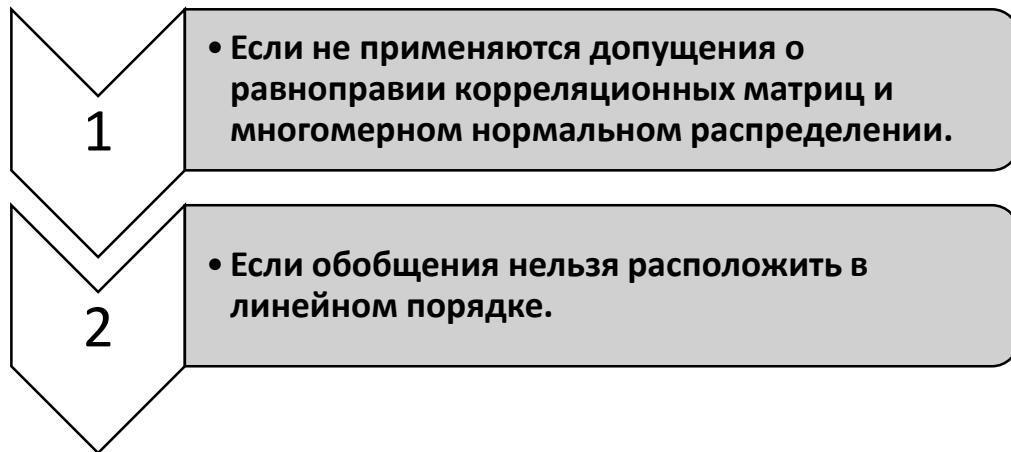


Рис. 5. Ситуации сложности при обобщении метода дискриминантных функций (составлено автором на основе изученной литературы).

При использовании общего показателя расстояния Махаланобиса, также появляются затруднения, связанные с применением теории, а также интерпретации данных.

Несмотря на данность, сегодня активно применяются некоторые статистические методы. К примеру, метод Торонто, Стефенсона, Уорнера, Визи [144], посвященный врожденному пороку сердца. Ученые использовали перечень, состоящий из 50 дискретных симптомов и 33 заболеваний. В матрицу «симптомы — заболевания» были включены 1650 элементов. Вычисление данных для новых больных в форме уравнений требует большого объема, поэтому здесь необходимо использовать электронно-вычислительные машины. Появляется вопрос по поводу применения компьютера, поскольку число симптоматики и объемность тестов растет с каждым годом.

Итак, возникает парадоксальная ситуация – врачи могут получать наиболее точные результаты с помощью электронно-вычислительных машин, однако использовать их на практике они не могут либо не хотят именно из-за множества данных.

Уорнер [144] говорит, что применение вероятностного метода – это успешная практика. Данный факт подтверждает статистика по диагнозам, поставленные компьютерными программами и кардиологами. Этот

эксперимент проверялся с помощью хирургических вмешательств и катетеризацией сердца.

На основании исследования, произведенного на 36 пациентах, ученые выяснили, что диагноз, который поставила компьютерная программа совпадает с истинным заболеванием на том же уровне, что диагнозы, которые поставили кардиологи.

Затем, похожий эксперимент был проделан Густафсоном [151]. Он коснулся 38 больных с врожденным пороком сердца. Однако в отличие от предыдущего, он заключался в использовании другой версии электронной программы. Исследователи привели сравнительные цифры, которые характеризовали справедливость диагнозов, поставленных электронно-вычислительной машиной и врачами. Также специалистами врачебного дела был составлен перечень диагнозов в порядке убывания вероятностей, а компьютерная программа выдавала 4 вероятных диагноза.

Похожие результаты были получены другими учеными, к примеру К. Такаhash [176], И.И. Артоболевский и М.Л. Быховский, А.А. Вишневский [15] в своих исследованиях использовали байесовский подход.

Важно отметить успехи в идентификациях бактерий [184]. Из данных устанавливалась частота нахождения шаблонных бактериальных признаков. Если появлялась неопознанная культура, то помимо исследований осуществлялась предварительная идентификация. Когда предварительные данные были ненадежными, то производились дополнительные эксперименты. Как показывает практика, такой сложный процесс основывается на личном опыте, поэтому микробиологи быстро получают нужные результаты. В случаях, варьирования результатов теста, диагноз ставится на основе ориентировочной группы тестов. Если удовлетворительная дифференциация не была достигнута, то для исследования материала подбирается наиболее результативная группа тестов.

Также стоит отметить, что основная практика в решении задач математической медицины и биологии – это применение математической статистики, то есть нахождение средних, дисперсии, критерий оценки статистических гипотез, отношение шансов, отношение рисков, логит-регрессия. Более того, международное научное сообщество считает, что только применение математических методов дает объективное обоснование полученных выводов и найденных закономерностей. Такой подход получил название доказательная медицина и имеет огромное применение во всех странах.

При этом нельзя не отметить и успехи в применении математических методов для решения дифференциальной диагностики. Ее суть – решение двух подзадач дискриминантного анализа, а именно: задача выбора информативных признаков и задача обучения дискриминантного анализа. Теория говорит о том, что указанные две задачи сводятся к системам линейных уравнений, однако, не всегда имеющим решения. В этом случае используют понятие комитета, который позволяет провести классификацию с минимальными потерями. Понятие комитета было рассмотрено как для решения задач дискриминантного анализа с двумя непересекающимися классами [87], так и для задач с произвольным числом классов [86]. Также было отмечено [86, 88, 135], что в задачах с большими размерностями (с большим количеством факторов (симптомов заболеваний) могут возникнуть некоторые проблемы, поэтому необходимо разработать аппарат, позволяющий сокращать количество членов комитета, что позволит классифицировать материал обучения с наименьшей ошибкой. В целом, можно сделать вывод, что математические методы, такие как дискриминантный анализ и метод комитетов необходимо внедрять в научно-исследовательскую и лечебно-профилактическую деятельность с целью обеспечения более высокого качества диагностики заболеваний.

1.5. Выводы по главе 1

В данной главе рассмотрены основные возможности совершенствования методов управления оказанием услуг медицинских учреждений. Исследован процесс оказания медицинской услуги, рассмотрены основные методы управления оказанием услуг, предоставляемых медицинскими учреждениями. Выявлены основные проблемы, связанные с управлением оказанием услуг, указана необходимость совершенствования подходов и методов управления оказанием услуг, осуществляемых медицинскими учреждениями. При этом отмечено, что большая часть ошибок приходится именно на процесс постановки диагноза заболеваний, в связи с чем показано значение диагностики в повышении качества услуг, а также особое внимание обращено на существующие методы диагностики и на возможность их совершенствования, а также разработки новых.

Исследованы зависимости между факторами оказываемых услуг и диагностикой заболевания, а также указана прямая взаимосвязь на тактическое управление процессами в медицинских учреждениях. Проанализированы основные технологии диагностики заболеваний, используемых в медицинских учреждениях, сделаны выводы по необходимости повышения эффективности существующих методов диагностики заболеваний, а также рассмотрены имеющиеся в литературе математические модели диагностики заболеваний. Показано, что используемые на практике математические методы диагностики зачастую эффективны, но на данный момент имеют недостаточное развитие, в связи с чем необходима разработка новых моделей и методов, а также соответствующего программного обеспечения.

В конце главы рассмотрены основные положения такого метода диагностики как метод комитетов. Показаны его основные достоинства и недостатки, при этом делается вывод, что именно метод комитетов может

показать наиболее безошибочную классификацию материала обучения (то есть провести дифференциацию признаков с наименьшей ошибкой). По этой причине в дальнейшем приводится подробное изучение метода комитетов и устранение некоторых его недостатков.

Основным выводом главы 1 является необходимость и возможность совершенствования методов диагностики как составной части методов управления оказанием услуг медицинских учреждений за счет использования комитетного и дискриминантного анализа.

ГЛАВА 2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ КОМИТЕТНОГО И ДИСКРИМИНАНТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ КАК ОСНОВНОГО СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОКАЗАНИЯ МЕДИЦИНСКИХ УСЛУГ

2.1. Моделирование в социально-экономической сфере как основа методов диагностики

В предыдущей главе были сделаны выводы относительно того, что методы управления оказанием услуг медицинских учреждений включают и аспект качества оказания медицинской помощи. При этом к оценке качества необходимо подходить комплексно, выделяя основные тезисы. При подобном подходе, как было показано ранее, во главе угла стоит задача диагностики заболеваний, для решения которой применяются различные методы, но математические из них оказываются одними из эффективных. При применении математических методов в диагностике необходимо использовать моделирование, как основную сущность метода [71].

Математические модели важны для процессов познания и принятия решений. Они в сжатом виде отображают существенные соотношения в описании объектов и ситуаций. Добавление новых соотношений приводит к сужению области применимости модели. Формула – пример сжатого описания потенциально бесконечного множества объектов и ситуаций.

Обработка знаний основана на применении математических методов. В этом случае она наиболее основательна, по крайней мере с точки зрения строгой логики и последовательной формализации. Для обработки знаний необходимо представить их в некоторой удобной для анализа форме. Таким образом, при анализе данных и знаний мы пользуемся не ими непосредственно, а их репрезентациями. Эффективным способом репрезентации являются математические модели объектов и явлений. Это сейчас самый мощный метод познания процессов, объектов и явлений.

Моделирование – это особый способ научного исследования. Математическая модель какого-либо объекта – это интерпретированная в рамках данной предметной области математическая структура. Необходимость использования математических моделей обуславливается следующими соображениями:

- во многих случаях непосредственные эксперименты на объектах невозможны; в то же время возможны эксперименты на моделях;

- модели позволяют имитировать последствия различных сценариев поведения систем и делать прогнозы.

Моделирование, особенно математическое, играет важнейшую роль в познании действительности. Даже если считать, что одно только моделирование само по себе, без привлечения содержательных соображений и интерпретации, не дает истинного знания, все равно невозможно отрицать, что его практическое использование дает громадный эффект. Кроме того, результаты моделирования наводят на некоторые гипотезы при познании реальных феноменов, гипотезы об их глубинной сущности.

Моделирование дает возможность докопаться до непосредственно ненаблюдаемых, латентных факторов и явлений. Причем можно моделировать и неформальные факторы. В качестве примеров можно привести применение факторного анализа и распознавания образов в моделировании факторов принятия решений, например, в выявлении глубинных причин отклонения поведения людей в социально-экономической сфере от рационального поведения. Создание модели – наиболее трудный этап исследования, ее анализ (так как она гораздо проще моделируемого объекта) представляет менее трудоемкую часть. «Непостижимая эффективность» математики частично объясняется именно большей простотой модели, чем моделируемый объект.

Модель является инструментом для эффективного оценивания стратегий управления, причем метод для задачи выбора вариантов решений зависит от характеристик модели.

Условно методы научного исследования можно разделить на теоретические и эмпирические. При этом метод моделирования имеет свое особое место и свои особенности. Когда используется метод моделирования, модель выступает аналогом и заменителем объекта.

Математическая модель представляет собой совокупность некоторых математических соотношений – уравнений и неравенств, связывающих переменные и параметры, систем включений, итерационных процессов, программных систем. Эти соотношения описывают некоторые стороны изучаемого объекта, явления или процесса. Модели также могут принимать вид нейронных сетей. Метод моделирования состоит в исследовании объекта на материале описывающих его соотношений. Результаты исследования модели переносятся на объект (но не напрямую, потому что объект и его модель – это все-таки не одно и то же).

Моделью может быть и программная система, и нейронная сеть, и экспертная система. Нейронная сеть может иметь вид как компьютерной программы, так и – что лучше – нейрокомпьютера. Сам компьютер с его богатой программной начинкой – наилучшая из известных моделей. Любой человек может в некоторых отношениях быть не лучше своего компьютера в интеллектуальном отношении.

Математическое моделирование вдохнуло новую жизнь и придало новый смысл исконному понятию модели. Модель всегда воспринималось как аналог (структура, схема, знаковая система или физический образец). Это представитель или «заменитель» оригинала. Моделирование – это метод исследования объектов и процессов на их моделях. При этом используется заключение по аналогии.

Система моделей, которая сложилась в ходе решения прикладных задач оптимального выбора, медицинской диагностики и прогнозирования

- это достаточно полная система моделей – именно как система она такова, что составляющие ее модели связаны отношениями двойственности. Это значит, что наряду с исходными базовыми моделями, она содержит и двойственные. И в целом набор моделей включает в себя иммерсионные, дополнительные, альтернативные и сопряженные. Здесь имеются как количественные, так и качественные модели. Они эксплицируют индивидуальные и коллективные измерения экономических и социальных объектов. Статистические модели можно назвать структурными, но они включены в систему эволюционирующих – нестационарных процессов оптимизации и диагностики.

Важно, что на основе моделей можно имитировать динамику систем. Во всех случаях, когда некоторая систематическая процедура применяется для уточнения решения, точное решение может быть найдено с использованием динамики. Итерационная динамика не обязательно связана с числами. Можно работать с достаточно сложными объектами: числами, элементами линейных пространств, последовательностями, отображениями.

Моделирование основано на понятиях подобия, аналогии, сходства, имитации, эквивалентности, изоморфизма, гомоморфизма. Аналогия в определенной мере столь же естественна для получения выводов (следствий из данных и знаний), как и индукция. Индукция и аналогия связаны с правдоподобными рассуждениями. Вывод по аналогии – это перенос характеристик и связей, выявленных для одной системы, на другую систему. Поэтому здесь имеет место именно правдоподобный вывод, использующий сходство систем лишь по части их признаков. Аналогия выявляется и как аналогия признаков, и как аналогия отношений. Часто при индуктивном выводе используется регрессионный анализ [156, 174].

Между тем, регрессия по изначальному смыслу этого слова – это имитация сложного через более простое. В простейшей исходной идее

моделирования лежит отношение равенства. Интересно, что из идеи равенства вытекают также модели равновесия и другие концессии, например, идеи симметрии. В теории категорий используется более общее понятие морфизма. Вообще, в связи с моделированием возникает вопрос о пределах формализации и рассматривается вопрос о методах учета неформальных факторов в математических моделях. Среди этих методов можно назвать в первую очередь распознавание образов и искусственные нейронные сети.

Более общее понятие, чем модель, это – репрезентация. Репрезентация может быть и моделью, и теорией, и созерцанием, и рефлексией, и многим другим подобным.

Есть два принципиально важных подхода к изучению строения объектов. Первый из них использует исследование внутреннего содержания, состава и строения частей объекта. Второй – косвенный – в отражении объекта на совокупность похожих объектов. Так, теория категорий предоставляет нам способы моделирования объектов через их соответствия между собой, называемые морфизмами.

Эти понятия дают разные аспекты моделирования. Моделирование – это, вообще, сравнение одного объекта с другим. Один из подходов к анализу модели исходит из того положения, что быть моделью – это некоторое отношение. На это отношение накладываются некоторые аксиомы, и тогда можно чисто алгебраически изучать феномен моделирования. Особую роль играют имитационные модели. Грубо говоря, модель объекта – некоторая система, виртуальная или реальная. Она отображает или воспроизводит некоторые черты объекта и способна замещать его, причем ее исследование дает новую информацию об объекте.

Модель объекта или ситуации – это, вообще говоря, его репрезентация, внешняя или внутренняя. Она может быть изоморфизмом (это редкий случай) [27]. Как правило, модель – гомоморфное отображение

системы А в системе В. Часто полезно использовать гомеоморфизм, когда требуется непрерывность отображения. При широком взгляде любое А в какой-то мере отражается в любом В, то есть все годится для моделирования, то есть все локально. В некоторой ситуации А есть хорошая модель для В. В другой ситуации – не так. Модели – это, как правило, формальные структуры или эвристические конструкции, варианты структурирования понимания действительности. Это когнитивные артефакты репрезентации для нас самих того, что мы сами и делаем. Это избирательное абстрактное копирование определенных свойств реальности. Если есть исследуемое явление и исходная идея модели, то мы вначале проясняем аналогии, а затем идет прилаживание и шлифовка модели, устанавливается степень справедливости аналогий, реализуется упрощение модели и сокращение множества базисных элементарных понятий. Модель сохраняет лишь некоторые признаки оригинала, отвлекаясь от других признаков и характеристик – поэтому она есть результат идеализации или абстрагирования.

Эксперименты и математические модели всегда составляли основной инструментарий в естественных науках. Однако уже давно эти понятия стали важными также и в экономике, социологии, психологии, и, как мы смогли убедиться в главе 1, в медицине, в том числе в части диагностики заболеваний.

Степень сложность модели надо специально выбирать и обосновывать, она должна быть адекватной целям моделирования.

В моделировании актуальны такие направления:

- моделирование самоорганизации;
- моделирование процессов обучения и самообучения;
- компьютерный вывод следствий из данных и знаний (подобный экспериментальному);
- моделирование диагностики, прогнозирования, принятия решений.
- моделирование с помощью искусственных нейронных сетей.

Основные свойства моделей, к которым должен стремиться исследователь:

- открытость к модификациям,
- доступность пользователям,
- надежность,
- экономичность и эффективность при алгоритмической реализации.

Также важны критерии релевантности и адекватности. Релевантный – значит: существенный или подходящий.

Условия вывода следствий – это проблема двойственности, которая может рассматриваться с разных сторон. В общем виде картина такова: приходится выяснять условия постановки задач Z_i, Z , при которых

$$x \in ArgZ_i (i \in I) \rightarrow x \in ArgZ,$$

где $ArgZ$ - множество всех решений задачи Z .

Анализ такого следования может быть проведен на основе нейронных сетей, которые настроены на решение прецедентных задач и применяются к новым задачам [83].

В математическом моделировании и в анализе моделей используются как индуктивный, так и дедуктивный методы. Индукция обобщает проверенные факты либо некоторые теоретические утверждения. Дедукция получает следствия из некоторых утверждений с использованием той или иной логики. Индукция и дедукция взаимно дополняют друг друга. Математическая технология обработки знаний содержит этапы: модель – алгоритм – программа (или процедура обучения) – компьютер. Принципиально важен выбор вида подходящей модели, ее распознавание, т. е. отнесение к тому или иному классу. Этапы прикладного математического исследования: математическое формулирование задачи, выбор метода исследования, анализ и интерпретация математических результатов [147].

Дело в том, что исследование какого-либо объекта или явления начинается с формулирования некоторых утверждений о его свойствах и

характеристиках. Формулируются некоторые гипотезы о том, какие признаки являются базисными, в каких пределах могут изменяться значения этих признаков, каковы эксперименты или экспертизы генерируются закономерности, которые систематизируют факты и служат их объяснению, а также прогнозированию новых фактов. Закономерности – это высказывания о таких значениях признаков и связей между ними, которые инвариантны к определенным типам вариаций других признаков. Между тем в обнаружении сложных высказываний и закономерностей в настоящее время обязательно используются компьютеры с реализованными на них экспертными системами, нейронными сетями или другими «непрозрачными» инструментами. Возникает проблема доверия к доказательству, полученному с помощью компьютера. В какой-то мере эта ситуация смягчается при создании в компьютерных системах блоков объяснения.

Критерии моделирования тесно связаны с характером эмпирических данных и экспериментов. В моделировании считается важным простота модели. Дело в том, что в познании есть критерии логические и эмпирические, но есть и эстетические факторы. Иными словами, имеется требование логической непротиворечивости (оно может в некоторых случаях ослабляться, но в той или иной мере всегда присутствует). Есть эмпирический критерий – отражение опыта, пригодность для практики. Эстетические критерии типа простоты и симметричности появляются в результате развития индуктивных методов.

В моделировании важную роль играют используемые числовые системы. Число содержит в себе важные глубинные закономерности познания. Используются натуральные, рациональные, вещественные, комплексные числа. В последнее время выявлена важность неархимедовых систем чисел. В частности, p -адических.

В моделировании большую эвристическую роль играют вероятность, симметрия, инвариантность, относительность, дополнительность. Кроме

того, используются вариационные принципы. Наряду с этим, важны понятия хаоса и самоорганизации.

Моделью может быть свертывание высказываний, их сжатие, проектирование, большой многомерной системы на многообразие малой размерности. Например, можно рассматривать модель (A, B) как проекцию множества A на множество B . Либо как пересечение множеств A и B (сечение). Либо как гомоморфизм. Важным качеством модели является ее гибкость, использование ассоциаций и образов.

Прежде всего, модель должна отражать основные черты рассматриваемого явления. Далее, модель должна быть разрешимой – в том смысле, что должна допускать конкретное практически интерпретируемое решение, сопоставимое с экспериментом и экспертизами. Нужна также устойчивость решений, полученных при анализе моделей. Выбор модели нужно обосновывать.

Между тем следующий этап работы с моделью – ее подгонка под реальность: настраиваются (путем обучения на прецедентах) параметры и структура модели. Возник новый класс задач, важный для практики – иногда эти решения называют «обратными»: когда задан ответ, и надо под этот ответ подобрать условия задачи, эта методика исключительно важна в проблематике прогнозирования.

2.2. Математические модели и методы распознавания в составе инструментов диагностики

После общего обсуждения моделирования стоит перейти ближе к моделям диагностики заболеваний, которые, в свою очередь, могут являться частью задачи распознавания.

Исходная конструкция для задач распознавания – вектор состояния объекта, это элемент линейного пространства состояний. В линейном пространстве выделяем допустимое множество, куда входят векторы

возможных в данной конкретной задаче состояний. Допустимое множество делится на классы, которые нам неизвестны. Задан только материал наблюдений: прецедентные подмножества классов. Задача дискриминантного анализа – построение функций заданного функционального класса, разделяющих прецедентные множества. Так как прецеденты заданы, эта задача еще называется задачей распознавания с учителем. В нашем подходе к этой задаче мы используем ее сведение к алгебраическим линейным неравенствам – это естественно, так как используется линейное пространство функций: любая функция из функционального класса разложима через базисные. Далее, так как такое сведение не гарантирует разрешимость задачи разделения множеств (мы можем выбрать слишком узкий класс функций), то система линейных неравенств может оказаться несовместной, и тогда мы применяем различные виды обобщений понятия решения. Принципиально важным являются такие обобщения как комитетные конструкции для систем неравенств и непосредственно для дискриминантного анализа [29].

Таксономия – распознавание без учителя, автоматическая классификация – надо найти разбиение множества на таксоны, когда прецедентных множеств нет. А есть только отношение близости между элементами пространства. Задачу таксономии можно свести к алгебраическим неравенствам, и тогда можно использовать комитетные конструкции. Таксономия оказывается двойственной к дискриминации.

Наконец, одна из важнейших задач – анализ признаков. Ее сейчас рассмотрим подробнее. Было замечено ранее, что, как правило, математической моделью является n -мерный вектор

$$x = [x_1, \dots, x_n].$$

Параметры, значениями которых являются числа x_1, \dots, x_n , называются признаками объекта. Для характеристики объектов можно выбирать различные системы признаков, и задача оценки информативности включает в себя нахождение оптимальной (с точки

зрения того или иного критерия оптимальности) системы признаков. В целом проблема разбивается на подзадачи: отбор полезных признаков из их первоначального списка, предложенного экспертами, преобразование признаков, оценка полезности подсистем признаков.

Отбор полезных признаков можно формализовать как задачу максимизации качества распознавания при условии, что стоимость измерения признаков укладывается в заданный бюджет, либо как задачу минимизации стоимости при заданном качестве распознавания [84].

Одна из важнейших задач преобразования признаков: построение так называемого спрямляющего преобразования, при котором новая система признаков позволяет разделять прецедентные множества гиперплоскостями.

Оценка признаков использует сравнение качества распознавания при наличии признака с качеством, получаемым, когда признак исключен.

Рассмотрим задачу разбиения и коррекции материала наблюдений. Предположим, что задано конечное множество X в пространстве R^n , представляющее собой материал наблюдений. Это множество надо разбить на три подмножества Y , Z , V , где Y , Z состоят из элементов, принадлежность которых к классам известна, но на одном множестве настраивается решающее правило, а на другом – контролируем его качество. Элементы подмножества V подлежат классификации на основе выработанных решающих правил. Элементы множеств можно корректировать в допустимых пределах с целью получения более простых решающих правил.

В экстраполяционном – геометрическом – подходе к распознаванию можно выделить следующие методы дискриминантного анализа:

- методы сведения дискриминации к линейному программированию и использование всего спектра методов линейного программирования, как конечных, так и бесконечных итерационных, среди которых наиболее важны фейеровские;

- метод исключения неизвестных;
- метод линейной коррекции, который можно выводить и как частный случай фейеровских методов и как один из методов обучения нейронных сетей;
- метод потенциалов, который фактически использует сведение к линейным неравенствам;
- методы вычисления оценок Ю.И. Журавлева;
- метод ближайшего соседа;
- метод комитетных конструкций;
- метод опорных функций;
- методы минимизации эмпирического риска;
- методы алгебры логики.

Среди методов таксономии можно выделить метод транзитивного замыкания отношения близости, метод сфер, метод максимальных совместных подсистем.

Методы анализа и вычисления информативности признаков можно, в основном, свести к двойственности (оценки признаков как объективно обусловленные оценки факторов и как коэффициентов градиента к разделяющей функции).

При решении задачи дискриминантного анализа мы по таблице данных (условиям задачи) получаем решающее правило диагностики. Оно не эквивалентно исходным данным, является их обобщением и потому содержит новую информацию. Однако фактически мы работаем с некоторой строгой математической моделью (отражающей характер обобщения), которая добавляется к исходным данным, а сама процедура вывода – лишь формальное преобразование данных и модели [55, 61].

Заметим, что если в явном виде представить (насколько это возможно) все блоки переработки информации, построения модели, экспертиз, работы со знаниями и суждениями экспертов, то получится схема нестационарных процессов оптимизации и классификации,

открывающая широкие возможности достаточно полного анализа постановок прикладных задач.

Базис дискриминационного анализа – теория и методы линейных неравенств [146], а объект, на который ориентированы методы распознавания, это неформализованные задачи. Системы линейных неравенств – это классический объект изучения в теоретической математике. Этот объект относится к разделу линейной алгебры. В частности, кроме задач оптимизации на основе аппарата линейных неравенств решаются задачи распознавания образов и настройки искусственных нейронных сетей. И вообще, с использованием линейных неравенств открываются широчайшие возможности математического моделирования в различных областях. Одна из особенностей современного этапа исследования линейных неравенств – изучение несовместных систем. Приложения такого подхода имеются буквально во всех областях науки, техники, экономики, информатики, и самое важное для нашего исследования, в диагностики заболеваний. Большое значение среди прикладных задач имеют те задачи оптимизации и распознавания, где важны выбор и диагностика, причем, как правило, эти задачи в их исходной прямой постановке противоречивы. Выбор и диагностика – два фундаментальных понятия в моделировании широкого круга явлений – физико-технических, экономических, социальных, медицинских и других. Эти понятия являются базисными и в теории принятия решений. Как правило, выбор и диагностика происходят при противоречивых условиях, и, значит, приходится анализировать несовместные системы неравенств. В этом случае нужны обобщения понятия решения. Пример такого обобщения – комитет. Комитет системы неравенств – такой набор элементов, что каждому неравенству удовлетворяет более половины элементов из этого набора. Комитетные конструкции – более общее понятие. Оно связано с минимальными по включению несовместными подсистемами системы линейных неравенств, с максимальными по

включению совместными подсистемами и с наборами решений этих подсистем.

Рассмотрим коалиции в задаче коллективного предпочтения. Пусть X - Множество вариантов, из которых нам надо выбрать – по некоторым критериям – определенный вариант x . Пусть проблемой такого выбора занимается набор экспертов или лиц, принимающих решения, набор C . В случае, когда выбор осуществляется на основе предпочтений, каждый член f набора C - это фактически бинарное отношение предпочтения $r(f)$. Это значит, что для некоторых $x, y \in X$ может иметь место утверждение $xr(f)y$, это значит: для f будет x предпочтительнее, чем y . Коллективное предпочтение $r = r(C)$ можно считать некоторой функцией от индивидуальных предпочтений: $r = \phi(r(f): f \text{ пробегает набор } C$. На первый взгляд такое предположение кажется естественным, но именно оно является источником дальнейших противоречий. Оказалось, что коллективное предпочтение не может быть универсальным правилом, оно зависит от конкретных вариантов x, y и от предпочтений $r(f)$. Иными словами, правило ϕ не может быть универсальным, оно должно быть локальным.

Вообще, исторически сформулировались три направления, приводящие к комитетным конструкциям:

1) направление, идущее от обобщения понятия решения, это началось с метода наименьших квадратов, потом были работы Чебышева по приближенным решениям систем линейных неравенств (приложения – в теории механизмов), затем работы Черникова [137, 138] и Еремина [36] по теории чебышевских приближений для несовместных систем линейных неравенств и, наконец, метод комитетов для таких систем;

2) от методов обучения нейронных сетей: у Розенблатта [119] были перцептроны с обучением в одном слое, что обеспечивало решение узкого класса задач, сводимых к линейному разделению конечных множеств; у Нильсона уже были эвристические методы обучения нейросетей в двух

слоях [19, 108], а затем метод комитетов позволил получить точные результаты и обоснованные процедуры обучения, которые позволяют решать широкий класс задач, сводимых к разделению конечных множеств с единственным требованием непустоты их пересечения.

3) Связано с процедурами голосования. В сфере голосования ситуация крайне сложна, и здесь на каждом шагу встречаются парадоксы. Показано [85], что противоречий удастся избежать в случае, когда решение задачи выбора сведено к серии задач классификации [112], и в этом случае метод комитетов дает хорошие результаты. Методу комитетов отвечает трехслойная нейронная сеть, и из теорем существования комитетов следует, что такую сеть можно обучить по прецедентам решению любой задачи, решение которой выражается словом в каком-либо конечном алфавите.

Приведем аргументы в пользу сведения принятия решений к сериям задач классификации. Близкая к этой задаче – задача многокритериальной оптимизации, для нее процедура коллективных решений является важнейшей в задачах выбора вариантов. Проблема принятия согласованных решений коллективом людей или коллективом решающих правил существовала в глубокой древности и будет существовать всегда. Однако оказалось, что нельзя априори предложить наиболее эффективную процедуру голосования. Она всегда зависит от конкретной ситуации и фактически при грамотном подходе превращается в процесс согласования интересов сторон – процесс, требующий большой аккуратности, чтобы не попасть в одну из многочисленных формальных ловушек. Фактически это игра нескольких лиц, где выигрывает тот, кто хорошо считает и использует малейшие просчеты партнеров.

Важное современное научное и практическое направление – распознавание – существеннейшим образом связано с линейными неравенствами. Задачи распознавания в общей формулировке – это задачи классификации и диагностики объектов или ситуаций произвольной

природы. Эти задачи можно характеризовать как задачи целесообразного разбиения на классы некоторых множеств. Тематика нейронных сетей также сильно связана с линейными неравенствами.

Считается важным решение задач эффективного выбора вариантов с учетом того обстоятельства, что экстремальность выбора не всегда отвечает сути проблемы [140]. То есть экстремальные задачи хороши для доказательства относительно простых (простых не в смысле техники доказательства, а в смысле жесткости предполагаемых условий) теорем: хотя логически они могут быть весьма сложными, но в них упрощение состоит в использовании жестко фиксированных предположений. А для жизни нужные «мягкие» постановки задач, например следующие.

1) Представить оптимизацию как распознавание – это даст новый взгляд на проблему эффективного выбора и, в частности, новое понимание теории двойственности в задачах принятия решений;

2) Представить «мягкую» оптимизацию как дискриминантный анализ – эта задача сложнее, чем первая, но она и важнее, ближе к сути принятия решений.

Двойственность связана с разделяющими функциями множеств. И в случае понимания оптимизации как дискриминантного анализа, двойственность воспринимается совершенно естественно с геометрической точки зрения. Можно это пояснить. Рассмотрим задачу: $\max g(x) \in D$. Выбрав число a , введем множество $G = \{x: g(x) > a\}$. Тогда задача оптимизации связана с задачей разделения множеств D и G некоторой поверхностью (в простейшем случае – гиперплоскостью). Коэффициенты разделяющей функции, задающей поверхность, дают приближенное решение задачи, двойственной к задаче оптимизации.

В случае мягкой оптимизации эта картина может быть только исходным пунктом [188]. Вся процедура становится более сложной, а роль распознавания не сводится к разделению множеств D и G . Здесь речь идет уже о нестационарных процессах, которые в какой-то степени

отталкиваются от давних концепций последовательного выбора кандидатов на решение, отсеивания неэффективных вариантов и постепенного приближения к тому реальному множеству, где может находиться истинное решение.

Противоречивые определения объектов и противоречивые модели иногда возникают в результате абсолютизации локальных свойств действительно существующих объектов. Другая возможная причина появления противоречивых моделей – наличие различных несогласованных источников информации, которая служит основой моделирования

Комитетные конструкции – некоторый класс обобщений понятия решения для задач, которые могут быть как совместными, так и несовместными. Это класс дискретных аппроксимаций для противоречивых задач (подразумевается, что традиционные приближения типа чебышевских – это непрерывные аппроксимации), их можно также соотнести с размытыми решениями. Метод комитетов в настоящее время определяет одно из направлений анализа и решения задач эффективного выбора вариантов, оптимизации, диагностики и классификации. Приведем для примера определение еще одной из основных комитетных конструкций, а именно для $0 < p < 1$: p -комитетом системы включений называется такой набор элементов, что каждому включению удовлетворяет более чем p -я часть этого набора [81].

Комитетные конструкции можно рассматривать и как некоторый класс обобщений понятия решения на случай несовместных систем уравнений, неравенств и включений, и как средство распараллеливания в решении задач выбора, диагностики и прогнозирования. Как обобщение понятия решения задачи, комитетные конструкции представляют собой наборы элементов, обладающими некоторыми (но, как правило, не всеми) свойствами решения, это вид размытых решений. Например, комитетные системы ограничений – это набор элементов, такой, что каждому

ограничению удовлетворяет более половины элементов из набора. Значение комитетов для систем линейных неравенств очевидно из следующей теоремы: конечная система линейных неравенств комитетно-разрешима тогда и только тогда, когда каждые два ее неравенства совместны. При этом комитетные методы показали свою работоспособность и получили формальное обоснование. Метод комитетов возник при исследовании сетей формальных нейронов, в дальнейшем стал средством реализации таких сетей и доказательства сходимости процессов обучения, настройки нейросетей на диагностику данных. Соответственно для теории разделимости множеств, играющей фундаментальную роль в выпуклом анализе, важна теорема о существовании разделяющего комитета аффинных функций. Если A, B - конечные множества в линейном пространстве, то для существования разделяющего аффинного комитета необходимо и достаточно, чтобы A и B не имели общих точек. Наконец, еще одно замечание: комитеты связаны с системами различных представителей для наборов множеств.

2.3. О сократимости числа членов комитета системы линейных неравенств с целью сокращению количества факторов, необходимых для диагностики заболеваний

Рассмотрим некоторые теоретические аспекты метода комитетов, имеющих применение в медицинской диагностике. Здесь основной темой является возможность сокращения комитета.

Вначале приведем несколько необходимых для дальнейшего сведений относительно понятия сократимости комитета.

Пусть во множестве X заданы подмножества D_1, D_2, \dots, D_m . Рассмотрим систему включений $x \in D_j \quad (j \in N_m)$ (1). Здесь и далее через N_m обозначается множество $\{1, 2, \dots, m\}$. Систему $x \in D_j \quad (j \in J)$ (2) для

произвольного $\emptyset \neq J \subseteq N_m$ назовем подсистемой с индексом J системы

(1). Подсистема (2) называется несовместной, если $\bigcap_{j \in J} D_j = \emptyset$.

В соответствии с этим определением можно рассматривать *максимальные* (по включению) *совместные подсистемы* и *минимальные* (по включению) *несовместные подсистемы* системы (1).

Определение 1. *Комитетом системы (1) называется конечная последовательность (набор) $Q = \{x^1, \dots, x^q\}$, $x^i \in X$, такая что $|\{i: x^i \in D_j\}| > \frac{q}{2}$ для каждого $j \in N_m$ [86].*

Определение 2. *Комитет $Q = \{x^1, \dots, x^q\}$, $x^i \in X$ системы (1) называется несократимым, если для любого $Q' \subseteq Q$ такого, что $Q' \neq Q$, Q' не является комитетом системы (1). В противном случае комитет Q называется сократимым.*

Определение 3. *Минимальным называется комитет с минимально возможным для данной системы числом членов. [135].*

Очевидно, что *всякий минимальный комитет несократим*. Обратное утверждение, вообще говоря, неверно. Приведем пример:

$$\begin{cases} 2x_2 + x_3 > 0 \\ 2x_1 + x_3 > 0 \\ x_1 + x_2 < 0 \\ 2x_3 < 0 \end{cases}$$

$K_1 = \{(0; -1; 3); (2; 2; -2); (2; -3; -2)\}$ – комитет системы

$K_2 = \{(1; 2; -1); (-2; 1; 0); (5; 4; -3); (-1; -2; 3); (-1; -2; -1)\}$ – комитет системы

Оба комитета несократимые, при этом первый минимальный, а второй нет.

Далее, пусть задана система (1) и набор $Q = \{x^1, \dots, x^q\}$, $x^i \in X$. Рассмотрим матрицу $A = \{a_{ij}\}$ размера $m \times q$, элементы которой определим следующим образом:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } x^j \in D_j, \\ -1, & \text{если } x^j \notin D_j. \end{cases}$$

Матрицу A будем называть *характеристической матрицей* данного набора Q . Обозначим через $b^1, \dots, b^q \in \mathbb{R}^m$ столбцы A .

Следующие два утверждения непосредственно следуют из определений комитета и несократимого комитета.

Утверждение 1 Набор Q является комитетом системы (1) $\Leftrightarrow b^1 + b^2 + \dots + b^q > \Theta$.

Утверждение 2 Набор Q – несократимый комитет системы (1) $\Leftrightarrow b^1 + b^2 + \dots + b^q > \Theta$ и не существует другого подмножества $\{b^{i_1}, b^{i_2}, \dots, b^{i_k}\}$ множества столбцов матрицы A , для которого выполнялось бы соотношение $b^{i_1} + b^{i_2} + \dots + b^{i_k} > \Theta$.

Таким образом, i -ому члену комитета соответствует i -ый столбец характеристической матрицы, поэтому мы будем говорить, что матрица A сократима на $b^{i_1}, b^{i_2}, \dots, b^{i_k}$, если соответствующий комитет $\{x^{i_1}, \dots, x^{i_k}\}$ сократим на $x^{i_1}, x^{i_2}, \dots, x^{i_k}$.

Почти всюду в дальнейшем мы будем рассматривать частный случай системы (1) – систему (3) строгих линейных неравенств: $(c_j, x) > 0$ ($j \in N_m$), где $x, c_j \in \mathbb{R}^n$. В соответствии с определением 1, комитетом системы (3) называется такое конечное множество (набор) $K \subset \mathbb{R}^n$, что каждому ее неравенству удовлетворяет более половины элементов множества K . Справедлива следующая теорема существования:

Теорема 1. Система (3) обладает комитетом тогда и только тогда, когда среди векторов c_j нет нулевых и противоположно направленных, при этом число членов ее минимального комитета не превосходит m [65].

Рассмотрим комитеты систем линейных неравенств над пространством \mathbb{R}^2 . Пусть задана система $(c_j, x) > 0$ ($j \in N_m$) (4), где $x, c_j \in \mathbb{R}^2$ и среди векторов c_j нет нулевых и противоположно направленных, то есть система (4) комитетно разрешима.

Мы уже показали, что несократимый комитет, вообще говоря, не является минимальным, однако если рассматривать систему (2), то можно указать условия, когда несократимый комитет является минимальным. Приведем и сформулируем эти условия в следующей теореме.

Теорема 2. *Любой комитет системы (4) над \mathbb{R}^2 либо содержит в качестве собственного подмножества некоторый комитет, представляющий собой минимальный, либо является таковым.*

Доказательство. Рассмотрим задачу дискриминантного анализа $DA(A, B, F)$, где A состоит из векторов c_j , $B = \emptyset$, а F – класс линейных функций. Покажем, что во всяком комитете, решающем эту задачу, присутствует в качестве подкомитета некоторый минимальный комитет. Для наглядности будем считать, что нормы всех комитетов c_j одинаковы и равны, например, единице (понятно, что такая задача эквивалентна предыдущей). Рассмотрим какую-нибудь гиперплоскость $H = \{x: (h, x) = 0\}$ такую, что на ней не лежит ни одна точка из множества A . Определим два множества A_1 и B_1 следующим образом: $A_1 = \{c \in \mathbb{R}^2 : c \in A \ \& \ (h, c) > 0\}$; $B_1 = \{c \in \mathbb{R}^2 : -c \in A \ \& \ (h, -c) < 0\}$.

Получим новую эквивалентную задачу: $DA(A_1, B_1, F)$. Зададим на H положительное направление. Тогда любая точка из A_1 и B_1 будет характеризоваться углом $\varphi \in (0; \pi)$ между радиус-вектором точки и выбранным направлением (рис. 6).

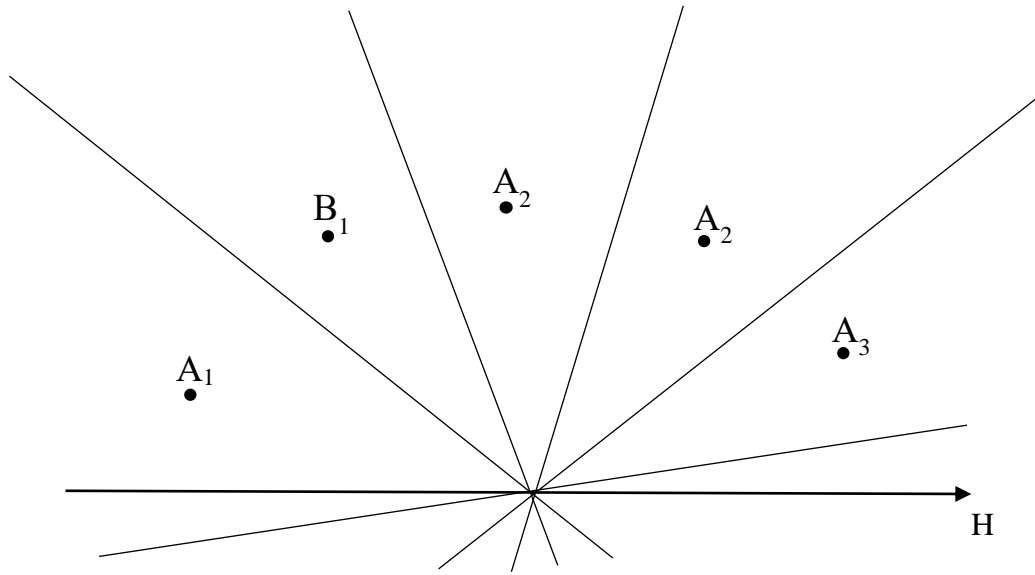


Рис 6.

Выстроим все точки в последовательность, упорядочив их по величине φ . Эту последовательность разобьем на группы, объединяя в отдельную группу подряд идущие точки из одного множества (A_i и B_i). Обозначим все группы по порядку: $A^1, A^2, B^1, B^2, \dots$. Всего не более m групп. Тогда, если у нас есть какой-то комитет, то для любой пары соседних точек, принадлежащих разным группам, в комитете должна существовать гиперплоскость их разделяющая, иначе эти точки будут отнесены к одному классу, чего быть не должно. А в случае, когда первая и последняя точки относятся к одному классу, должна еще существовать гиперплоскость, такая, чтобы обе эти точки лежали по одну сторону от нее. Осталось показать, что перечисленные гиперплоскости H_1, H_2, \dots, H_k образуют комитет. Заметим, что H_1, H_2, \dots, H_k разделяют сразу целые группы, таким образом, отдельную группу можно рассматривать как одну большую точку.

Рассмотрим какие-нибудь три подряд идущие группы: G^i, G^{i+1}, G^{i+2} . Тогда два члена комитета, которые определяются гиперплоскостями, разделяющими G^i, G^{i+1} и G^{i+1}, G^{i+2} , голосуют одинаково по группе G^{i+1} и противоположно по любой другой группе. Отсюда легко видеть, что за

каждую группу голосует более половины членов набора $\{H_1, H_2, \dots, H_k\}$, то есть гиперплоскости H_1, H_2, \dots, H_k образуют комитет. Теорема доказана.

Таким образом, над пространством \mathbb{R}^2 комитет является несократимым тогда и только тогда, когда он совпадает с некоторым минимальным комитетом. Отсюда, в частности, следует, что в несократимом комитете системы (4) присутствует не более m членов.

Замечание 1. В пространствах, большей размерности, чем \mathbb{R}^2 , теорема 2 может не выполняться. Для того, чтобы это показать, достаточно привести пример в пространстве \mathbb{R}^3 , или по-прежнему в \mathbb{R}^2 , но только если в качестве разделяющих брать не линейные, а аффинные функции. Приведем два примера (рис. 7).

В обоих случаях комитеты несократимы, в то же время, в первом примере множество A и B аффинно-разделимы, а во втором существует минимальный комитет, состоящий из трех членов.

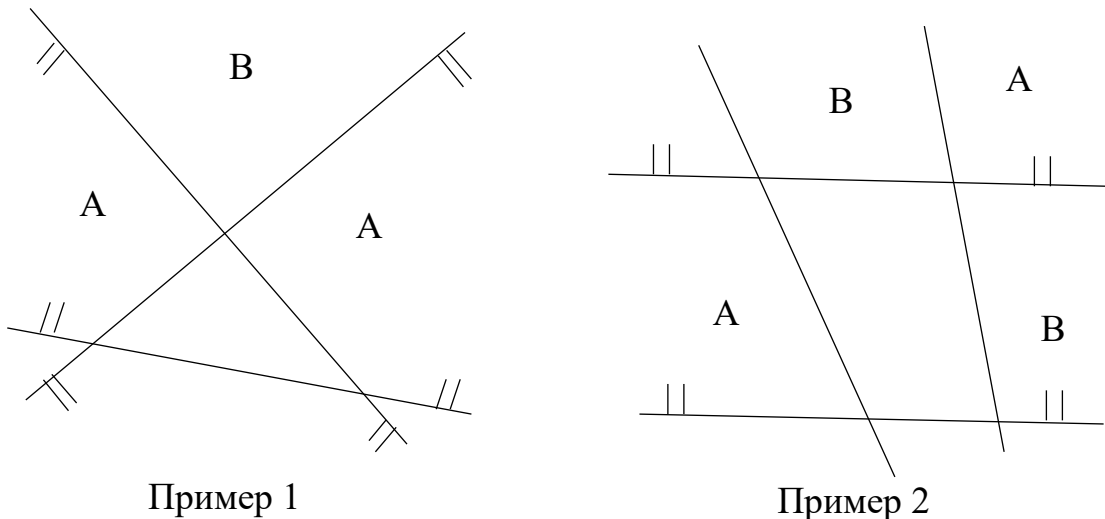


Рис. 7

Далее приведем еще одно свойство сократимого комитета в \mathbb{R}^2 .

Теорема 3. Пусть $Q=\{x^1, \dots, x^q\}$ – комитет системы (4), q – некоторое четное число. Тогда если Q сократим, то существуют такие номера s и r , что $Q \setminus \{x^s, x^r\}$ – комитет системы (4).

Доказательство. Рассмотрим характеристическую матрицу $A=\{a_{ij}\}$ размера $m \times q$. Выбросим из нее те строки, сумма элементов которых строго больше единицы. Очевидно, что полученная матрица B сократима на 2 столбца тогда и только тогда, когда A сократима на 2 столбца. Пусть b^1, b^2, \dots, b^q – столбцы матрицы B . Тогда $b^1 + b^2 + \dots + b^q = [1, 1, \dots, 1]^T$. По условию, существует $p \geq 1$ такое, что A (а значит и B) сократима на $2p+2$ столбца. Не нарушая общности, можно считать, что B сократима на $b^1, b^2, \dots, b^{2p+2}$, и что соответствующие данным столбцам точки комитета упорядочены по возрастанию полярного угла $\varphi \in [0; 2\pi)$.

Покажем, что B несократима на $2p$ столбцов. Предположим, что это не так.

Рассмотрим подмножество столбцов $B^1 = \{b^1, b^2, \dots, b^p, b^{p+2}, \dots, b^{2p+1}\}$. Так как из B нельзя выбросить B^1 , то существует $1 \leq i \leq m$ такое, что $a_{i1} + \dots + a_{ip} + a_{ip+2} + \dots + a_{i2p+1} \geq 2$.

Но B сократима на $B^1 = b^1, b^2, \dots, b^{2p+2}$, следовательно $b^1 + b^2 + \dots + b^{2p+2} \leq \Theta$, значит $a_{i1} + \dots + a_{ip} + a_{ip+2} + \dots + a_{i2p+1} \leq -a_{ip+1} - a_{i2p+2} \leq 2$.

Таким образом, $a_{i1} + \dots + a_{ip} + a_{ip+2} + \dots + a_{i2p+1} = 2$ & $a_{ip+1} = a_{i2p+2} = -1$, то есть среди чисел $a_{i1}, \dots, a_{ip}, a_{ip+2}, \dots, a_{i2p+1}$ ровно $p+1$ единица. Следовательно, существуют j и k , $1 \leq i < p+1 < k < 2p+2$ такие, что $a_{ij} = a_{ik} = 1$. Для наглядности будем считать, что все точки исходного комитета лежат на единичной окружности.

Имеем: $(c_i, x^j) > 0 \ \& \ (c_i, x^{p+1}) \leq 0 \ \& \ (c_i, x^k) > 0 \ \& \ (c_i, x^{2p+2}) \leq 0$, то есть гиперплоскость $H = \{x : (c_i, x^j) = 0\}$ разделяет множества $\{x^j, x^k\}$ и $\{x^{p+1}, x^{2p+2}\}$, но $\varphi(x^j) \leq \varphi(x^{p+1}) \leq \varphi(x^k) \leq \varphi(x^{2p+2})$, где φ – полярный угол, а значит хорды $[x^j, x^k]$ и $[x^{p+1}, x^{2p+2}]$ пересекаются. Противоречие.

Таким образом, показали, что из сократимости матрицы B на $2p+2$ столбца, следует ее сократимость на $2p$ столбцов. Следовательно, проводя аналогичные рассуждения, в конечном итоге получим, что матрица B , а значит матрица A сократима на 2 столбца. Теорема доказана.

Замечание 2. Из теорем 2 и 3 вытекает возможный алгоритм построения минимального комитета в двумерном случае, состоящий из двух этапов. На первом этапе с помощью какого-нибудь простого алгоритма [100] строим произвольный комитет системы (4). На втором этапе, последовательно сокращаем полученный комитет на 2 члена до тех пор, пока не получим несократимый комитет, который по теореме 2, будет являться минимальным комитетом системы (4).

Замечание 3. В общем случае, если рассматривать комитеты системы (1), заключение теоремы 2 неверно. Приведем пример. Рассмотрим матрицу A из $2k$ столбцов, строки которой представляют собой всевозможные перестановки k единиц и k минус единиц:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Припишем к A дополнительный столбец, состоящий из одних единиц. Тогда полученная матрица B будет сократима на $2k$ столбцов, в то же время для любого $q < 2k$, B нельзя будет сократить на q столбцов. Действительно, рассмотрим произвольное подмножество столбцов

$\{b^{i1}, b^{i2}, \dots, b^{iq}\}$. Тогда, очевидно, найдется номер j , такой, что среди j -ых координат векторов $b^{i1}, b^{i2}, \dots, b^{iq}$ более половины единиц, а значит данное подмножество столбцов нельзя выбросить из B не нарушив при этом ее комитетность.

Таким образом, в случае с комитетом линейной системы в \mathbb{R}^2 ситуация проста. Однако напрямую предложенный алгоритм поиска минимального комитета в \mathbb{R}^n применить нельзя [181]. Более того, приведем простой пример, когда метод исключения любого неизвестного приводит систему, имеющую комитет, к системе без комитета.

Пример в пространстве \mathbb{R}^n :

$$\begin{cases} x_1 + x_2 + \dots + x_{n-1} > 0, \\ -x_1 - x_2 - \dots - x_{n-1} + x_n > 0, \\ -x_n > 0. \end{cases}$$

Для наглядности, рассмотрим **пример** в пространстве \mathbb{R}^3 :

$$\begin{cases} x_1 + x_2 > 0 \\ -x_1 - x_2 + x_3 > 0 \\ -x_3 > 0 \end{cases}$$

$K = \left\{ \left(1; -\frac{1}{2}; 1\right)^T; (-1; -1; -1)^T; (2; 0; -1)^T \right\}$ - комитет системы.

Тем не менее, после проектирования на плоскость $L: x_1 - x_2 - x_3 = 0$ векторы нормалей превращаются в $\hat{a} = (1; 1; 0)$, $\hat{b} = (-2/3; -4/3; 2/3)$, $\hat{c} = (1/3; 1/3; -2/3)$, а в базисе $s_1 = (1; 1; 0)$, $s_2 = (0; -1; 1)$ этой плоскости L система превращается в следующую:

$$\begin{cases} u_1 > 0 \\ -u_1 + u_2 > 0 \\ -u_1 - 2u_2 > 0, \end{cases}$$

которая комитет уже имеет.

Проекция на плоскость L задается соотношением

$$P_L(z) = (E - A^T(AA^T)^{-1}A) \cdot z, \text{ где } A = (1; -1; -1)$$

Таким образом, стоит вопрос, как в общем случае строить преобразование F из \mathbb{R}^n в \mathbb{R}^2 . Рассмотрим вопрос о сократимости комитетов системы (3), получающихся в результате применения некоторых известных алгоритмов.

Рассмотрим алгоритм построения комитета, в котором применяется следующий метод проектирования на плоскость [97]. Системе (3) ставится в соответствие система $(c_j F, y) > 0$ ($j \in N_m$), (5), где F – линейное отображение $\mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^2$ такое, что система (5) не противоречива. Тогда, если $K = \{y^1, \dots, y^q\}$ – комитет систему (5), то множество $Q = \{y^1 F^T, \dots, y^q F^T\}$ является комитетом системы (3), так как $(c_j F, y^i) = (c_j, y^i F^T)$.

Из последнего равенства следует, что у комитетов R и Q одинаковые характеристические матрицы. Таким образом, комитет Q будет несократимым тогда и только тогда, когда K – минимальный комитет системы (5) согласно теоремы 2.

Рассмотрим теперь алгоритм построения комитета системы (3), основанный на доказательстве теоремы существования [86], [87]. Он заключается в следующем. Для каждого вектора c_j ищется точка x^j такая, что $(c_j, x^j) = 0$, $(c_i, x^j) \neq 0$ ($i \neq j$). Тогда множество $Q = \{x^1 + \varepsilon c_1, -x^1 + \varepsilon c_1, \dots, x^m + \varepsilon c_m, -x^m + \varepsilon c_m\}$ при достаточно малом ε , является комитетом системы (3). Справедливо следующее

Утверждение 3. Полученный комитет Q сократим не менее чем на m членов.

Доказательство. Рассмотрим соответствующую характеристическую матрицу $A = \{a_{ij}\}$ размера $m \times 2m$. Она будет иметь

следующую структуру: $a_{i2i-1} = a_{i2i} = 1$, $a_{i2j-1} = a_{i2j}$ ($i \neq j$). Пусть b^1, b^2, \dots, b^{2m} - столбцы матрицы A . Найдем среди них столбец $b^k = [a_{1k}, a_{2k}, \dots, a_{mk}]^T$ с наименьшим числом минус единиц. Очевидно, $b^k \leq [1, 1, \dots, 1]^T$. Пусть $a_{pk} = -1$ для некоторого p . Тогда рассмотрим вектор $d_1 = b^k + b^{2p-1} + b^{2p}$. Он отличается от b^k только по p -ой координате: (у b^k на p -ом месте стоит -1 , а у d_1 на p -ом месте стоит $+1$). Следовательно, $b^k \leq d_1 \leq [1, 1, \dots, 1]^T$. Если существует такое q , то q -ая координата вектора d_1 равна -1 , то рассмотрим вектор $d_2 = b^k + b^{2p-1} + b^{2p} + b^{2q-1} + b^{2q}$, для которого будет справедливо: $d_1 \leq d_2 \leq [1, 1, \dots, 1]^T$. И так далее.

В конечном итоге, мы получим вектор $d = [1, 1, \dots, 1]^T$, являющийся суммой некоторых столбцов матрицы A . Но тогда эти столбцы, а точнее оставляющие им члены исходного комитета, сами образуют комитет. Осталось посчитать количество членов в новом комитете. Так как в качестве b^k мы брали столбец с наименьшим числом минус единиц, то этих минус единиц в нем не более $(m-1)/2$. Таким образом, в новом комитете содержится не более $1 + 2(m-1)/2 = m$ членов, то есть мы сократили исходный комитет как минимум наполовину. Утверждение доказано.

Замечание 4. Из доказанного утверждения вытекает простой алгоритм построения комитета системы (3) с числом членов, не превосходящим числа неравенств в системе. Это дает еще одно доказательство теоремы об оценке числа членов минимального комитета [135]. Более того, эту оценку можно несколько уточнить, а именно, справедливо:

Следствие. Если существует максимальная совместная подсистема система (3), число неравенств в которой равно p , то число членов минимального комитета системы (3) не превосходит $1 + 2(m-p)$.

Приведем общий алгоритм нахождения минимального подкомитета.

Пусть задана система включений (1) и некоторый комитет $Q = \{y^1, \dots, y^q\}$. Требуется найти минимальное по количеству элементов подмножество $Q' \subseteq Q$ такое, что Q' также является комитетом системы (1). Рассмотрим характеристическую матрицу A комитета Q .

Сделаем одно предположение, а именно: предположим, что $b^1 + b^2 + \dots + b^q = [1, 1, \dots, 1]^T$, где b^1, b^2, \dots, b^q - столбцы A , то есть по каждому пункту комитет голосует с минимальным преимуществом, отсюда, в частности, следует, что в таком комитете присутствует нечетное число членов. При этом предположении справедливо:

Утверждение 4. Матрица A сократима $\Leftrightarrow \{b^{i1}, b^{i2}, \dots, b^{ik}\} \subset \subset \{b^1, b^2, \dots, b^q\} : b^{i1} + b^{i2} + \dots + b^{ik} \leq \Theta$.

Действительно, матрица A сократима $\Leftrightarrow b^{i1} + b^{i2} + \dots + b^{ik} > \Theta$ ($k < q$) $\Leftrightarrow b^{i1} + b^{i2} + \dots + b^{ik} \geq [1, 1, \dots, 1]^T \Leftrightarrow \{d^1, d^2, \dots, d^{q-k}\} = \{b^1, b^2, \dots, b^q\} \setminus \{b^{i1} + b^{i2} + \dots + b^{ik}\}$.

Итак, в дальнейшем будем считать, что $b^1 + b^2 + \dots + b^q = [1, 1, \dots, 1]^T$.

Теорема 4. (достаточное условие несократимости). Если система линейных неравенств $A^T x > \Theta$ имеет решение $x \in \mathbb{R}^n$ такое, что $x \geq \Theta$, то A несократима.

Доказательство. Проведем его методом от противного. Пусть A сократима. Тогда существует $\{b^{i1}, b^{i2}, \dots, b^{ik}\} \subset \{b^1, b^2, \dots, b^q\} : b^{i1} + b^{i2} + \dots + b^{ik} \leq \Theta$. Не нарушая общности, можем считать, что $b^1 + b^2 + \dots + b^k \leq \Theta$.

Это означает, что:

$$p_1 = a_{11} + a_{12} + \dots + a_{1k} \leq 0,$$

$$p_2 = a_{21} + a_{22} + \dots + a_{2k} \leq 0,$$

.....

$$p_m = a_{m1} + a_{m2} + \dots + a_{mk} \leq 0.$$

Но по условию, существует $[x^1, x^2, \dots, x^m]^T \geq \Theta$ такой, что $\forall 1 \leq i \leq q$

$a_{1i}x^1 + a_{2i}x^2 + \dots + a_{mi}x^m > 0$. Следовательно, суммируя по i от 1 до k получаем:

$p_1x^1 + p_2x^2 + \dots + p_mx^m > 0$. Это противоречит тому, что

$\forall j \quad x^j \geq 0 \ \& \ p_j \leq 0$. Теорема доказана.

Далее докажем некоторое вспомогательное утверждение, с помощью которого, мы сможем показать, что теорема 4 не даёт необходимого условия.

Лемма 1. Система $(d_j, x) > 0, (j \in N_m)$ с целочисленными векторами d_j имеет решение $[x^1, x^2, \dots, x^m]^T \geq \Theta \iff \forall \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ - неотрицательных целых чисел, из условия: $\lambda_1 d_1 + \lambda_2 d_2 \dots + \lambda_m d_m \leq \Theta$ следует, что $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_m = 0$.

Доказательство. Прежде всего, заметим, что из непрерывности скалярного произведения следует, что система $(d_j, x) > 0, (j \in N_m)$ (или в матричном виде $Dx > \Theta$) имеет неотрицательное решение тогда и только тогда, когда она имеет строго положительное решение, а последнее эквивалентно тому, что система $\begin{pmatrix} D \\ E \end{pmatrix} y > \Theta$ - совместна, где E – единичная матрица. Тогда из теоремы Карвера [132] легко получаем утверждение леммы.

Замечание 5. Теорема 4 не даёт необходимого условия несократимости матрицы. Пример:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix}.$$

Легко проверить непосредственно, что данная матрица несократима, вместе с тем выполняется соотношение: $b^1 + b^2 + b^3 + b^4 + 2b^5 = \Theta$, следовательно, по лемме 1, система $A^T x > \Theta$ не может иметь положительного решения.

Приступим теперь, непосредственно, к описанию алгоритма. Рассмотрим систему линейных неравенств $(E|A)^T x > \Theta$.

Будем решать ее методом свертывания С.Н. Черникова [137, 138]. В результате применения этого метода мы получим полную фундаментальную свертку системы (6). Она может оказаться пустой, тогда система (6) совместна, и по теореме 4 мы делаем вывод, что матрица A несократима. Но может оказаться так, что полная фундаментальная свертка системы (6) непуста. Тогда, как показывает предыдущий пример, это еще означает, что A сократима, и нужно проводить дальнейшее исследование.

Известно, что индексы несовместных неравенств, входящих в полную фундаментальную свертку исходной системы, суть индексы всех ее v -подсистем [82]. Пусть неравенства исходной системы (6) перенумерованы: $1_A, 2_A, \dots, q_A, 1_E, 2_E, \dots, m_E$. Будем считать, что индекс J любой ее подсистемы состоит из двух частей: $J = J^A \cup J^E$. При этом, J^A назовем *собственным индексом* данной подсистемы. Если для какого-то подмножества $\{b^{i_1}, b^{i_2}, \dots, b^{i_k}\}$ столбцов матрицы A выполняется

$b^{i1} + b^{i2} + \dots + b^{ik} \leq \Theta$, то подсистема с индексом $J = \{i1_A, i2_A, \dots, ik_A\} \cup \{1_E, 2_E, \dots, m_E\}$, по лемме 1 будет несовместной. Следовательно, $J \supseteq J_\nu$, где J_ν - индекс некоторой ν - подсистемы, а значит $\{i1_A, i2_A, \dots, ik_A\} \supseteq J_\nu^A$. Таким образом, перебирая все подсистемы, собственные индексы которых содержат собственный индекс хотя бы одной ν - подсистемы, мы ответим на вопрос о сократимости матрицы A .

Посмотрим, как будет работать алгоритм на предыдущем примере. Приписываем сбоку к матрице A единичную матрицу 8×8 и решаем систему (6). В результате свертывания (можно проверить) мы получаем единственное неравенство: $0 > 0$, с индексом $J = \{1_A, 2_A, 3_A, 4_A, 5_A\} = J^A \cup \emptyset$. Теперь, проверяя подмножество столбцов с номерами: J , $J \cup \{6_A\}$ и $J \cup \{7_A\}$, мы приходим к выводу, что A – несократима.

Вообще говоря, перебор по всем несовместным подсистемам может оказаться довольно долгой процедурой (особенно, когда ν - подсистем много и они маленькие), поэтому хотелось бы его как-то сократить.

Лемма 2. Пусть есть множество векторов $M_1 = \{a_1, \dots, a_m\}$ и его собственное подмножество $M_2 = \{a_1, \dots, a_k\}$. Предположим, что существуют такие $\mu_1, \dots, \mu_m, \lambda_1, \dots, \lambda_k$ - положительные целые числа, такие что

$$\mu_1 a_1 + \dots + \mu_k a_k + \mu_{k+1} a_{k+1} + \dots + \mu_m a_m = \Theta \quad (*)$$

$$\lambda_1 a_1 + \dots + \lambda_k a_k = \Theta \quad (**)$$

Тогда существует подмножество $M_3 = \{a_{i_1}, \dots, a_{i_q}\} \subseteq M_1$, не содержащее M_2 , и существует η_1, \dots, η_q - положительные целые числа такие, что $\eta_1 a_{i_1} + \dots + \eta_q a_{i_q} = \Theta$.

Доказательство. Рассмотрим $\min\{\mu_1 / \lambda_1, \dots, \mu_k / \lambda_k\}$. Можно считать, что этот минимум достигается на $\mu_1 / \lambda_1 = \mu_2 / \lambda_2 = \dots = \mu_s / \lambda_s$. Тогда, умножая равенство (*) на λ_1 , а равенство (**) на μ_1 и вычитая из первого второе, получим $t_{s+1}a_{s+1} + \dots + t_k a_k + \mu_{k+1}a_{k+1} + \dots + \mu_m a_m = \Theta$, где $t_j = \lambda_1 \mu_j - \lambda_j \mu_1 > 0$. Положим $M_3 = \{a_{s+1}, \dots, a_m\}$ и лемма доказана.

При помощи этой леммы мы сейчас докажем утверждение, которое позволит существенно сократить перебор в алгоритме. Итак, справедливо

Утверждение 5. Пусть для какого-то подмножества $\{b^{i1}, b^{i2}, \dots, b^{ik}\}$ столбцов матрицы A выполняется $b^{i1} + b^{i2} + \dots + b^{ik} \leq \Theta$. Тогда $\{i1_A, i2_A, \dots, ik_A\} = J_1^A \cup J_2^A \cup \dots \cup J_p^A$, где $J_1^A, J_2^A, \dots, J_p^A$ - собственные индексы ν -подсистем системы (6).

Доказательство. Не нарушая общности, будем считать, то для $\{b^1, b^2, \dots, b^k\}$ выполняется: $b^1 + b^2 + \dots + b^k \leq \Theta$. Тогда существуют такие положительные числа $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_s$, что $b^1 + b^2 + \dots + b^k + \mu_1 e^{i1} + \mu_2 e^{i2} + \dots + \mu_s e^{is} = \Theta$, где $e^{i1}, e^{i2}, \dots, e^{is}$ - некоторые столбцы матрицы E .

Пусть $J_1^A, J_2^A, \dots, J_p^A$ - собственные индексы тех и только тех ν -подсистем системы (6), индексы которых содержатся в $\{1_A, 2_A, \dots, k_A\} \cup \{i1_E, i2_E, \dots, is_E\}$. Тогда, очевидно, выполняется включение: $\{1_A, 2_A, \dots, k_A\} \supseteq J_1^A \cup J_2^A \cup \dots \cup J_p^A$. Покажем, что $\{1_A, 2_A, \dots, k_A\} \subseteq J_1^A \cup J_2^A \cup \dots \cup J_p^A$.

Докажем методом от противного. Без ограничения общности, предположим: $1_A \notin J_1^A \cup J_2^A \cup \dots \cup J_p^A$. Рассмотрим первую ν -подсистему, то есть ту, собственный индекс которой J_1^A . Пусть $\{d_1, d_2, \dots, d_r\}$ - то подмножество столбцов расширенной матрицы $(E|A)$, которое соответствует индексу первой ν -подсистемы. Тогда $\{d_1, d_2, \dots, d_r\}$

$\subseteq \{b^1, b^2, \dots, b^k, e^{i1}, e^{i2}, \dots, e^{iS}\}$, причем среди d_1, d_2, \dots, d_r нет вектора b_1 . Так как d_1, d_2, \dots, d_r отвечают несовместной подсистеме, то $\lambda_1 d_1 + \lambda_2 d_2 + \dots + \lambda_r d_r = \Theta$, где коэффициенты – целые положительные числа. Применив лемму 2, мы получим новое множество M_1 , которое будет обладать следующими свойствами:

1) M_1 содержится в $\{b^1, b^2, \dots, b^k, e^{i1}, e^{i2}, \dots, e^{iS}\}$ и не содержит $\{d_1, d_2, \dots, d_r\}$.

2) $b^l \in M_1$ (b^l не мог сократиться).

3) M_1 по-прежнему определяет некоторую несовместную подсистему системы (6), так как положительная комбинация векторов из M_1 равна Θ .

Рассмотрим вторую ν - подсистему (собственный индекс которой J_2^A). Если она не содержится в M_1 , то ничего делать не надо, а если содержится, то снова применим лемму 2 и получим непустое множество $M_3 \subseteq M_2$. И так далее. Не позже, чем через r шагов, у нас будет непустое (благодаря вектору b^l) множество $M_p \subseteq \{b^1, b^2, \dots, b^k, e^{i1}, e^{i2}, \dots, e^{iS}\}$, определяющее некоторую несовместную подсистему, которая не содержит ни одну из перечисленных выше ν - подсистем (индексы которых содержатся в $\{1_A, 2_A, \dots, k_A\} \cup \{i1_E, i2_E, \dots, iS_E\}$). Но, так как M_p все же содержит какую-то ν - подсистему, то последняя будет содержаться в $\{b^1, b^2, \dots, b^k, e^{i1}, e^{i2}, \dots, e^{iS}\}$. Противоречие. Утверждение доказано.

Замечание 6. Вспомним, что все наши рассуждения основывались на предположении, что $b^1 + b^2 + \dots + b^q = [1, 1, \dots, 1]^T$. Откажемся теперь от этого предположения, то есть будем считать, что у нас есть произвольная матрица A , состоящая из 1 и -1 , а мы хотим выделить из нее комитет, если такой существует. Эту общую задачу можно свести к предыдущей, например, следующим образом. Припишем к матрице A дополнительные

столбцы так, чтобы вновь получившаяся матрица A_1 обладала свойством $b^1 + b^2 + \dots + b^{q_1} = [1, 1, \dots, 1]^T$. Далее применяем описанный выше алгоритм с одним изменением: получив все ν -подсистемы системы $(E | A_1)^T x > \Theta$, мы рассматриваем только те их объединения, индексы которых содержат номера всех дополнительных столбцов. Так, что если мы найдем подмножество столбцов матрицы A_1 , которое можно выбросить из нее, чтобы оставшаяся часть была комитетом, то эта оставшаяся часть будет частью исходной матрицы A .

Замечание 7. С помощью описанного алгоритма можно решать задачу целочисленного линейного программирования, возникающую при поиске минимального комитета системы (3). Действительно, найдя индексы I_1, I_2, \dots, I_q всех μ -подсистем системы (3), мы рассмотрим матрицу $A = \{a_{ij}\}$ размера $m \times q$, элементы которой определим следующим образом:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i \in I_j, \\ -1, & \text{если } i \notin I_j. \end{cases}$$

Продублируем каждый столбец m раз (в соответствии с оценкой числа членов минимального комитета), получим новую матрицу A_1 размера $m \times mq$. Выделив из A_1 минимальный подкомитет, мы тем самым найдем минимальный комитет системы (3).

2.4. Комитетные конструкции для систем нелинейных неравенств и для бесконечных систем линейных неравенств

Комитетные конструкции, в число которых входят – в качестве основных – минимальные несовместные подсистемы (ν -подсистемы) и максимальные совместные подсистемы (μ -подсистемы), хорошо изучены для конечных систем линейных неравенств: доказаны теоремы существования, предложены и обоснованы методы построения [54, 85, 86,

87], реализованные в пакете «КВАЗАР» [114, 115], даны приложения направлений в математическом программировании [79, 85, 91, 95, 123] и в распознавании образов [34, 35, 36, 38, 39, 48, 56, 65, 69, 106], решены конкретные практические задачи [67, 68, 92, 94, 103, 111, 118, 122, 126, 136, 142]. Некоторые результаты получены и для нелинейных систем [22, 62, 125].

Однако такая весьма важная для приложений в распознавании и диагностике задача, как задача нахождения всех μ -подсистем системы нелинейных неравенств, исследована недостаточно, плохо обеспечена обоснованными алгоритмами, для нее не подготовлено программное обеспечение.

Актуальность этого направления для математического программирования понятна, так как несобственные задачи возникают не только в линейном программировании. В частности, совершенно естественно и полезно изучать дискретные аппроксимации для несобственных задач выпуклого программирования.

Конечные системы выпуклых неравенств сводятся разными способами к бесконечным системам линейных неравенств, в совокупности всех μ - и ν -подсистем для таких бесконечных систем. Точнее, необходимо исследовать цепочку аппроксимаций: система выпуклых неравенств аппроксимируется бесконечной системой линейных неравенств [192, 193], эта система – счетной системой линейных неравенств, а последняя – конечной системой линейных неравенств. Необходимо исследовать соотношение между ν - и μ -подсистемами, комитетами и минимальными комитетами этих систем [133, 134].

Задача распознавания образов непосредственно связана с бесконечными системами линейных неравенств: в непрерывном случае

обучающие выборки потенциально бесконечны, а сами образы представляют собой бесконечные множества.

Для нахождения ν -подсистем можно использовать метод свертывания. Этот метод предложен и использован С.Н. Черниковым [138] для случая произвольных (не обязательно совместных) конечных систем линейных неравенств и для случая совместных полиэдрально замкнутых бесконечных систем линейных неравенств.

Ограничения, входящие в модель планирования (проектирования, управления) имеют приоритеты, различную степень эластичности; в частности, в системе ограничений можно выделить директивные и факультативные. В связи с этим необходимо находить μ -подсистемы методом свертывания для некоторой области значений параметра t для системы

$$\langle c_\alpha, x \rangle - \beta_\alpha \leq \gamma_\alpha t (\forall \alpha \in A),$$

где γ_α - коэффициент эластичности.

Кроме метода свертывания, как правило, связанного с использованием большого объема памяти, необходимо иметь и более простые алгоритмически и программно-реализованные методы.

Исследование множеств μ -подсистем для различных классов задач и изучение возможности построения достаточно эффективных комитетных конструкций из решений таких подсистем может пролить некоторый свет на природу соответствующих реальных задач.

Принципиальная схема метода анализа μ -подсистем системы выпуклых неравенств может иметь следующий вид.

1. Системе выпуклых неравенств

$$\langle c_{j\alpha_j}, x \rangle - b_{j\alpha_j} \leq 0 \quad (\forall j \in \overline{1, m}, \forall \alpha_j \in A_j) \quad (7)$$

соответствует бесконечная система линейных неравенств

$$\langle c_{j\alpha_j}, x \rangle - b_{j\alpha_j} \leq 0 \quad (\forall j \in \overline{1, m}, \forall \alpha_j \in A_j) \quad (8)$$

Это может быть сделано многими способами.

2. Система (8) аппроксимируется некоторой конечной системой линейных неравенств

$$\langle c_j, x \rangle - b_j \leq 0 \quad (\forall j \in \overline{1, k}) \quad (9)$$

3. Находим все ν - и μ -подсистемы системы (9), по ним - все ν - и μ -подсистемы (8) и по последним - все ν - и μ -подсистемы системы (7).

Рассмотрим подробнее первый этап этой схемы.

Пусть функции f_j выпуклые, дифференцируемые. Системе (7) поставим в соответствие систему

$$\langle \nabla f_j(p), x - p \rangle + f_j(p) \leq 0 \quad (\forall p \in R^n, \forall j \in \overline{1, m}) \quad (10)$$

Каждому неравенству системы (10) отнесем его индекс (p, j) .

Положим A – множество решений системы (8), B – множество решений системы (10).

Теорема. Если f_j выпуклы и дифференцируемы, то справедливы следующие утверждения:

а) $A = B$.

б) Если $\{(p, j): p \in R^n, j \in J\} = R^n \times J$ – индекс некоторой μ -подсистемы системы (10), то J – индекс некоторой μ -подсистемы системы (7).

с) Если J – индекс некоторой μ -подсистемы системы (7), то $R \times J$ – индекс некоторой совместной (но не обязательно максимальной

совместной) подсистемы системы (10), причем $\forall s \notin J: R^n \times (J \cup \{s\})$ - индекс несовместной подсистемы.

д) Если $R^n \times J$ - индекс некоторой ν -подсистемы (10), то J - индекс ν -подсистемы системы (7).

е) Если J - индекс некоторой ν -подсистемы для (7), то $J \times R^n$ может не быть индексом ν -подсистемы для (10), но $J \times R^n$ - индекс несовместной подсистемы.

ф) Если K - комитет системы (10), то K - может не быть комитетом системы (7). Если же K - комитет системы (7), то K - комитет системы (10).

Доказательство. а). Пусть $\bar{x} \in A$. Так как f_j выпуклы, то $\forall p \in R^n$:

$$\langle \nabla f_j(p), \bar{x} - p \rangle \leq f_j(\bar{x}) - f_j(p) \leq -f_j(p),$$

т. е. \bar{x} удовлетворяет системе (10).

Пусть теперь $\bar{x} \in B$. Зафиксируем любое $j \in \overline{1, m}$. Надо доказать, что $f_j(\bar{x}) \leq 0$. Предположим противное: $f_j(\bar{x}) > 0$. Тогда для $p = \bar{x}$

$$\langle \nabla f_j(p), \bar{x} - p \rangle + f_j(p) > 0$$

есть противоречие.

б). Пусть $\{(p, j): p \in R^n, j \in J\} = R^n \times J$ - индекс некоторой μ -подсистемы системы (10). Тогда

$$\exists \bar{x} \in R^n: \langle \nabla f_j(p), \bar{x} - p \rangle + f_j(p) \leq 0 (\forall j \in J, \forall p \in R^n).$$

Отсюда, как и выше, получаем $f_j(\bar{x}) \leq 0$ ($\forall j \in J$).

Кроме того, $\forall \bar{p} \in R^n, \forall s \notin J$ система

$$f_j(x) \leq 0 (\forall j \in J), \quad \langle \nabla f_s(\bar{p}), x - \bar{p} \rangle + f_s(\bar{p}) \leq 0$$

несовместна. Действительно, пусть, напротив,

$$\exists \bar{x} \in M(J): f_s(x) \leq 0.$$

Так как $\bar{x} \in M(J)$, то $\langle \nabla f_s(\bar{p}), \bar{x} - \bar{p} \rangle + f_s(\bar{p}) > 0$. Но $f_s(\bar{p}) \leq 0$ влечет противоречие

$$\langle \nabla f_s(\bar{p}), \bar{x} - \bar{p} \rangle + f_s(\bar{p}) \leq f_s(\bar{x}) \leq 0.$$

с). Пусть J - индекс некоторой μ -подсистемы системы (7). $R^n \times J$ - индекс совместной подсистемы системы (10), так как очевидно, что система

$$\langle \nabla f_j(p), x - p \rangle + f_j(p) \leq 0 \quad (\forall p \in R^n, \forall j \in J)$$

совместна.

Однако, вообще говоря, $R^n \times J$ не обязательно есть индекс μ -подсистемы системы (10). Например, если система (7) имеет вид $x_1^2 + x_2^2 \leq 1$ (индекс $j = 1$), $x_2^2 + (x_1 - 10)^2 \leq 1$ (индекс $j = 2$), то $J = \{1\}$ - индекс ее μ -подсистемы, но система

$$\left. \begin{aligned} 2p_1(x_1 - p_1) + 2p_2(x_2 - p_2) + p_1^2 + p_2^2 - 1 \leq 0 \quad (\forall p \in R^n), \\ \langle \nabla f_2(p), x - p \rangle + f_2(p) \leq 0 \end{aligned} \right\}$$

совместна при $p = (20, 0)$.

d). Пусть $R^n \times J$ - индекс ν -подсистемы (10). Тогда очевидно, что J - индекс не-какой-либо несовместной подсистемы системы (7).

Если $J' \subset J$ и J' - индекс несовместной подсистемы (7), то $R^n \times J'$ - индекс не-совместной подсистемы (10).

e). Пусть J - индекс ν -подсистемы системы (7). Приведем пример, показывающий, что $J \times R^n$ может не быть индексом ν -подсистемы для системы (10):

$$f_1(x) = x_1^2 + x_2^2 - 1, f_2(x) = (x_1 - 10)^2 + x_2^2 - 1$$

Индекс μ -подсистемы для системы (7) в данном примере: $j = \{1,2\}$.

Система

$$\begin{cases} \langle \nabla f_1(p), x - p \rangle + f_1(p) \leq 0 (\forall p \in R^n), \\ \langle \nabla f_2(p), x - p \rangle + f_2(p) \leq 0 (\forall p \in R^n) \end{cases}$$

несовместна, она не минимальная несовместная, так как ее подсистема

$$\begin{cases} \langle \nabla f_1(p), x - p \rangle + f_1(p) \leq 0 (\forall p \in R^n), \\ \langle \nabla f_2(\bar{p}), x - \bar{p} \rangle + f_2(\bar{p}) \leq 0 (\bar{p} = (5,0)) \end{cases}$$

несовместна.

Наконец тот факт, что если J - индекс некоторой μ -подсистемы(10), то $J \times R^n$ - индекс несовместной подсистемы системы(10), следует из уже доказанного утверждения а).

г). Приведем пример, показывающий, что комитет системы (10) может не быть комитетом системы (7). Пусть система (7) состоит из двух неравенств

$$x_1 \geq 0, x_1^{-1} - x_2 \leq 0.$$

$$\text{Здесь } f_1(x) = -x_1, f_2(x) = x_1^{-1} - x_2; \nabla f_2(p) = (-p_1^{-2}, -1).$$

Система(10):

$$-x_1 \leq 0, -\frac{x_1}{p_1^2} - x_2 + \frac{2}{p_1} \leq 0 (\forall p \in R^2).$$

Комитет системы (10):

$$K = \left\{ \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right), \left(\frac{2}{3}, \frac{2}{3} \right), \dots, \left(\frac{k}{k+1}, \frac{k}{k+1} \right), \dots \right\}.$$

Однако K не является комитетом системы (7), так как ни один его член не удовлетворяет второму неравенству.

Утверждение, что комитет системы (7) есть комитет системы(10), очевидно.

Теорема доказана.

Здесь же отметим следующее: гипотеза, что конечный комитет для системы (10) есть комитет для (7), неверна.

Ее опровергает следующий пример (7) из одного неравенства:

$$x_1^2 + x_2^2 - 1 \leq 0, \quad (11)$$

где $f_1(x) = x_1^2 + x_2^2 - 1$.

Так как $\nabla f(p) = (2p_1, 2p_2)$, то система (10) принимает вид

$$2p_1(x_1 - p_1) + 2p_2(x_2 - p_2) + p_1^2 + p_2^2 - 1 \leq 0 (\forall p \in R^n)$$

или

$$2p_1x_1 + 2p_2x_2 - p_1^2 - p_2^2 - 1 \leq 0 (\forall p \in R^n) \quad (12)$$

Легко видеть, что $K = \{(0,0), (0,2), (0,-2)\}$ не является комитетом системы (11), но есть комитет системы (12).

2.5. Выводы по главе 2

Таким образом, представленные в главе 2 результаты показывают, что сложность задачи нахождения минимального подкомитета для комитетов систем линейных неравенств существенно зависит от размерности пространства. Так, в двумерном случае вопрос о сократимости какого-либо комитета решается довольно просто: всякий неминимальный комитет сократим. Отсюда вытекает возможность построения минимального комитета над R^2 путем последовательного сокращения произвольного комитета, полученного каким-либо способом. Этот алгоритм можно использовать при нахождении комитета методом проектирования на плоскость.

В n -мерном случае иногда удастся ответить на вопрос о сократимости комитета исходя из того алгоритма, в результате работы которого данный комитет был получен. Например, метод проектирования на плоскость дает несократимый комитет, а комитет, полученный при

помощи алгоритма из теоремы существования [71], всегда сократим как минимум наполовину, из чего следует очень простой способ построения комитета с числом членов, не превосходящим числа неравенств в системе, что соответствует теореме об оценке количества членов минимального комитета.

В случае произвольной системы включений, для нахождения минимального подкомитета можно применять алгоритм, основанный на методе фундаментального свертывания системы линейных неравенств.

ГЛАВА 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ МЕТОДОВ КОМИТЕТНОГО И ДИСКРИМИНАНТНОГО АНАЛИЗА В ДИАГНОСТИКЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

3.1. Использование комитетного решения и циклическая динамика противоречивой задачи выбора стратегии решения и диагностики

Рассмотрим противоречивую задачу выбора процедуры лечения. Противоречивость состоит в том, что требования, предъявляемые к качеству лечения, в их совокупности невыполнимы. Соответствующая математическая модель, имеющая вид системы неравенств, не обладает решением в обычном смысле. В связи с этим вместо понятия решения приходится применять те или иные его обобщения, согласующиеся с содержательным смыслом задачи.

Если формальная система, в которой отражается реальный объект, фиксирована, то при увеличении глубины отражения мы получаем противоречия.

Есть разные способы анализа несовместных систем. В наше время человек вынужден жить в сплетении различных знаковых, формальных структур, в мире символов, не охватываемых индивидуальным мышлением. Созерцание и наглядное мышление не обеспечивают потребности отражения и ориентации в сложных производственных и иных общественных структурах [139].

Если формальная система, в которой мы отражаем реальный объект, фиксирована, то при увеличении глубины отражения его функционирования мы получаем противоречия. Такие противоречия можно разрешать с помощью использования комитетных конструкций, соответствующим получаемым противоречивым системам соотношений.

При этом каждой максимальной совместной подсистеме соответствует условно допустимый (конструируемый в рамках данной модели) объект. Саму систему соотношений можно интерпретировать как каталог требований на обеспечение инструментами набора каких-либо функций. Комитетные конструкции позволяют реализовывать более широкий спектр возможностей выбора вариантов при ограниченных ресурсах.

В более широком смысле надо говорить о размытом существовании объектов и ситуаций – эта идея содержится в комитетных конструкциях. Речь идет об обобщении понятия существования. В обычном смысле объект не существует: если выписать условия его существования, то они составят несовместную или противоречивую систему. Но это не значит, что он на самом деле не существует, так как фактически он существует в более широком смысле. Можно ослаблять условия различными способами. Можно существовать размыто – даже человеку как социальному существу.

Как средство распараллеливания комитетные конструкции непосредственно выступают в многослойных нейронных сетях. А именно, нами показано, что для обучения нейронной сети точному решению задачи классификации можно применить метод построения комитета некоторой системы аффинных неравенств.

Исходя из сказанного, можно заключить, что метод комитетов связан с одним из важных направлений исследования и численного решения как задач диагностики и выбора вариантов, так и задач настройки нейронных сетей с целью получения требуемого их реагирования на входную информацию по той или иной проблеме лица, принимающего решения. Нужно отметить, что необходимость изучения комитетов диктуется и естественным развитием теории линейных неравенств.

Исторически возникновение концепции нейронных сетей (а значит, и в какой-то форме комитетных решений) связано с вопросом, поставленным [147] в начале XX века: как формируются универсалии, то есть общие

понятия. Решение вопроса предполагалось в рамках линейной пороговой логики. А это уже прямой путь к линейным неравенствам и к нейронным сетям, поэтому естественно, что через некоторое время У. Мак Каллох и У. Питтс [158] доказали теорему, что любая логическая функция представима некоторой сетью линейных пороговых элементов. Необходимо отметить, что изучение несовместных задач, имеющих прозрачный практический смысл, исторически можно проследить еще с XVIII века.

Метод комитетов состоит в использовании комитетных конструкций для несовместных задач оптимизации и распознавания, частным случаем которых и является задача диагностики заболеваний. В общем речь идет о различных конструкциях на основе совместных и несовместных подсистем какой-либо системы соотношении (уравнений, неравенств, включений и так далее). Например, комитет системы неравенств – набор элементов, такой, что каждому неравенству удовлетворяет более половины элементов этого набора. Область приложения метода комитетов весьма широка – это определяется многообразием интерпретаций комитетов. Комитетные конструкции могут быть истолкованы как стохастические или размытые решения в многокритериальных или несовместных (противоречивых) задач. Их можно воспринимать также как смешанные стратегии использования решений совместных подсистем, как решающие правила в противоречивых задачах принятия решений.

Средние величины устойчивы. Усреднение решающих правил уменьшает число ошибок. Форма усреднения правил – их голосование. Поэтому комитеты устойчивее единичных решающих правил. Фактически, это слоистые нейронные сети [153].

Как было сказано во второй главе в истории комитетов есть ветвь глубокой теоретической математики. Но есть и сугубо практическая линия инженерии знаний. Она основана на той простой идее, что голосование решающих правил повышает надежность диагностики и прогнозирования.

Итак, каков содержательный смысл комитетов?

Разделяющий комитет – это модель консилиума. С его помощью можно, используя только линейные или аффинные функции, когда принимают в рассмотрение веса признаков, составлять корректные коллективные решающие правила диагностики и классификации.

Метод комитетов – это полностью современный инструментарий информатики, позволяющий решать самые трудные задачи.

С более общей точки зрения метод комитетов – это аппарат анализа противоречивых моделей, способ корректной развязки противоречий с указанием смысла этой развязки.

Если сравнить комитет с методом ближайшего соседа, в котором также дается нелинейная (в частном случае кусочно-линейная) функция принятия решений, то исследованиями показано фундаментальное положительное отличие метода комитетов: у него более широкие возможности и более глубокое математическое обоснование – он более вычислительно эффективен, пригоден для более широкого круга задач выбора, в том числе для задач выбора и сравнения вариантов практических решений. Метод комитетов – это целая теория, раздел современной математики [77]

Но спрашивается, в чем все-таки можно усмотреть эффективность метода комитетов?

Она доказана практической и теоретической апробацией, успешным решением массы практических задач. На комитетных конструкциях основан пакет КВАЗАР, один из немногих получивших широкое признание и широкое внедрение в РФ, он имеет и коммерческую реализацию [89].

Какова связь метода комитетов с методами кусочно-линейных решающих функций? Или кусочно-непрерывных?

Метод комитетов дает кусочно-линейные и кусочно-непрерывные решающие правила. И всякая задача, разрешимая в классе кусочно-линейных и кусочно-непрерывных, разрешима и методом комитетов.

Исключительно важно то, что метод комитетов имеет нейросетевой вариант и позволяет построить многослойную нейронную сеть для диагностики и прогнозирования.

Но не слишком ли велика сложность комитетного решающего правила и метода его построения?

Это совершенно не должно волновать людей, решающих практические задачи и проводящих исследования с помощью метода комитетов в своей научной области. Дело в том, что оценки сложности математически выведены. Они отвечают в точности сложности самой решаемой задачи. Например, если в задаче дифференциальной диагностики классы очень сложно различаются, то эта сложность будет и в разделяющем комитете. А меньшую сложность можно получить, только если верить в чудеса. В минимальном разделяющем комитете не нужно использовать память, большую, чем в материале прецедентов, на котором обучаются диагностике.

В методе комитетов оценивается и важность признаков. Например, симптомов и синдромов. Они определяются величинами коэффициентов при переменных в коллективе разделяющих функций.

Можно использовать КВАЗАР чисто механически, введя данные наблюдений. Но на самом деле творческая часть начинается при анализе решения, при его истолковании с содержательной точки зрения. КВАЗАР – это «только» сильная информационная технология.

Сейчас наиболее продвинутые современные информационные технологии – это искусственные нейронные сети. Не является ли КВАЗАР средством предыдущего поколения технологий? Как он вообще может быть сравнен с нейросетями?

Ответ таков: метод комитетов строит слоистую нейронную сеть. Это один из наиболее важных и эффективных классов нейронных сетей. Если огрублять, то другой класс – с обратным распространением ошибки – это

не что иное, как применение давно известного метода наименьших квадратов. Но есть и другие классы нейронных сетей.

Другая сторона вопроса о комитетных конструкциях связана с понятием коалиции при выработке коллективных решений, при этом ситуации резко различаются в случае коллективных предпочтений (здесь много подводных камней) и в случае правил коллективной классификации, в этом случае процедуры можно строго обосновать, и они имеют более широкие возможности. Поэтому важно уметь сводить задачи принятия решений к классификационным задачам.

Однако полезность применения комитетных конструкций в анализе противоречивых моделей (при стыковке теорий, попытке описания новых факторов в рамках старых моделей, в рамках слишком узкой модели и т. д.), по-видимому, ограничена и требует специальных исследований и дополнительных средств. Можно отметить, что полезность комитетных конструкций и их интерпретации достаточно наглядны в ситуациях многократного принятия решений в противоречивых условиях. При этом комитетные решения практически могут принимать вид распределений, диктующих частоты применения решений различных типов в одной и той же противоречивой ситуации.

Применимость и большая полезность комитетных конструкций совершенно ясны в моделях, экстраполирующих результаты протоколов эмпирических наблюдений на более широкую область (как, например, в моделях распознавания образов).

Рассмотрим сейчас ситуацию, в которой вместо стратегии лечения будет использоваться решающее правило.

Пусть выбор оптимальной стратегии описывается задачей

$$\sup\{f(x): F(x) < b\}.$$

Определяющая информация для этой задачи есть набор $[f, F, b]$. Здесь $x \in R^n, f, b \in R^m$. Значит, F – отображение из R^n в R^m . Если задача является несобственной (например, противоречивой), то нет особого смысла предлагать какое – либо приближенное решение (например, чебышевское приближение), так как несобственность означает, что не все еще сказано об условиях задачи, о том, что считать решением: задача недоопределена. Например, может оказаться, что выполнение некоторых ограничений обязательно (директивные ограничения), за невыполнение других (частично факультативных) берется штраф, непрерывно зависящий от невязки либо кусочно – постоянный штраф, остальные неравенства эластичны и ранжированы по степени желательности их выполнения, а некоторые неравенства размыты и т. д.

Все эти дополнительные соображения, доопределяющие задачу, можно считать экспертной информацией E . Не имея такой информации, можно заранее заготовить некоторое множество (комитет) K планов и далее руководствоваться отображением

$$[F, b, f] \rightarrow K.$$

Это отображение есть решающее правило, которое может быть построено методами распознавания и нейронных сетей.

Доопределение задачи необходимо и в случае многокритериальной оптимизации. Один из способов организации решения такой задачи состоит в комбинировании планов, каждый из которых удовлетворяет какой – либо вспомогательной подзадаче. Например, задаче с одним критерием. В этом случае в качестве комбинации планов может рассматриваться не только операции сведения всех вспомогательных планов к одному (например, взятие выпуклой комбинации), но и комитетные конструкции планов. Существуют подходы, когда окончательный план из вспомогательных планов назначается решением

арбитра. Это близко к понятию вероятностного комитета, члены которого выбираются с определенными вероятностями.

Для практических приложений важна следующая задача, приводящая к отысканию комитета. Пусть задана система ограничений

$$f_j(x) \leq 0 (\forall j \in J)$$

на ситуацию или состояние $x \in R^n$.

Предполагается, что при функционировании объекта требование выполнения j -го ограничения $f_j(x) \leq 0$ будет предъявлено с вероятностью p_j .

Требуется выбрать вероятностный комитет $K = \{x_i$ с вероятностью $q_i: i = 1, \dots, r\}$ такой, чтобы максимизировалось математическое ожидание вероятности того, что любое затребованное ограничение было выполнено [26]. Эволюция комитета – перераспределение вероятностей – должна соответствовать эволюции чисел p_j .

3.2 Метод поиска скрытых причин наблюдений

При диагностики заболеваний нередко встречаются ситуации, когда постановка диагноза затруднена за счёт слишком общей картины симптомов. Для устранения описанной проблемы предлагается новая процедура латентного анализа, зависящая от некоторого заранее выбранного класса функций F из $\{R^m \Rightarrow R\}$. Метод можно использовать в различных медицинских исследованиях факторов заболеваний, в том числе сосудистых и неврологических.

Предположим, что получен материал наблюдений в виде таблицы объект \ признак:

$$A = [c_1 \dots c_m]^T = [a_1 \dots a_n].$$

Здесь T - знак транспонирования, c_j – вектор – строка – описание j – го объекта, a_i – вектор – столбец значений i – го признака на объектах.

Используем функции $f \in F$, где функция f , вначале неизвестная, определяет в результате анализа форму кластера. Записываем систему

$$f(a_i) > 0 \quad (i=1, \dots, n).$$

Если система совместна, то считаем, что имеется только одна латентная переменная – она является комбинацией совокупности всех признаков. Однако, как правило, эта система несовместна. В таком случае выбираем решения максимальных по включению совместных подсистем этой системы – от каждой подсистемы по одному решению.

Получаем набор f_1, \dots, f_q . Для f_k кластер переменных $G_k = \{i: f_k(a_i) > 0\}$. Тогда соответствующий латентный фактор – комбинация признаков, входящих в G_i .

Класс F выбирается в соответствии с содержательным смыслом кластеров. Как правило, в этом классе, $f(x) = xQx^T + b$ – квадратичная функция.

Как было замечено ранее, задачи прогнозирования могут быть неформализованными. Эффективным методом учета неформализованных ограничений в задачах математического программирования и распознавания образов является математический аппарат дискриминантного анализа и таксономии; в частности, метод комитетов. Для несовместных систем ограничений метод комитетов предлагает использовать вместо понятия решения системы некоторое его обобщение – консилиум векторов, реализующий понятие «размытого» решения [183]. Другое название – комитет решающих правил. Комитетом (комитетом большинства) системы неравенств над пространством P называется такое конечное множество C из P , что любому неравенству системы удовлетворяют более половины элементов множества C .

Стоит также не забывать и метод дискриминантного анализа.

Имеется показатель y^i – степень головной боли. Для каждого i -ого пациента имеем вектор состояний $x^i = (x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i)$, где $j=1, \dots, n$, $x_j^i \in \{0,1\}$ – индикатор принадлежности к тому или иному состоянию.

Хотим построить разделяющую кривую, которая бы выделила две группы: пациентов со слабой головной болью и с сильной болью.

То есть имеем два множества:

$$\{[x^i, y^i] : i \in I, y^i < f(x^i)\} \subset A$$

$$\{[x^i, y^i] : i \in I, y^i > f(x^i)\} \subset B.$$

Таким образом имеем задачу дискриминантного анализа:

$$\text{Arg DA}(A, B, F) = f.$$

Процедура латентного анализа и иные описанные выше методы могут быть использовать для выявления факторов риска заболевания головными болями, в том числе головными болями напряжения и мигренями (с аурой и без ауры), инсультами. В настоящее время во всем мире проводится анализ распространенности первичных головных болей, факторов, ассоциированных с их развитием, а также анализ организации медицинской помощи и ведения больных с головными болями в рамках Всемирной кампании по борьбе с головными болями под эгидой всемирной организации здравоохранения. Головные боли откосятся к заболеваниям, существенно ухудшающим работоспособность и качество жизни людей. По данным Всемирной Организации Здравоохранения, во всем мире мигрень занимает девятнадцатое место (у женщин двенадцатое) среди лидирующих причин временной нетрудоспособности в связи с отсутствием на работе по причине сильных головных болей [170]. Некачественное лечение головных болей связано, прежде всего, с неправильной диагностикой головных болей и с незнанием врачами

Международных стандартов ведения больных с головными болями, отчасти это может быть связано также с возможностью безрецептурного приобретения многих препаратов в аптеках, в первую очередь анальгетиков. Именно поэтому очень важно уметь правильно диагностировать характер головной боли и определить факторы ее развития. Необходимо совершенствование диагностики и лечения первичных головных болей и разработка новых клинических рекомендаций по ведению больных на основе международных стандартов [172].

3.3 Совершенствование алгоритма управления диагностикой заболеваний за счет использования комитетных и дискриминантных методов

Как было показано в главе 1 (п. 1.1) в процессах оказания медицинских услуг населению наиболее сложными процедурами являются диагностические. Именно от правильности диагностики (установления диагноза болезни) зависит эффективность всех дальнейших мероприятий и в целом результативность оказания медицинской помощи. В связи с этим повышение эффективности работы медицинских учреждений прежде всего определяется методами и алгоритмами диагностики, и возможностями их совершенствования. Для этих целей можно и целесообразно оптимизировать *управление процессом диагностики заболеваний*, что возможно сделать с помощью усовершенствованных в главе 2 методов комитетного и дискриминантного анализа.

Непосредственно процесс управления диагностикой можно алгоритмизировать и описать схемой, представленной на рис. 8. В данной схеме в двойных рамках указаны процессы, а в одинарных – результат процесса.

Обычно процесс диагностирования заболевания осуществляется следующим образом: врач собирает анамнез, проводит осмотр пациента, и

на основе собранной информации ставит предварительный диагноз, либо делает вывод о невозможности постановки диагноза по имеющимся данным, либо рассматривает несколько диагнозов, которые могут соответствовать имеющимся характеристикам [72]. Затем во всех трех случаях (иногда, за исключением первого) назначаются клинические, инструментальные, функциональные исследования, которые на следующем этапе во втором и третьем случаях далеко не всегда, как это было проанализировано в главе 1 настоящей диссертационной работы, дают эффективные результаты. В связи с этим необходимо внести корректировки в процесс диагностики. Для этой цели автором диссертации предлагается алгоритм управления процессом диагностики заболевания, который изображен на рис. 8. Представленный алгоритм состоит из нескольких этапов, два из которых добавлены автором диссертации на основании разработанных в главе 2 методов дискриминантного и комитетного анализа. Опишем каждый этап по отдельности.

Первый этап диагностики заключается в определении жалоб, особенностей течения болезни, который является весомым, и требует проведения всестороннего опроса, при котором необходимо проявлять особую внимательность к деталям, грамотно оформлять полученную информацию.

На втором этапе необходимо провести тщательный анализ собранных сведений, сгруппировать характеристики в логическом порядке, описать полученную информацию в кратком виде. Установить временные характеристики каждого симптома для понимания истории заболевания, при этом обращая внимание не столько на хронологические перечисления посещений медицинских учреждений, сколько на факторы, которые позволят описать динамику развития болезни с момента возникновения ее первичных признаков до возникновения характерных клинических симптомов. При этом необходимо обязательно обратить

внимание на условия труда и быта больного, качество его питания, состава вредных привычек, а также особенности течения заболевания. Затем необходимо осуществить конкретизацию всей совокупной информации с учетом имеющихся жалоб и особенностей течения болезни.

Результатами второго этапа может служить одна из трёх ситуаций.

1) Собранная информация позволяет однозначно поставить предварительный диагноз, но при этом могут потребоваться некоторые специфичные для данного диагноза дополнительные методы диагностирования с целью уточнения клинической картины, детализирования течения болезни и её отдельных проявлений, который на следующем этапе может подтвердить предварительный диагноз, что позволит поставить развернутый окончательный клинический диагноз и уже назначить соответствующее лечение. В случае, если предварительный диагноз не подтверждается, то по сути мы оказываемся во второй или третьей ситуациях.

2) Отсутствие предварительного диагноза. Подобная ситуация типична для процесса диагностирования и возникает не реже, чем остальные. Происходит это, как правило, из-за противоречивости, размытости или недостаточности собранных сведений, которые не соответствуют ни одному конкретному заболеванию, описанному в международной классификации болезней в силу слишком общих симптомов. В этом случае необходимо продолжить диагностирование с помощью клинических, лабораторных, параклинических методов, но особенность состоит в том, что врач находится по сути в условиях неопределенности, безусловно, простейшие анализы провести необходимо, но они могут не прояснить ситуацию, и в таком случае, как правило, и проявляется недостаточность методов диагностики.

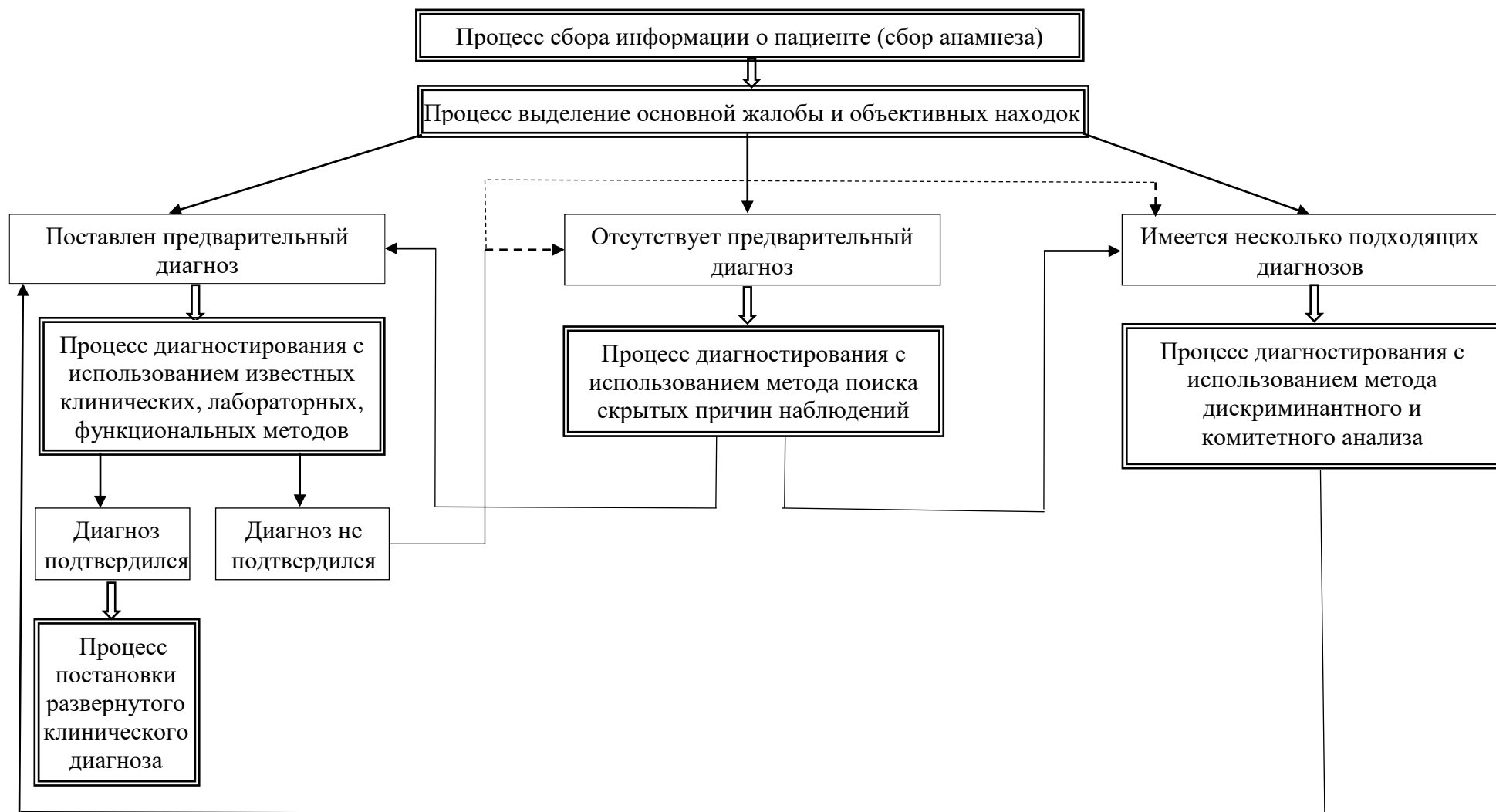


Рис. 8 Алгоритм управления процессом диагностики заболевания

Врач вынужден назначать дорогостоящие клинические и лабораторные методы, которые часто не оправдывают себя и не дают никаких результатов, а приводят лишь к ухудшению (или в лучшем случае не улучшению) состояния пациента, к увеличению стоимости затрат диагностирования, и удорожания лечения в целом. В конечном счете либо пациент долгое время остается без диагноза, что приводит к запущению болезни, а в дальнейшем и к трудностям ее лечения, либо к постановке неверного или несоответствующего международной классификации болезней диагноза ради заполнения отчётности. Подобное происходит и при постановке диагноза в случае головных болей [189]. Здесь можно применить предложенный автором диссертации в пункте 2 главы 3 метод поиска скрытых причин наблюдений (латентный анализ), основанный на комитетном и дискриминантном анализе. После применения вышеуказанного метода будут выявлены новые характеристики болезни, при анализе которых можно будет поставить предварительный диагноз, и мы оказываемся в первой ситуации, либо несколько подходящих диагнозов, что соответствует третьей ситуации.

3) Наличие нескольких подходящих диагнозов. Такая ситуация возникает не так редко, как может показаться. Особенно это касается неврологических заболеваний, например, головных болей, которых существует порядка 200 видов и для указания верного в большинстве случаев не существует инструментальных, функциональных и клинических методов. Возникает это как правило из-за противоречивых, излишних сведений, которые соответствуют самым разным заболеваниям. Безусловно данная ситуация для врача является лучшей, чем вторая, но именно на нее приходится наибольшая доля ошибок в диагностике. В этом случае используется метод дифференциальной диагностики, заключающийся в повторном опросе, осмотре пациента, изучении его истории болезни, назначении дополнительных клинических,

функциональных и лабораторных анализов, которые в некоторых случаях являются избыточными и даже вредоносными для больного, а также повышают общую стоимость лечения болезни, и как правило, увеличивают издержки учреждения здравоохранения в целом. Более того, в результате после проведения дополнительных исследований, которые не дают ответа, врач вынужден либо вновь вернуться к исследованию всех факторов, либо, что чаще бывает, выбирает тот, который ему кажется наиболее подходящим или легко излечимым. Разрешить подобную ситуацию можно используя методы дискриминантного анализа, которые позволят выяснить нужный диагноз с помощью отнесения факторов к тому или иному заболеванию. Однако часто здесь возникает ситуация, связанная с противоречивостью данных, которые не позволяют решить задачу дискриминантного анализа стандартными методами. В этом случае можно использовать актуальные математические методы, такие как деревья решений, метод опорных векторов, нейронные сети, но которые являются плохо интерпретируемыми и сложны в восприятии, поэтому в главе 2 предложен метод комитетов, который усовершенствован автором диссертации с целью снижения размерности задачи, способствующей сокращению количества факторов, необходимых для диагностики заболеваний. Указанный метод позволяет устранить противоречивость данных и однозначно поставить диагноз, некоторые особенности которого впоследствии можно уже выявить путем иных стандартных клинических или инструментальных методов.

Таким образом, процесс диагностики нуждается в чётком рациональном управлении, в третий этап которого автор диссертации включает блок, связанный с методами комитетного и дискриминантного анализа. Использование указанных методов позволит быстрее поставить диагноз, назначить, если необходимо, верные дополнительные

инструментальные методы (либо, наоборот, отказаться от таковых), прописать адекватное лечение.

В итоге включения нового блока в алгоритм управления процессом диагностики с использованием разработанных в диссертационной работе методов можно добиться следующих результатов:

1) улучшить качество оказания медицинской помощи за счёт своевременной постановки диагноза, назначением верного лечения и достижения относительно быстрого выздоровления пациента, тем самым добившись основной задачи учреждения здравоохранения – сохранения здоровья и человеческой жизни.

2) снизить стоимость болезни за счёт:

- сокращения затрат на диагностику, так как указанные методы позволяют не назначать ненужные дополнительные инструментальные и клинические исследования,

- уменьшения затрат на некорректно назначенные лекарственные средства в случае постановки неверного диагноза,

- уменьшения временных затрат врача на прием пациентов в силу быстрой постановки диагноза.

Указанный на рис. 8 процесс управления можно применять в любом медицинском учреждении для диагностики заболеваний. Особое внимание стоит уделить таким заболеваниям, которые можно диагностировать только по описательным факторам (из анамнеза), а инструментальные и лабораторные исследования в таких случаях не могут показать точную картину. Частным случаем таких заболеваний являются первичные головные боли, именно на них и проведена апробация разработанных в диссертации методов.

В связи с указанными предполагаемыми результатами внедрение методов дискриминантного и комитетного анализа в алгоритм управления оказанием медицинских услуг позволяет не только повысить качество медицинской помощи, но и увеличить эффективность управления учреждением здравоохранения в целом.

Также стоит отметить, что разработанный автором процесс управления можно использовать не только в учреждениях здравоохранения, но и в других организациях, связанных прямо или косвенно с диагностированием, в том числе с техническим диагностированием. Процесс сбора информации в этом случае отличается от медицинской ситуации, также имеются различия в инструментальных, функциональных методах, но суть процесса такая же, и включение нового блока, основанного на комитетном и дискриминантном анализе, будет также увеличивать эффективность управления предприятием за счёт повышения качества диагностики.

3.4 Выводы по главе 3

В данной главе рассмотрены основные возможности применения комитетных методов в диагностике различных заболеваний. Проанализированы применимость, эффективность и полезность описанных методов. Выдвинуты гипотезы о высокой прогностической силе указанных методов, даны рекомендации по их проверке, а также сделаны выводы о повышении эффективности методологии диагностики заболеваний с помощью математических (а именно комитетных) методов в сравнении с традиционными нематематическими.

Показано, что методы дискриминантного анализа как вспомогательный аппарат имеют также результативность и действенность в решении задачи диагностики любых заболеваний, особое внимание уделяется ситуации с неврологическими и сосудистыми заболеваниями, как особо опасными и являющимися значительно снижающими уровень

жизни населения и приводящие к повышенной смертности, а также ухудшающими статистические результаты деятельности учреждений здравоохранения.

Таким образом, можно сделать выводы, что использование методов комитетного и дискриминантного анализа в диагностике заболеваний является не только вспомогательным, но и обязательным атрибутом, с целью повышения качества оказания медицинских услуг. Более того, основным методическим положением применения указанных методов является использование поиска латентных факторов риска заболеваний, что позволяет увеличивать долю вовремя диагностированных больных. Также не стоит забывать о положении корректного сбора информации и ее обработки.

Главным результатом, полученным в главе 3, является алгоритм управления диагностикой заболеваний, включающий в себя качественно новые блоки, предусматривающие использование системы подготовки принятия решения, базирующейся на методах комитетного и дискриминантного анализа усовершенствованных автором диссертации.

ГЛАВА 4. ВНЕДРЕНИЕ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ И РАЗРАБОТОК ДИССЕРТАЦИИ В ПРАКТИКУ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ

4.1. Необходимость и особенности внедрения комитетных и дискриминантных методов для диагностики заболеваний

Россия занимает лидирующее место в мире по распространенности первичных головных болей, транзиторных ишемических атак и инсультов. Однако причины этого пока мало изучены [70]. Общество несет огромные финансовые издержки в результате снижения производительности труда из-за головных болей. По данным Всемирной Организации Здравоохранения, во всем мире мигрень занимает девятнадцатое место среди лидирующих причин временной нетрудоспособности в связи с отсутствием на работе по причине сильной головной боли. В развитых странах мигрень находится на седьмом месте среди заболеваний, приводящих к временной нетрудоспособности. Проведены исследования, которые показали, ежегодные прямые и косвенные расходы в связи с головными болями в России составляют 22,8 миллиардов долларов США, что составляет 1,75% от внутреннего валового продукта [154].

Именно по этой причине крайне важно понять факторы риска возникновения головных болей, разработать рекомендации по несению бремени головных болей с целью минимизации расходов.

Мигрень и головные боли напряжения излечимы, и при их правильном лечении и диагностике можно значительно сэкономить средства для других задач здравоохранения и общества, однако во всем мире они пока не лечатся на должном уровне [189].

Проведены исследования [70], которые показали, что в разных странах существуют различия в распространенности и факторах, связанных с развитием первичных головных болей.

Таким образом, наша задача разделилась на несколько подзадач:

оценка распространенности головных болей, их предшествующей диагностики и лечения, выявление факторов риска возникновения первичных головных болей. Также оценка качества диагностики и лечения первичной головной боли в разных социальных группах Уральского региона.

Исследование [70] включало 3124 пациента (из них 1349 женщин), средний возраст – 31,7 года, возрастной интервал 17–67 лет. Все участники входили в три социальные группы: 1) студенты (1042 человек, из них 719 женщин, средний возраст 20,6 года, возрастной интервал 17–40 лет); 2) рабочие (1075 человек, из них 146 женщин, средний возраст 40,4 года, возрастной интервал 21–67 лет); 3) доноры крови (1007 человек, из них 484 женщины, средний возраст 34,1 года, возрастной интервал 18–64 лет). Студенты, включенные в исследование, учились на I–VI курсах Уральского государственного медицинского университета. Большинство студентов – жители Екатеринбурга, 7% – жители других городов Свердловской области, 0,5% – жители других городов России и лишь 0,1% – жители деревень. Все рабочие обслуживали добычу нефти и газа на предприятии (бурильщики, машинисты, электромонтеры, операторы). Большинство рабочих – 982 (91,3%) – были жителями Сургута, 93 (8,7%) – жителями других городов России. Большинство доноров крови проживали в Екатеринбурге и лишь 2% – в других городах Свердловской области. Эта группа включала людей разных профессий. Большинство участников трех групп представляли средний социальный слой, и лишь несколько (1,1%) имели низкий социальный статус, все они входили в группу доноров.

Статистический анализ. Произведен расчет общей и стандартизированной по полу распространенности в течение 1 года первичных головных болей. Связанные с полом различия в распространенности головной боли были изучены в 3 социальных группах с использованием непарного t -теста и критерия χ^2 . Общая распространенность головной боли, предшествующие консультации, диагнозы и лечение были рассчитаны в процентах. Отношение шансов и 95% доверительный интервал были рассчитаны с использованием логит-регрессии.

Результаты исследования [161] свидетельствуют о следующих проблемах в организации медицинской помощи пациентам с головной болью:

- 1) низкая обращаемость к врачам;
 - 2) неполноценная диагностика;
 - 3) практически полное отсутствие профилактического лечения.
- Наибольшие сложности в организации медицинской помощи отмечены у студентов. В дальнейшем это может привести к развитию хронической головной боли, особенно в этой группе пациентов.

Хотя распространенность хронической головной боли, установленная в нашем исследовании (1,7%), практически такая же, как в Западной Европе, в других регионах России она в 2–3 раза выше, чем в Западной Европе и Америке [189]. Поэтому без совершенствования организации медицинской помощи больным в Уральском регионе ситуация может ухудшиться [162]. В связи с этим необходимы анализ причин, влияющих на распространенность головной боли, а также разработка программы, направленной на улучшение диагностики и лечения этого состояния.

По данным проведенных исследований [184], низкая обращаемость к врачам может быть связана с предшествующим негативным опытом

лечения головной боли, разочарованием, бытующим мнением, что головной боли неизлечима, самостоятельным назначением анальгетиков для ее купирования, а также боязнью выявления более серьезного заболевания. По данным интернет-опроса населения различных регионов России, 52,2% пациентов отмечали постоянную или периодическую головную боль, при этом лишь половина респондентов обращались или собираются обратиться к врачу. Причинами непосещения врачей были: недоверие к врачам (81,6%), недоступность специалистов по головной боли (59,7%), отсутствие необходимости в консультации (47,4%), боязнь выявления тяжелого заболевания (19,2%). Сопоставление данных исследования, проведенного ранее в других регионах России, с нашими данными показало, что наши пациенты, страдающие мигренью, обращались за медицинской помощью в 2 раза чаще (54 и 25% соответственно), а страдающие головной болью напряжения – практически с той же частотой (12,5 и 9,5%). Наши данные соответствуют результатам большинства европейских исследований [163].

Однако в Европе, Англии и Америке пациенты с головной болью чаще всего обращаются к терапевтам и врачам общей практики, а наши пациенты – к неврологам [28]. Студенты лидируют по распространенности головной боли и числу обращений к врачам (35%).

Неполноценная диагностика головной боли связана в первую очередь с тем, что врачи не знают или не используют Международную классификацию головных болей и устанавливают диагнозы, не входящие в международную классификацию болезней (вегетососудистая дистония, синдром внутричерепной гипертензии, дисциркуляторная энцефалопатия и другие). Эти данные согласуются с результатами других исследований, проведенных в России и Турции [164]. Однако процент правильных диагнозов у пациентов с головной болью в нашей стране значительно ниже. Лишь 12% пациентов, страдающих мигренью, был поставлен такой

диагноз. Для сравнения: в Турции 42% пациентов с мигренью был поставлен диагноз «мигрень» во время первого визита к врачу, и этот показатель увеличился до 51% при последующих визитах [189].

Неправильное лечение головной боли связано прежде всего с неверной диагностикой и незнанием врачами международных стандартов ведения больных с головной болью, отчасти это можно объяснить также возможностью безрецептурного приобретения в аптеках многих препаратов, в первую очередь анальгетиков. Результаты нашего исследования показали, что практически все пациенты, страдающие головной болью, используют лишь препараты для ее купирования. Об этом свидетельствует и исследование, проведенное в России в 2008 г. [154]: большинство (40%) пациентов с головной болью использовали комбинированные анальгетики, пятая часть (22%) – простые анальгетики, 1 (0,24%) больной – препараты эрготамина и только 2 (0,5%) – триптаны. Это совпадает с данными нашего исследования, за исключением использования триптанов (6% пациентов, страдающих мигренью, использовали триптаны, что значительно больше, чем в предыдущем исследовании) и европейскими данными. В настоящее время в мире только 0,4 – 4% населения употребляет триптаны. Исследования, проведенные в Европе, показали, что число пациентов с мигренью, принимающих триптаны, также достаточно невелико и составляет 3–9% [165]. Процент использования триптанов остается низким в первую очередь потому, что большинство пациентов с мигренью не имеют правильного диагноза и в связи с этим не получают лечения. Невысокая частота использования триптанов может быть следствием того, что у многих пациентов с мигренью отмечается низкая частота приступов.

Отсутствие профилактического лечения головной боли в большинстве случаев может быть объяснено неправильным диагнозом, незнанием показаний для назначения терапии, а также низкой частотой

приступов мигрени у некоторых больных [166]. В нашем исследовании профилактическое лечение мигрени получали только 2 (0,4%) студента, а в предыдущем исследовании, проведенном в России, – лишь 3 (0,7%) [70]. Во многих странах Европы профилактическое лечение головной боли получает также незначительное число пациентов – от 5 до 9%.

Среди большинства российских терапевтов и неврологов существует мнение, что головная боль сигнализирует об органическом поражении головного мозга. В результате, почти все пациенты, которые жалуются на головную боль, подвергаются без необходимости исследованиям, таким как магнитно-резонансная томография и компьютерная томография головного мозга, ультразвуковые исследования сосудов головного мозга и шеи [189]. Однако, гораздо хуже то, что неспецифические и клинически не значимые результаты часто интерпретируются как свидетельство органического поражения головного мозга. В итоге пациенты получают ошибочные и неправильные диагнозы, такие как «дисциркуляторная энцефалопатия» или «вегето-сосудистая дистония» [154]. В итоге многими врачами для профилактики и лечения мигрени назначаются вазоактивные и ноотропные препараты. Назначение сосудистых препаратов для профилактики мигрени может быть обусловлено изначально неверно поставленным диагнозом [167]. Это способствует увеличению недоверия между пациентами с головной болью и врачами.

В связи с вышесказанным, очень важно различать разные виды головных болей, особенно необходимо правильно классифицировать головную боль напряжения и мигрень. Таким образом, необходима программа-помощник, которая могла бы помогать классифицировать эти головные боли врачу общей практики или терапевту (т.к. невролог, специализирующийся на диагностике и лечении головной боли есть далеко не в каждой больнице).

Таким образом, задача диагностики является актуальной и важной, ведь методы лечения этих видов совершенно разные. Более того сейчас по международным стандартам в медицине признаются только те исследования, которые имеют доказательность именно с точки зрения математики.

Требуется совершенствование оказания медицинской помощи пациентам с головной болью.

После анализа результатов исследования нами были предложены следующие мероприятия:

- 1) обучение врачей, в первую очередь терапевтов, врачей общей практики и неврологов, основам диагностики и лечения головной боли согласно международным стандартам;
- 2) организация последовательной, поэтапной системы лечения головной боли;
- 3) организация периодических медицинских осмотров с внедрением системы диагностики и лечения головной боли;
- 4) повышение осведомленности населения о головной боли;
- 5) проведение исследований, посвященных головной боли, в том числе эпидемиологических.

Таким образом, необходимы совершенствование диагностики и лечения первичных головных болей и разработка новых российских клинических рекомендаций по ведению больных на основе международных стандартов [168].

Исследование можно расширить следующим образом:

- исследование распространенности, распределения, частоты, факторов риска развития инсульта;

- оценка влияния социально-экономических факторов неврологических расстройств (головные боли, транзиторные ишемические атаки, инсульты);
- исследование проблем затрат, касающихся как прямых, так и косвенных затрат. Прямые затраты касаются в основном расходов на лекарства. Вышеперечисленные болезни оказывают значительное влияние на функциональные возможности, что приводит к нарушению работы и социальной активности: многие пациенты, страдающие мигренью, не обращаются за медицинской помощью, потому что они не были точно диагностированы врачом или не используют назначенные лекарства. Косвенные затраты, связанные со снижением производительности, также составляют значительную долю от общей стоимости мигрени. Вышеописанные заболевания оказывают серьезное влияние на работающий сектор населения, и, следовательно, определение косвенных затрат перевешивает прямые затраты. Планируемое исследование объяснит понятие стоимости болезни, исследуя, как она может быть применена в такой структуре [169].
- анализ исследований, направленных на измерение прямых и косвенных издержек, связанных с расстройствами головной боли, транзиторно-ишемическими атаками и инсультами с последующим переходом к взаимосвязи между затратами и качеством жизни людей, страдающих расстройствами головной боли.
- обзор преимуществ новых лекарственных средств и профилактических методов лечения мигрени для пациентов и общества будут изложены в контексте анализа экономической эффективности и эффективности затрат.

4.2. Сравнительные характеристики применения комитетных методов и методов машинного обучения на примере медицинской диагностики

Перейдем к практическому применению комитетов для решения задачи классификации первичных головных болей.

Необходимо построить решающее правило, позволяющее верно диагностировать первичную головную боль, а именно головную боль напряжения и мигрень. Согласно проведенным исследованиям коллег-медиков, в 80% случаев диагнозы по головным болям были поставлены неверно, так что задача является актуальной и важной, так как методы лечения этих видов головных болей совершенно разные. Медики собрали данные, а именно провели полу-структурированное интервью с заполнением анкеты у трех социальных групп: доноры крови, рабочие, студенты.

Исследование началось в марте 2013 года и включало в себя несколько этапов. Первый этап включал полу-структурированное интервью, проведенное по специально разработанной анкете совместно с мировыми учеными. Анкета включала характеристики головных болей, возраст, в котором начались головные боли, частоту болей за последний год и частоту в месяц, их лечение, использование анальгетиков и триптанов для купирования болей, а также предшествующую диагностику. На втором этапе эксперт врач-невролог проанализировал все заполненные анкеты и при наличии неполной информации произвел повторное телефонное интервью для получения полной информации по головным болям, в том числе для подтверждения наличия двух и более видов головных болей, а также получения дополнительной информации по лечению головных болей и их предшествующей диагностике. При отсутствии возможности провести телефонное интервью анкеты с неполной информацией были удалены из исследования. На третьем этапе врачи-неврологи поставили диагнозы головных болей согласно новой Международной классификации головных болей 3 пересмотра (2013) [155]. Затем нами были сформированы три базы данных в программе Ms Excel для последующей математической обработки.

Имеется показатель y^i – степень головной боли. Для каждого i -ого пациента имеем вектор состояний $x^i = (x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i)$, где $j=1, \dots, n$, $x_j^i \in \{0,1\}$ – индикатор принадлежности к тому или иному состоянию.

Хотим построить разделяющую кривую, которая бы выделила две группы: пациентов с мигренью и с головной болью напряжения. То есть хотим научиться отличать пациентов по интенсивности головной боли в зависимости от факторов.

Пусть $f \in F$ – зависимость степени боли от состояния, тогда $f(x^i)$ – степень (выраженность) головной боли в состоянии x^i и два множества:

$$\begin{aligned} & \{ [xi, yi] : i \in I, yi < f(xi) \} \subset A \\ & \{ [xi, yi] : i \in I, yi > f(xi) \} \subset B \end{aligned}$$

Таким образом, имеем задачу дискриминантного анализа:

$$Arg DA (A, B, F) = f.$$

Имеются методы ее решения: метод комитетов, метод потенциальных функций, статистические методы и другие.

Особый интерес, как было сказано ранее, представляет метод комитетов. Ведь, известно, что система неравенств может не иметь решения даже в случае $A \cap B = \emptyset$, если класс F выбран недостаточно широким. Эту проблему решает метод комитетов.

Пусть D – некоторое семейство множеств $D_j: D = \{D_j: j \in J\}$, X – некоторое множество. Тогда комитетом в классе X для семейства D называется множество $K \subset X$ (не обязательно конечное) такое, что:

$$|K \cap D_i| > |K \setminus D_i| \quad (\forall j \in J)$$

Тогда, рассматривая задачу дискриминантного анализа, в случае, если система (2) несовместна, но существует ее комитет $K \subset F$, можно разбить R^n на два образа согласно следующему решающему правилу:

$$y - \text{элемент} \begin{cases} \text{первого образа, если } f(y) > 0 \text{ более,} \\ \text{для половины элементов } f \in K \\ \text{второго образа, в противном случае.} \end{cases}$$

Доказательство существования комитетов для некоторых видов систем неравенств приведены в [71].

Для построения решающего правила использовали выборку доноров крови как считающихся относительно здоровыми (без хронических заболеваний). Выборка была упорядочена по алфавиту для того, чтобы был «случайный» порядок векторов. Было выбрано 56 векторов с фактором «мигрень» и 147 – с «головная боль напряжения». Список использующихся признаков приведен в таблице 2.

Первый признак – классообразующий, в процессе построения решающих правил не используется.

Затем была проведена обработка в пакете КВАЗАР, а также при использовании R-studio. Была проведена нормировка значений признаков, оценка информативности признаков и задание размерности пространства, построение решающего правила одним из алгоритмов:

- рекуррентный алгоритм линейного разделения 2-х множеств. Суть его следующая: если дискриминантная функция "устроена" достаточно сложно либо "признаки" выбраны неудачно, то упомянутые выше линейные неравенства могут оказаться неразрешимыми. Тогда коэффициенты линейной аппроксимации естественно определять с помощью метода наименьших квадратов. Особенностью задач распознавания является плохая обусловленность получаемой при этом системы линейных алгебраических уравнений (вызванная "почти зависимостью" аппроксимирующих (или признаковых) функций на обучающей последовательности).

- метод потенциальных функций – это метод обучения распознаванию образов, основанный на аппроксимации решающей функции с помощью разложения ее в ряд по известной системе функций. При реализации метода предполагается, что решающее правило может

Таблица 2.

№	Признак
1	диагноз (1-мигрень, 2-головная боль напряжения)
2	односторонние
3	двусторонние
4	в лобной области
5	в височной
6	в теменной
7	в затылочной
8	в половине головы слева
9	в половине головы справа
10	давящие
11	в виде 'обруча'
12	колющие
13	монотонные
14	ноющие
15	тупые
16	распирающие
17	ломающие
18	пульсирующие
19	слабые
20	умеренные
21	сильные
22	разные
23	усиление при обычной физической нагрузке
24	продолжительность боли < ½ часа
25	продолжительность боли ½ - 4 часа
26	продолжительность боли 5 ч – 23 часа
27	продолжительность боли 1 - 3 дня
28	продолжительность боли 4 – 7 дней
29	продолжительность боли >7 дней

30	тошнота
31	рвота
32	фотофобия
33	фонофобия
34	головокружение

быть представлено в виде знака суммы функций, иными словами, задача обучения заключается в отыскании гиперплоскости в спрямляющем пространстве, разделяющей два множества, соответствующие разным классам.

- построение комитета старшинства; некоторые его модификации были изложены в главе 2;

- метод случайного леса - это множество решающих деревьев. В задаче регрессии их ответы усредняются, в задаче классификации принимается решение голосованием по большинству. Все деревья строятся независимо по некоторой схеме. Один из существенных минусов этого метода – его плохая интерпретируемость и низкая информативность

- метод опорных векторов, основная идея которого состоит в построении гиперплоскости, разделяющей объекты выборки оптимальным способом. Алгоритм работает в предположении, что чем больше расстояние (зазор) между разделяющей гиперплоскостью и объектами разделяемых классов, тем меньше будет средняя ошибка классификатора.

Метод опорных векторов также имеет важное прикладное значение. Однако, известно, что в случае, когда классы линейно не делимы, то в данный метод вводится понятие ядра, подбор которого иногда труден. Именно поэтому рядом авторов были предложены новые изменения метода опорных векторов. Одно из таких предложений – это метод Лагранжиана метода опорных векторов, в котором применяется двойственная задача квадратичного программирования, а также обобщенный метод опорных векторов.

Вообще, линейно разделимый случай метода опорных векторов основывается на заключении того, что расстояние между граничными гиперплоскостями должно быть как можно больше.

Для этого случая предлагается модель поиска разделяющего слоя наибольшей толщины. Именно в ней и реализуется еще один подход двойственности в распознавании образов, а именно, использовании двойственной (или более привычное название, сопряженной) нормы.

Для построения линейного разделяющего правила предлагается следующая модель в форме задачи линейного программирования.

Пусть A и B – подмножества, которые требуется разделить гиперплоскостью:

$$a_k \in A \subset R^n (k = 1, \dots, m), b_s \in B \subset R^n (s = 1, \dots, l)$$

Рассмотрим задачу построения разделяющего эти множества слоя наибольшей ширины в следующем смысле. Фиксируем какую-нибудь норму $\|x\|$ в пространстве R^n и ей сопряженную:

$$\|w\|_* = \max_{\|y\|=1} w^T y$$

Требуется построить гиперплоскость $w^T x - v = 0$ со следующим свойством:

$$w^T a_k - v \geq \delta (k=1, \dots, m),$$

$$w^T b_s - v \leq -\delta (s=1, \dots, l),$$

при этом 2δ является шириной слоя в терминах исходной нормы $\|x\|$, разделяющего множества A и B . Это проиллюстрировано на рис. 9.

Для построения выше указанной гиперплоскости воспользуемся следующим вспомогательным утверждением.

Лемма [116]. Проекция $P_L(z) \in \text{Arg} \min\{\|z-y\| : y \in L\}$ (ближайший элемент в терминах нормы $\|x\|$) элемента z на гиперплоскость $L: w^T x - v = 0$ определяется формулой

$$P_L(z) = z - \frac{w^T z - v}{\|w\|_*} \cdot y(w), \quad \text{где } y(w) \in \arg \max_{\|y\|=1} w^T y.$$

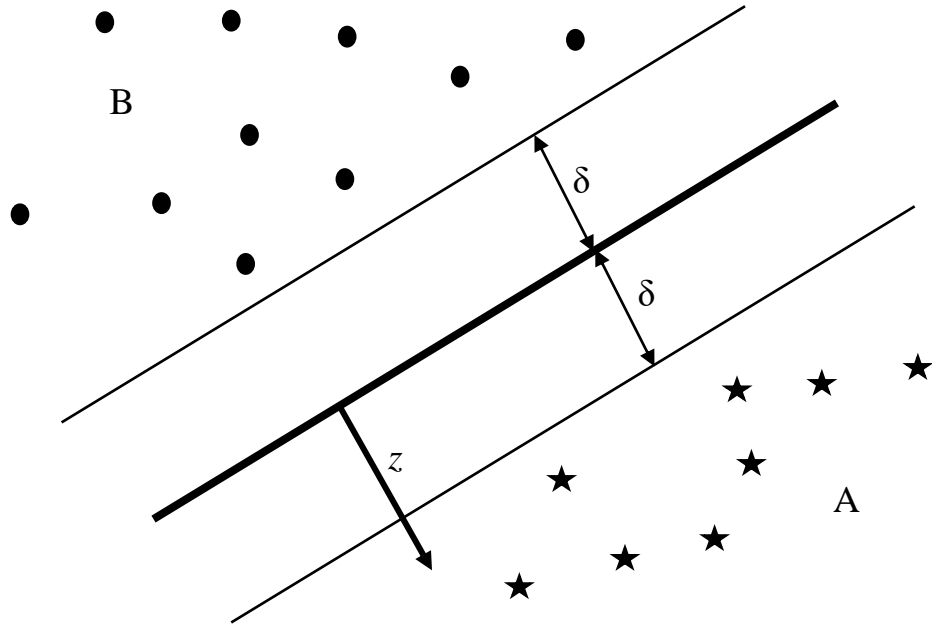


Рис. 9. Иллюстрация ширины слоя

Из леммы следует формула расстояния от точки до L:

$$d(z, L) = \frac{|w^T z - v|}{\|w\|_*}.$$

Рис. 10 иллюстрирует данную формулу.

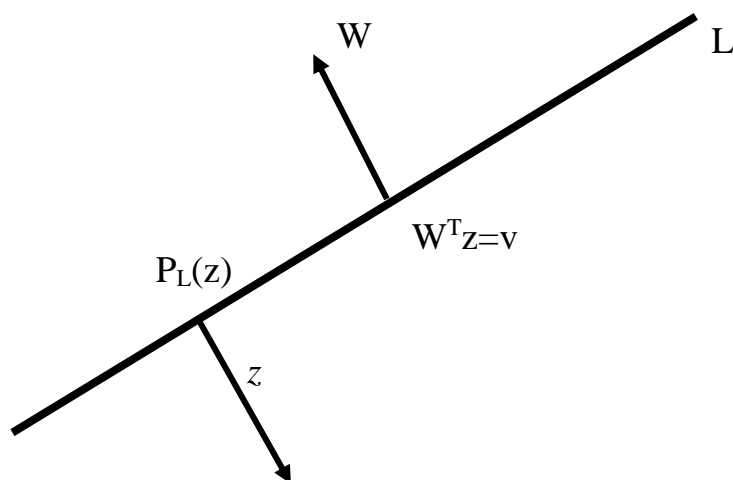


Рис 10. Иллюстрация формулы расстояния

Если норма евклидова, то $y(w) = \frac{w}{\|w\|_2}$, и получается известная формула

$$P_L(z) = z - \frac{w^T z - v}{\|w\|^2} \cdot w.$$

Отсюда следуют формулы:

$$\text{если } w^T z - v \geq 0, \text{ то } d(z, L_-) = \frac{(w^T z - v)}{\|w\|_*}$$

$$\text{если } w^T z - v \leq 0, \text{ то } d(z, L_+) = \frac{(v - w^T z)}{\|w\|_*}$$

Очевидна эквивалентность следующих задач:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta \rightarrow \max \\ \forall k \quad \frac{z^T a_k - t}{\|z\|_*} \geq \delta \\ \forall s \quad \frac{t - z^T b_s}{\|z\|_*} \geq \delta \end{array} \right\} \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \delta \rightarrow \max \\ \forall k \quad z^T a_k - t \geq \delta \\ \forall s \quad t - z^T b_s \geq \delta \\ \|z\|_* = 1 \end{array} \right. \quad (\text{А})$$

Составим задачу:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta \rightarrow \max \\ z^T a_k - t \geq \delta \quad (\forall k) \\ t - z^T b_s \geq \delta \quad (\forall s) \\ \|z\|_* \leq 1 \end{array} \right. \quad (\text{Б})$$

Связь между этими задачами устанавливает следующее утверждение.

Утверждение. Пусть в (Б) $\delta_{\max} > 0$. Тогда решением (Б) является такое z , что $\|z\|_* = 1$.

Доказательство. Если $\{\bar{z}; \bar{t}; \delta_{\max}\}$ решение (Б) с $\delta_{\max} > 0$, то $\|\bar{z}\|_* \neq 0$. Иначе

$$\delta_{\max} \leq -t, \delta_{\max} \leq t \Rightarrow \delta_{\max} \leq 0, \text{ что противоречит условиям.}$$

Предположим, что $\|\bar{z}\| = \Delta < 1$. Рассмотрим $\bar{z}(\Delta) = \bar{z} \cdot \frac{1}{\Delta}$. Тогда

$$\left(\frac{1}{\Delta} \bar{z}\right)^T a_k - \bar{t} \cdot \frac{1}{\Delta} \geq \frac{1}{\Delta} \cdot \delta_{\max} = \tilde{\delta} \quad (\forall k)$$

$$\frac{1}{\Delta} \cdot \bar{t} - \left(\frac{1}{\Delta} \bar{z}\right)^T b_s - \geq \frac{1}{\Delta} \cdot \delta_{\max} = \tilde{\delta} \quad (\forall s)$$

$$\left\| \frac{1}{\Delta} \bar{z} \right\|_* = 1$$

Таким образом, нашлось допустимое решение $\tilde{z} = \frac{1}{\Delta} \bar{z}$; $\tilde{t} = \frac{1}{\Delta} \bar{t}$; $\tilde{\delta} = \frac{1}{\Delta} \delta_{\max}$,

для которого $\tilde{\delta} > \delta_{\max}$, в противоречии с условиями утверждения.

Утверждение доказано.

Задача (Б) при выборе норм

$$\|z\|_1 = \sum_{i=1}^n |z_i| \quad \text{или} \quad \|z\|_\infty = \max_i |z_i|$$

является задачей линейного программирования и в ней $2\delta_{\max}$ характеризуется как величина слоя максимальной толщины, разделяющего A и B в терминах выбранной нормы.

Далее вернемся к нашей задаче классификации головных болей и отметим, что оптимальным получилось использование 8 наиболее информативных признаков. В методе опорных векторов использовалось гауссовское ядро.

Для оценки информативности признаков использовались два алгоритма.

Пусть имеется k обучающих подвыборок векторов: $X_1, \dots, X_k \in R^n$ соответственно числу рассматриваемых классов. В соответствии с первым алгоритмом («по разности средних значений») для каждого признака вычисляются его средние значения в этих множествах, обозначаемые через

$a_l^{(i)}, \dots, a_k^{(i)}$. Информативность i -го признака рассчитывается по следующей формуле:

$$J_i = \frac{2}{k(k-1)} \sum_{l=1}^{k-1} \sum_{m=l+1}^k |a_l^{(i)} - a_m^{(i)}|.$$

При использовании второго алгоритма («по частотам») область изменения значений каждого признака разбивается на z интервалов, после чего рассчитываются относительные частоты попадания значений рассматриваемого признака из векторов разных классов в каждый из этих интервалов. Информативность i -го признака рассчитывается по формуле:

$$J_i = \frac{2}{k(k-1)} \sum_{t=1}^z \sum_{l=1}^{k-1} \sum_{m=l+1}^k |p_{l,t}^{(i)} - p_{m,t}^{(i)}|,$$

где $p_{l,t}^{(i)}, p_{m,t}^{(i)}$ - частоты попаданий значений i -го признака из векторов l -го и m -го классов в t -й интервал. Значение числа интервалов разбиения z зависит от объема выборок и рассчитывается в пакете КВАЗАР по известной формуле $1+1.39 \ln m$, где m - численность наименьшей подвыборки.

Полученные значения нормируются:

$$\forall i \in \overline{1, n} : J_i^H = \frac{J_i - \min_{j \in \overline{1, n}} J_j}{\max_{j \in \overline{1, n}} J_j - \min_{j \in \overline{1, n}} J_j}$$

и образуют относительные значения информативности. При этом наиболее информативный признак получает значение 1, а наименее информативный - 0. В результате все признаки оказываются упорядоченными по убыванию информативности в диапазоне от 1 до 0. Первые n признаков используют в качестве искомой подсистемы.

Оценка информативности по разности средних значений используется достаточно часто, однако этот способ имеет свои минусы. Так, при равенстве средних информативность признака оценивается как нулевая, хотя часто это не так. Возможна ситуация, когда графики

распределения значений признака в выборках двух классов сильно различаются в плане средних значений, и алгоритм в данном случае отмечает этот признак как информативный. В ситуации же, когда средние значения совпадают, может оказаться, что признак является полезным в плане различения векторов разных классов. В этом случае алгоритм оценки информативности по разности частот укажет на полезность этого признака.

Для каждого метода была реализована перекрестная проверка. Для этого элементы двух классов делились на 7 групп, 6 из которых использовались в качестве обучающей выборки, а одна в качестве тестовой. Процедура повторялась 7 раз; в итоге каждая из 6 групп данных использовалась для тестирования. Основные результаты приведены в таблице 3, из которых видно, что метод комитетов имеет наибольший процент распознавания при тестировании, то есть решающее правило, построенное на основе метода комитетов позволяет в 98,8% верно диагностирует первичную головную боль.

Таблица 3.

п/п	Метод обучения	Число признаков	Средний процент распознавания на экзамене
1	Метод потенциальных функций	8	94,7
2	Метод комитетов старшинства	8	98,8
3	Реккурентный алгоритм линейного разделения	8	94,6
4	Метод случайного леса	8	95,6
5	Метод опорных векторов	8	84,6
6	Метод случайного леса	32	93,3
7	Метод опорных векторов	32	75,3

Построенные решающие правила являются «компьютероориентированными». Классификацию с их помощью можно проводить в пакете КВАЗАР или же на их основе можно написать специальную распознающую программу с необходимым интерфейсом для врачей. Эта программ по сути может служить системой подготовки принятия решения для врачей.

4.3. Выводы по главе 4

Внедренные методы, описанные в главе 4, позволили эффективно продиагностировать первичную головную боль, а именно отделить два класса пациентов, страдающих мигренью и головной болью напряжения. Перекрестная проверка показала, что метод комитетов старшинства работает наилучшим образом в сравнении с методами машинного обучения, такими как метод случайного леса и метода опорных векторов.

В главе 4 решена особо важная задача классификации первичных головных болей, так как в современных реалиях многие поликлиники имеют нехватку узко-специализированных врачей, перекладывая их задачи на плечи других специалистов. Задача классификации первичных головных болей является крайне значимой, что и показано в главе 4, поэтому полученные результаты имеют практическое значение и могут быть применены как вспомогательные инструменты терапевтов и врачей общей практики. Также стоит отметить, что примененные методы можно использовать и для диагностики других заболеваний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Диссертационное исследование, связанное с совершенствованием методов управления оказанием услуг в учреждениях здравоохранения на основе комитетного и дискриминантного анализа, позволило решить важную научно-техническую задачу повышения эффективности деятельности медицинских учреждений за счет постановки более точных диагнозов пациентам, что уменьшает как временные затраты на лечение и пребывание больных в стационарах, так и потери, образующиеся в случае ошибочной диагностики и др.

В диссертационной работе разработаны методы использования комитетного и дискриминантного анализа для диагностирования заболеваний в медицинских учреждениях на примере постановки диагнозов головных болей самого различного происхождения. Полученные в работе научные выводы и результаты позволяют не только повысить эффективность работы медицинских учреждений, но и обеспечить совершенствование методов управления оказанием услуг в учреждениях здравоохранения.

В диссертационной работе получены следующие основные выводы и результаты:

1. На основе проведенного анализа основных существующих методов управления оказанием медицинских услуг в учреждениях здравоохранения выявлены возникающие проблемы и ситуации, связанные с неверной диагностикой заболеваний. Показано, что значение диагностики заболеваний как одного из важнейших элементов процесса оказания медицинских услуг населению, играет в сущности главенствующую роль в управлении деятельностью медицинских учреждений, кардинальным образом воздействуя на эффективность их работы в целом.

2. Исходя из анализа основных методов диагностики заболеваний, используемых на данный момент в медицинских учреждениях, выявлены их достоинства и недостатки. Также показано, что математические методы диагностики имеют значительные преимущества и органично дополняют уже имеющиеся лабораторно-инструментальные медицинские методы.

3. В работе показано, что сложность задачи нахождения минимального подкомитета для комитетов систем линейных неравенств существенно зависит от размерности пространства. В двумерном случае вопрос о сократимости какого-либо комитета решается просто: всякий не минимальный комитет сократим. Тогда возникает возможность построения минимального комитета над R^2 путем последовательного сокращения произвольного комитета, полученного каким-либо способом. Данный алгоритм можно использовать при нахождении комитета методом проектирования на плоскость. В n -мерном случае зачастую возможно ответить на вопрос о сократимости комитета исходя из того алгоритма, в результате работы которого данный комитет был получен. В случае произвольной системы включений, для нахождения минимального подкомитета возможно использовать алгоритм, основанный на методе фундаментального свертывания системы линейных неравенств.

4. В рамках использования комитетных методов разработан метод снижения размерности задачи, способствующий сокращению количества факторов, необходимых для диагностики заболеваний.

5. Рассмотрены успешные реализации применения дискриминантного анализа в классификации болезней, обоснована возможность применения комитетных методов в задачах диагностики и уточнены основные недостатки указанных методов. Показаны основные пути их устранения. Также рассмотрены предположения о высокой прогностической силе этих методов и пути увеличения результативности

методологии диагностики заболеваний с помощью комитетных методов в сопоставлении с устоявшимися в медицине. Кроме того утверждается что использование комитетного и дискриминантного методов в диагностике заболеваний не только выполняет вспомогательную функцию в установлении диагноза, но и должно стать обязательным атрибутом данного процесса.

6. Разработаны методические положения применения предложенного в работе метода диагностики для поиска латентных факторов риска заболеваний, что позволяет увеличивать долю вовремя диагностированных больных.

7. Создан алгоритм управления диагностикой заболеваний, включающий в себя качественно новые блоки, основанные на методах комитетного и дискриминантного анализа, усовершенствованных автором диссертации.

8. Осуществлена апробация усовершенствованных в диссертационной работе методов комитетного и дискриминантного анализа для решения задачи диагностики первичных головных болей. Произведен сравнительный анализ работы комитетных методов и методов машинного обучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 г.: указ Президента Рос. Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 // Российская газета. – 2018. – Вып. 97. – С. 4.
2. Абалкин Л. И. Экономическая стратегия для России: проблема выбора / Л. И. Абалкин. - М.: ИЭ РАН, 1997 – 148 с.
3. Агарагимов М. М. Метод комитетов: новое направление задач оптимизации и распознавания образов / М. М. Агарагимов // Функционально-дифференциальные уравнения и их основные аспекты: сб. мат. II Междунар. научно-практич. конф. – Махачкала, 2016. – С. 162-164.
4. Аккредитация медицинских учреждений в России: 10 лет бессистемного развития / С. Н. Горбунов [и др.] // Проблемы стандартизации в здравоохранении. – 2002. – № 2. – С. 3-10.
5. Амалицкая С. М. Опыт организации аккредитации субъектов, осуществляющих медицинскую деятельность в Москве / С. М. Амалицкая // Мед.-соц. экспертиза и реабилитация. – 1999. – № 3. – С. 35-36.
6. Анализ качества медицинской помощи пациенту стационара [Электронный ресурс] / О. А. Смирнова [и др.] // Вестн. новых мед. технологий: Электрон. изд. – 2015. – № 1. – Режим доступа: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-1/4966.pdf>.
7. Анализ качества работы врачей стоматологов-терапевтов в зависимости от степени алгоритмизации лечебного процесса / Ю. М. Максимовский [и др.] // Стоматолог. – 2006. – № 3. – С. 15-18.
8. Анализ комиссионных судебно-медицинских экспертиз по делам в отношении медицинских работников / О. А. Быховская [и др.] // Суд.-мед. экспертиза. – 2018. – № 5. – С. 18-20.

9. Артымук В. А. Здоровоохранение в Российской Федерации: конституционные принципы, основы и гарантии / В. А. Артымук // *Мать и дитя в Кузбассе*. – 2019. – № 2. – С. 24-29.
10. Баяковский Ю. М. ГРАФОР: комплекс графических программ на ФОРТРАНе / Ю. М. Баяковский, Т. Н. Михайлова, С. Т. Мишакова. – Вып. 1. Основные элементы графики: [Препринт № 41]. – М.: ИПМ АН СССР, 1972. – 60 с.
11. Белецкий Н. Г. Комитетные конструкции в многоклассовых задачах распознавания образов: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. физ.-мат. наук / Н. Г. Белецкий. – Свердловск, 1984. - 17 с.
12. Бедорева И. Ю. Применение процессного подхода в системе управления качеством медицинской помощи / И. Ю. Бедорева и др. // *Хирургия позвоночника*. – 2007. – №4. – С. 62-72.
13. Бондаренко Н. Н. Экспертиза и контроль качества стоматологических услуг / Н. Н. Бондаренко // *Стоматолог*. – 2006. – № 1. – С. 3-7.
14. Боярский А. П. Современное состояние здравоохранения по оценкам медицинских работников / А. П. Боярский, Т. В. Чернова, Н. П. Якимович // *Здравоохранение РФ*. – 1994. – № 2. – С. 13-14.
15. Быховский М. Л. Кибернетические системы в медицине / М. Л. Быховский, А. А. Вишневский. - М.: Наука, 1971. - 408 с.
16. Василенко С. А. Проблема доступности медицинских услуг для коренного населения и мигрантов в рамках ЕС и ВОЗ / С. А. Василенко, Ю. В. Корнева // *Азимут науч. исслед.: экономика и управление*. – 2018. – Т. 7, № 2 (23). – С. 391-395.
17. Возможности графической диалоговой системы ГРАДИС / Л. С. Пономарева [и др.] // *Программное обеспечение БЭСМ-6*. – Свердловск, 1978. – Вып. 1. – С. 3-44.
18. Волочиенко В. Л. Теоретические основы применения методов и систем распознавания при разработке и принятии управленческих решений

- / В. Л. Волочиенко // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2006. – № 7. – С. 76-84.
19. Воробьев Н. Н. Исследование операций / Н.Н. Воробьев // Мат. энциклопедия. Т. 2. – М., 1979. – С. 675-680.
20. Вялков А. И. Нормативно-правовая база стандартизации в здравоохранении / А. И. Вялков, О. С. Якимов, П. А. Воробьев // Экономика здравоохранения. – 1999. – № 2-3. – С. 36-42.
21. Вялков А. И. Роль стандартизации в выполнении задач совершенствования медицинской помощи населению в соответствии с программой социально-экономического развития Российской Федерации на среднесрочную перспективу (2002-2004 годы) / А. И. Вялков // Проблемы стандартизации в здравоохранении. – 2002. – № 3. – С. 3-10.
22. Гайнанов Д. Н. Математическое и программное обеспечение вычислительных комплексов для решения задач анализа несовместных систем с массивно параллельной обработкой данных: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра физ.-мат. наук / Д. Н. Гайнанов. – М., 2018. – 16 с.
23. Галкин Р. А. Опыт контроля качества медицинской помощи в условиях обязательного медицинского страхования в Самарской области / Р. А. Галкин, В. В. Павлов, С. И. Кузнецов // Здравоохранение и продолжительность жизни в России: сб. науч. тр. Междунар. ин-та развития правовой экономики. – М., 1996. – С. 154-160.
24. Галкин Р. А. Экспертиза качества медицинской помощи в условиях обязательного медицинского страхования / Р. А. Галкин, В. В. Павлов, С. И. Кузнецов // Бюл. НИИ соц. гигиены, экономики и упр. здравоохранением им. Н. А. Семашко. – 1996. – Вып. 3. – С. 40-42.
25. Гераскина О. А. Проблемы и перспективы обязательного медицинского страхования и добровольного медицинского страхования в России / О. А. Гераскина // Политика, экономика и инновации. – 2016. – № 7. – С. 1-4.

26. Гилёв Д. В. Комитетное решение и циклическая динамика противоречивой задачи выбора стратегии лечения / Д.В. Гилёв // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2019. – Т.9, № 9-1. – С. 356-361.
27. Гилёв Д. В., Мазуров В. Д. Объективные факторы и их смыслы / Д.В. Гилёв, В.Д. Мазуров // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 13-19. DOI: 10.14529/ctcr170402
28. Гилёв Д.В. Экономическое бремя несения неврологических заболеваний и совершенствование оказания медицинской помощи: Тез. Докл. I Всероссийской научно-практической конференции Региональные перспективы развития экономики здоровья. – Уфа, БашГУ, 2019. – С.180-183.
29. Гилёв Д.В. Распознавание образов как вспомогательный математический аппарат оценки финансового состояния предприятия / Д.В. Гилёв // Финансы и учет. – 2014. – № 3. – С. 9-12.
30. Горбунов С. Н. Исторический анализ законодательных и нормативно-правовых актов Российской Федерации последнего десятилетия, связанных с лицензированием медицинской деятельности / С. Н. Горбунов, П. А. Воробьев // Проблемы стандартизации в здравоохранении. – 2003. – № 1. – С. 8-14.
31. Голева О. И. Экономическая оценка потерь от инвалидизации населения в РФ: подходы и методы / О. И. Голева // Финансы: теория и практика – 2017. – №5. – С. 30-39.
32. Дзизинский А. А. Диагностические ошибки в современной клинике / А. А. Дзизинский // Клин. медицина. – 1979. – № 1. – С. 104-110.
33. Димов А. С. Классификация и анализ причин диагностических ошибок на догоспитальном этапе ведения больных внутренними заболеваниями: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. мед. наук / А. С. Димов. – Казань, 1981. – 19 с.

34. Домбровская Е. Е. Дискриминация параллельными плоскостями [Дипломная работа] / Е. Е. Домбровская; Уральский гос. ун-т. – Свердловск, 1979.
35. Дьяконов А. Г. Алгебраические замыкания обобщенной модели алгоритмов распознавания, основанных на вычислении оценок / А. Г. Дьяконов // Математические методы распознавания образов. – 2009. – Т. 14, № 1. – С. 33-36.
36. Еремин И. И. Итерационный метод обучения дискриминации бесконечных множеств / И. И. Еремин, В. Д. Мазуров // Кибернетика. – 1977. – № 5. – С. 108-110.
37. Заболеваемость всего населения России в 2018 году / Статистические материалы. Часть II. М.: Министерство здравоохранения Российской Федерации, Департамент мониторинга, анализа и стратегического развития здравоохранения, ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» Минздрава, 2019. С. 5-6
38. Звонков В. Б. Модифицированные интеллектуальные алгоритмы оптимизации и анализа данных / В. Б. Звонков, А. М. Попов, М. В. Савельева // Молодежь. Общество. Современная наука, техника и инновации. – 2014. – № 13. – С. 231-234.
39. Зенин А. В. Анализ методов распознавания образов / А. В. Зенин // Молодой ученый. – 2017. – № 16 (150). – С. 125-130.
40. Зеркин Д. П. Основы теории государственного управления / Д. П. Зеркин, В. Г. Игнатов. – Ростов н/Д: МарТ, 2000. – 448 с..
41. Зинчук Ю. Ю. Фактор заработной платы во влиянии на качество медицинской помощи в муниципальных лечебно-профилактических учреждениях / Ю. Ю. Зинчук // Экономика здравоохранения. – 2009. – № 4. – С. 26-30.

42. Зубов С. В. О стандартизации и контроле качества стоматологической помощи / С. В. Зубов, Е. В. Сдобнов // Воен.-мед. журн. – 2009. – № 7. – С. 15-17.
43. Ибрагимли Х. И. О критериях качества стоматологической помощи / Х. И. Ибрагимли // Проблемы упр. здравоохранением. – 2008. – № 2 (39). – С. 32-35.
44. Ибрагимли Х. И. О преимуществах интегральных критериев оценки качества терапевтической стоматологической помощи / Х. И. Ибрагимли // Проблемы упр. здравоохранением. – 2007. – № 6 (37). – С. 55-57.
45. Использование комитетов в задачах распознавания образов с неточными экспертными оценками / Б. М. Кувшинов [и др.] // Изв. Челяб. науч. центра. – 2001. – Вып. 2 (11). – С. 12-17.
46. Использование метода аккредитации в системах управления качеством в здравоохранении зарубежных стран / А. С. Юрьев [и др.] // Проблемы стандартизации в здравоохранении. – 2004. – № 1. – С. 27-39.
47. Калиниченко В. И. Экспертиза лечебно-диагностического процесса в оценке качества медицинской помощи / В. И. Калиниченко // Проблемы соц. гигиены, здравоохранения и история медицины. – 1999. – № 6. – С. 30-31.
48. Калугина А. М. Метод производящих функций для процедуры выбора комитета / А. М. Калугина // Учен. записки Забайкальского гос. гуманитарно-педагогич. ун-та. – 2009. – № 2 (25). – С. 137-140.
49. Каплан Р. С. Сбалансированная система показателей: от стратегии к действию / Р. С. Каплан, Д. П. Нортон; [пер. с англ. М. Павловой] . – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Олимп-Бизнес, 2005. – 294 с.
50. Кислицына О. А. Восприятие россиянами несправедливости неравенства в доступе к услугам здравоохранения и детерминирующие его факторы / О. А. Кислицына // Соц. аспекты здоровья населения. – 2018. – № 3. – С. 1-10.

51. Кныш М. И. Стратегическое управление корпорациями / М. И. Кныш, В. В. Пучков, Ю. П. Тютиков. – СПб.: КультИнформ Пресс, 2002. – 239 с.
52. Кобылкин К.С. Вопросы построения комитета несовместной системы неравенств: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. физ.-мат. наук / К.С. Кобылкин. – Екатеринбург, 2005. – 18 с.
53. Кобылкин К.С. Метод исключения ограничений для задачи о комитете / К.С. Кобылкин // Автоматика и телемеханика. – 2012. – № 2. – С. 163-177.
54. Кобылкин К.С. Существование комитета системы линейных неравенств / К.С. Кобылкин // Методы оптимизации и их приложения: тр. школы-семинара. – Иркутск-Северобайкальск, 2005. – Т.1. – С. 131-134.
55. Ковалевская В. А. Логический подход к вероятностно-альтернативному прогнозу многофакторных процессов / В. А. Ковалевская, В. М. Кубрак // Вестник Кузбасского гос. технич. ун-та. – 2003. – № 5. – С. 5-7.
56. Ковалевская В. А. Научно-методические основы применения распознавания образов для многофакторного прогноза при решении прикладных задач / В. А. Ковалевская, В. М. Кубрак, Л. Е. Мякишева // Вестн. Кузбасского гос. технич. ун-та. – 2003. – № 5. – С. 7-15.
57. Колчин Р. В. Применение математических моделей обработки медицинской диагностической информации в медицинских информационных системах / Р. В. Колчин, В. И. Тещук // Актуальные проблемы транспортной медицины. – 2011. – № 2 (24). – С. 135-138.
58. Комаров Ю. М. Качество медицинской помощи как одно из приоритетных направлений развития здравоохранения / Ю. М. Комаров // Здравоохранение. – 2009. – № 10. – С. 35-45.
59. Комаров Ю. М. Концептуальные подходы к управлению качеством медицинской помощи / Ю. М. Комаров, А. В. Короткова, Г. И. Галанова //

Упр. качеством мед. помощи в РФ: мат. IV Рос. науч.-практ. конф. (29-30 мая 1997 г.). – М., 1997. – С. 30-53.

60. Кончевский Д. И. Комитет нейронных сетей с арбитром / Д. И. Кончевский // Современные тенденции развития науки и производства: сб. мат. Междунар. науч.-практ. конф. – Кемерово, 2014. – С. 51.

61. Кочина М. Л. Методы оценки степени тяжести состояния пациентов / М. Л. Кочина // М. Л. Кочина, М. Н. Нессонова // Кибернетика и вычислительная техника. – 2014. – № 1. – С. 73-87.

62. Краснопольский Б. И. Об особенностях решения больших систем линейных алгебраических уравнений на многопроцессорных вычислительных системах различной архитектуры / Б. И. Краснопольский // Вычислительные методы и программирование. – 2011. – Т. 12, № 1. – С. 176-182.

63. Красова Е. М. Критерии оценки качества услуг / Е. М. Красова // Молодой ученый. – 2009. – № 11. – С. 128-130.

64. Кривоногов А. И. Некоторые модификации комитетных алгоритмов / А. И. Кривоногов // Тр. Ин-та математики и механики. – Свердловск, 1979. – Вып. 27. – С. 49-55.

65. Кувшинов Б. М. Адаптивная модель распознавания образов для решения задач классификации в условиях неопределенности: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. технич. наук / Б. М. Кувшинов. – Челябинск, 2004. – 15 с.

66. Кувшинов Б. М. Метод комитетов в задачах распознавания образов в условиях неопределенности априорной информации / Б. М. Кувшинов, О. В. Ширяев // Вестн. Южно-Уральского гос. ун-та. Серия: Математика, механика, физика. – 2002. – № 3. – С. 34-43.

67. Куликова Л. И. Выбор оптимальных условий аналитического описания контурных объектов в задачах анализа изображений и распознавания образов / Л. И. Куликова, С. А. Махортых // Исследовано в России. – 2005. – № 144. – С. 1501-1511.

68. Лазеева М. П. Программная реализация вероятностно-статистического непараметрического метода распознавания образов / М. П. Лазеева, А. В. Дерюшев // Вестн. Кузбасского гос. технич. ун-та. – 2004. – № 4. – С. 117-119.
69. Лапко А. В. Непараметрические модели распознавания образов в условиях малых выборок / А. В. Лапко, В. А. Лапко, С. В. Ченцов // Автометрия. – 1999. – № 6. – С. 105-113.
70. Лебедева, Е. Р., Кобзева, Н. Р., Гилёв, Д.В., Олесен, Е. Анализ качества диагностики и лечения первичной головной боли в разных социальных группах уральского региона / Е.Р. Лебедева, Н.Р. Кобзева, Д.В. Гилёв, Е. Олесен. // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. – 2015. – №7, 1. – С. 19– 26.
71. Логиновский О.В., Гилёв Д.В. Использование математических методов диагностики как фактор эффективного управления медицинской организацией / О.В. Логиновский О.В., Д.В. Гилёв // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2020. – Т.20, № 4. – С. 95–103.
72. Логиновский О.В., Гилёв Д.В. Совершенствование алгоритма управления оказанием медицинской услуги на основе комитетных методов / О.В. Логиновский, Д.В. Гилёв // Прикладная математика и вопросы управления. – 2020. – №4. – С.
73. Логиновский О. В. Стратегическое управление регионами: от сложившихся подходов к учету современных реалий / О. В. Логиновский, А. А. Максимов // Проблемы управления. – 2017. – № 6. – С. 19-31.
74. Логиновский О. В. Управление материальными ресурсами промышленного предприятия в современных условиях / О. В. Логиновский, А. А. Максимов, К. С. Халдин // Динамика сложных систем – XXI век. – 2016. – № 2. – С. 33-38.

75. Логиновский О. В. Управление промышленным предприятием: научное издание. Т. 1 / О. В. Логиновский, А. А. Максимов. – М. Машиностроение, 2006. – 603 с.
76. Логиновский О. В. Управление социально-экономическим развитием государства социально-экономическим развитием государства: научное издание. Т. 4 / О. В. Логиновский, В. В. Елагин. – М.: Машиностроение, 2006. – 544 с.
77. Логиновский О. В. Эффективное управление организационными и производственными структурами : монография / О.В. Логиновский, А.В. Голлай, О.И. Дранко, А.Л. Шестаков, А.А. Шинкарев ; под ред. О.В. Логиновского. – Москва : ИНФРА-М, 2020. – 450 с.
78. Львов Д. С. Экономика развития / Д. С. Львов. – М. : Экзамен, 2002. – 512 с.
79. Мазуров В. Д. Ассоциативные методы в решении задач классификации и оптимизации [Электронный ресурс] / В. Д. Мазуров // Мат. семинара отдела математического программирования; Ин-т математики и механики. – 23 июня 2017 года. – Режим доступа: <http://www-rus.imm.uran.ru/OMP/Document%20Library/Seminar.aspx>
80. Мазуров В. Д. Восприятие и обработка информации на основе комитетных конструкций / В. Д. Мазуров // Передача, обработка, восприятие текстовой и графической информации: мат. Междунар. науч.-практич. конф. – Екатеринбург, 2015. – С. 292-294.
81. Мазуров В. Д., Гилёв Д.В. Анализ и синтез нейронных сетей, систем с мажоритарными логиками и логиками старшинства / В.Д. Мазуров, Д.В. Гилёв // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2017. – Т. 17, № 1. – С. 119-125. DOI: 10.14529/ctcr170113
82. Мазуров В. Д., Гилёв Д.В. О сократимости комитета системы линейных неравенств / В.Д. Мазуров, Д.В. Гилёв // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные

- технологии, управление, радиоэлектроника. – 2016. – Т.16, № 3. – С. 5-14.
DOI: 10.14529/ctcr160301
83. Мазуров, В. Д., Гилёв, Д.В. Смыслы несобственных задач классификации и оптимизации / В.Д. Мазуров, Д.В. Гилёв // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2016. – Т.16, № 4. – С. 13-18.
DOI: 10.14529/ctcr160402
84. Мазуров В.Д., Гилёв Д.В. Управление качеством на основе распознавания / В.Д. Мазуров, Д.В. Гилёв // Инновации и инвестиции. – 2013. – № 8. – С. 134-136.
85. Мазуров В. Д. Комитетные конструкции для решения задач выбора, диагностики и прогнозирования / В. Д. Мазуров, М. Ю. Хачай, А. И. Рыбин // Тр. Ин-та математики и механики. – 2002. – Т. 8, № 1. – С. 66-102.
86. Мазуров В.Д. Комитеты систем линейных неравенств / В. Д. Мазуров, М. Ю. Хачай // Автоматика и телемеханика. – 2004. – № 2. – С. 43-54.
87. Мазуров В. Д. Комитеты системы неравенств и задача распознавания / В. Д. Мазуров // Кибернетика. – 1971. – № 3. – С. 140-146.
88. Мазуров В. Д. Конструкции метода комитетов / В. Д. Мазуров, М. Ю. Хачай // Изв. Уральского ун-та. Серия: Математика и механика. – 1999. – Вып. 2 (14). – С. 77-109.
89. Мазуров В. Д. Критерий существования сохраняющих управлений задачи оптимальной эксплуатации системы с бинарной структурой / В. Д. Мазуров, А. И. Смирнов // Тр. Ин-та математики и механики. – 2020. – Т. 26, № 3. – С. 101-117.
90. Мазуров В. Д. Логические парадоксы и их роль в математическом моделировании / В. Д. Мазуров // Вестн. Южно-Уральского гос. ун-та. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 15-23.

91. Мазуров В.Д. Математические методы распознавания образов / В. Д. Мазуров. – Свердловск: Изд-во УрГУ, 1982. – 83 с.
92. Мазуров В. Д. Математические модели диагностики и прогнозирования в медицине и биологии / В. Д. Мазуров, А. Д. Мазуров, А. А. Шестаков // Вестн. Уральского ин-та экономики, упр. и права. – 2012. – № 4. – С. 98-108.
93. Мазуров В. Д. Метод комитетов в задачах оптимизации и классификации / В. Д. Мазуров. – М.: Наука, 1990. – 348 с.
94. Мазуров В. Д. Метод комитетов в распознавании образов / В. Д. Мазуров, Л. И. Тягунов // Тр. Ин-та математики и механики. – Свердловск, 1974. – Вып. 6. – С. 10-40.
95. Мазуров В. Д. Методы математического программирования и распознавания образов в планировании производства / В. Д. Мазуров // Тр. Ин-та математики и механики. – Свердловск, 1977. – Вып. 22. - С. 3-27.
96. Мазуров В. Д. Модель экономической динамики в противоречивых условиях / В. Д. Мазуров, Д. В. Гилев // Науч. труды SWorld. – 2012. – Т. 31, № 4. – С. 55-59.
97. Мазуров В. Д. О комитете системы выпуклых неравенств / В. Д. Мазуров // Тез. докл. Междунар. конгресса математиков. – М., 1966. – С. 41.
98. Мазуров В. Д. О некоторых подходах к моделированию противоречивых знаний / В. Д. Мазуров, А. И. Смирнов // Вестн. Уральского ин-та экономики, упр. и права. – 2016. – № 4. – С. 68-75.
99. Мазуров В. Д. О построении комитета системы выпуклых неравенств / В. Д. Мазуров // Кибернетика. – 1967. – № 2. – С. 56-59.
100. Мазуров В. Д. Представители множеств в диагностике / В. Д. Мазуров, А. И. Смирнов // Вестн. Уральского ин-та экономики, упр. и права. – 2015. – № 2. – С. 9-15.

101. Мазуров В. Д. Распознавание комитетов как неформальный блок вычислительного метода / В. Д. Мазуров, Л. И. Тягунов. – Свердловск: Изд-во ИММ УНЦ АН СССР, 1968. – 13 с.
102. Мазуров В. Д. Распознавание образов как средство автоматического выбора процедуры в вычислительных методах / В. Д. Мазуров // Журн. вычислит. математики и мат. физики. – 1970. – Т. 10, № 6. – С. 217-224.
103. Мерков А. Б. Распознавание образов: построение и обучение вероятностных моделей / А. Б. Мерков; Рос. акад. наук, Ин-т систем. анализа. - М.: ЛЕНАНД, 2014. – 238 с.
104. Мигущенко Р. П. Анализ вероятностных моделей параметрических правил принятия решений функциональной диагностики / Р. П. Мигущенко // Вестн. Гомельского гос. технич. ун-та. – 2014. – № 3. – С. 17-21.
105. Нечаева О. Б. Оценка оказания медицинской помощи при онкологических заболеваниях в России / О. Б. Нечаева // Современные проблемы здравоохранения и мед. статистики. – 2020. – № 1. – С. 246-266.
106. Никонов О. И. Применение метода комитетов к решению задач прогнозирования валютного рынка / О. И. Никонов, Ф. П. Чернавин, Н. П. Чернавин // Вестн. Уральского ин-та экономики, упр. и права. – 2015. – № 2. – С. 31-38.
107. Никонов О. И. Современные методы классификации: Метод комитетов / О. И. Никонов, Ф. П. Чернавин // Социально-экономическое развитие регионов России: сб. тр. – М., 2014. – С. 214-218.
108. Нильсон Н. Обучающиеся машины / Н. Нильсон. – М.: Мир, 1968. – 176 с.
109. Новиков Д. А. Методология управления / Д. А. Новиков. – М.: Либроком, 2011. – 128 с.
110. Новиков Д. А. Теория управления организационными системами / Д. А. Новиков. – М.: Изд-во физ.-мат. лит-ра, 2012. – 604 с.

111. Новикова Н. М. Компьютерная модель статистического распознавания изображений / Н. М. Новикова, С. А. Ноаман // Науч. ведомости Белгородского гос. ун-та. Серия: Экономика. Информатика. – 2012. – № 13. – С. 135-141.
112. Обучение многоклассовому распознаванию образов по большим обучающим совокупностям / А. А. Маленичев [и др.] // Изв. Тульского гос. ун-та. Серия: Естественные науки. – 2015. – Вып. 4. – С. 31-44.
113. Оценка качества оказания государственных (муниципальных) услуг: методологический и комплексный подход / П. В. Шмыгалева [и др.] // Вестн. Адыгейского гос. ун-та. Серия 5: Экономика. – 2016. – № 2 (180). – С.171-177.
114. Пакет КВАЗАР как средство решения задачи классификации / В. Д. Мазуров [и др.] // Структура и организация ППП: сб. ст. – Свердловск, 1983. – С. 33-52.
115. Пакет КВАЗАР прикладных программ распознавания образов: Версия 2: Информ. материалы по матем. обеспечению / В. Д. Мазуров [и др.]. – Свердловск: Изд-во ИММ УНЦ АН СССР, 1979. – 121 с.
116. Плотников С. В. К задаче построения кусочно-линейной дискриминантной функции / С. В. Плотников // Вестн. Уральского ин-та экономики, упр. и права. – 2015. – № 1 (30). – С. 66-69.
117. Пытьев Ю. П. Сравнительный анализ эффективности вероятностного и возможностного алгоритмов медицинской диагностики / Ю. П. Пытьев, В. А. Газарян, П. Б. Росницкий // Вестн. Московского ун-та. Серия 3: Физика. Астрономия. – 2014. – № 3. – С. 8-14.
118. Реализация графической диалоговой системы ГРАДИС / В. Л. Авербух [и др.] – Автометрия. – 1978. – № 5. – С. 41-47.
119. Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики / Ф. Розенблатт. – М.: Мир, 1957. – 478 с.

120. Савельева М. В. Духовно-нравственные основы взаимодействия пациента и врача / М. В. Савельева // Гуманизация образования. – 2011. – № 5. – С. 30-35.
121. Садовникова Ю. Ю. Оценка эффективности управления системой здравоохранения в Российской Федерации: современные проблемы и тренды реформирования / Ю. Ю. Садовникова, Л. Н. Тимейчук, Г. Г. Уварова // Госуд. и муниципальное упр.: Учен. записки. – 2019. – № 4. – С. 55-62.
122. Садыков С. С. Распознавание отдельных плоских объектов по безразмерным признакам выпуклых оболочек их бинарных изображений методом линейного дискриминантного анализа / С. С. Садыков, Я. Ю. Кульков // Тр. Междунар. симпозиума «Надежность и качество». – 2016. – Т. 1. – С. 135-137.
123. Сачков Н. О. Смешанные системы неравенств в обучаемых методах оптимизации : автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. физ.-мат. наук / Н. О. Сачков. – Свердловск, 1984. – 16 с.
124. Семенов В. Ю. Заболеваемость населения Российской Федерации: географические особенности / В. Ю. Семенов // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2015. – №6. – С. 6-9.
125. Смирнов А. И. Условия примитивности нелинейного оператора шага некоторых итерационных процессов в терминах матриц / А. И. Смирнов // Вестн. Уральского ин-та экономики, упр. и права. – 2015. – № 1 (30). – С. 70-78.
126. Структура и реализация системы ГРАДИС / В. Л. Авербух [и др.] // Программное обеспечение БЭСМ-6. – Свердловск, 1978. – Вып. 1. – С. 45-61.
127. Тимонина Е. Н. Проблема выбора: обязательное медицинское страхование, добровольное медицинское страхование или услуги частных клиник / Е. Н. Тимонина // Страховые интересы современного общества и

их обеспечение: мат. XIV Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов, 2013. – С. 346-349.

128. Томас Р. Количественный анализ хозяйственных операций и управленческих решений: пер. с англ. / Р. Томас. – М.: Дело и Сервис, 2003. – 432 с.

129. Томпсон А. А. Стратегический менеджмент: концепции и ситуации для анализа: пер. с англ. / А. А. Томпсон, А. Дж. Стрикленд. – С.: Вильямс, 2007. – 928 с.

130. Управление изменениями в процессе перехода здравоохранения от сертификации к аккредитации медицинских работников / В. Н. Трегубов [и др.] // Проблемы соц. гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2017. – № 2. – С. 92-96.

131. Управление социально-экономическим развитием России: концепции, цели, механизмы / рук. авт. кол. Д. С. Львов, А. Г. Поршнев; Гос. ун-т упр., Отделение экономики РАН. – М.: Экономика, 2002. – 702 с.

132. Фань Цзи О системах линейных неравенств / Фань Цзи // Линейные неравенства и смежные вопросы: сб. работ. – М., 1959. – С. 214-262.

133. Федотов Н. Г. Вопросы построения алгоритмов сокращения признакового пространства на основе селекции информативных признаков / Н. Г. Федотов, А. А. Семов, А. В. Моисеев // Тр. Междунар. симпозиума «Надежность и качество». – 2016. – Т. 1. – С. 299-301.

134. Фомин В. Н. Математическая теория обучаемых опознающих систем / В. Н. Фомин. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1976. – 236 с.

135. Хачай М. Ю. Об оценке числа членов минимального комитета системы линейных неравенств / М. Ю. Хачай // Журн. вычислит. математики и мат. физики. – 1997. – Т. 37, № 11. – С. 1399-1404.

136. Чернавин Ф. П. Применение метода комитетов для решения задач классификации / Ф. П. Чернавин // Российские регионы в фокусе перемен: сб. докладов XII Междунар. конф. – Екатеринбург, 2018. – С. 437-447.

137. Черников С. Н. Линейные неравенства / С. Н. Черников. – М.: Наука, 1969. – 488 с.
138. Черников С. Н. Свертывание конечных систем линейных неравенств / С. Н. Черников // Журн. вычислит. математики и мат. физики. — 1965. — № 5. – С. 3–20.
139. Чернов В. А. Эволюция и перспективы экономико-математического моделирования в управленческом анализе / В. А. Чернов // Аудит и финансовый анализ. – 2016. – № 1. – С. 122-141.
140. Чукаева В.А., Гилёв Д.В. Исследование влияния макроэкономических показателей на вероятность банкротства предприятий строительного сектора / В.А. Чукаева, Д.В. Гилёв // Обществ и экономика. – 2018. – № 10. – С. 69–78.
141. Щербина В. В. Средства социологической диагностики в системе управления / В. В. Щербина; МГУ им. М. В. Ломоносова. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 116 с.
142. Экономико-математическая модель рационального подбора шихт для коксования из углей Карагандинского бассейна / Е. В. Беляев [и др.] // Экономика черной металлургии: тематич. сб. науч. тр. ин-тов и предприятий отрасли. – М., 1972. – Вып. 1. – С. 189-193.
143. Эралиева Г. А. Международная аккредитация медицинских учреждений / Г. А. Эралиева, Д. Ш. К. Зайнитдинова // International scientific review. – 2020. – № 67. – С. 102-104.
144. A mathematical approach to medical diagnosis. Application to congenital heart disease / H. R. Warner [et al.] // Journal of the American medical association. – 1961. – Vol. 177. – P. 177-183.
145. Abdullaev J. Analysis of types financing of institutions health care / J. Abdullaev // Bulletin of science and practice. – 2018. – Vol. 4, № 5. – P. 328-337.

146. Benčekroun B. A nonconvex, piecewise linear optimization problem / B. Benčekroun, J. E. Falk // *Computers and mathematics with applications*. – 1991. – Vol.21, № 6-7. – P.77-85.
147. Blaha S. The convergence of a committee solution of the pattern recognition problem / S. Blaha // *Kybernetika*. – 1969. – Vol. 6, № 5. – P. 474-483.
148. Donabedian A. Models of quality assurance / A. Donabedian; University of North Carolina in Chapel Hill // *Leonard S. Rosenfeld memorial lecture*. – 1993. – P. 25-35.
149. Donabedian A. The definition of quality and approached to its assessment / A. Donabedian // *Ann Arbor: Health Administration Press*, 1980. – 85 p.
150. Donabedian A. The seven pillars of quality / A. Donabedian // *Archives of pathology and laboratory medicine*. – 1990. – Vol. 64. – P. 1114-1115, 1118.
151. Enslein K. *Data Acquisition and processing in biology and medicine: V. 2* / K. Enslein. – Oxford: Pergamon press, 1964. – 191 p.
152. Gilev D.V., Loginovskii O.V. Diagnostics of diseases as a fundamental factor in improving the quality of services in the entrepreneurship activity of medical institutions / D.V. Gilev, O.V. Loginoskii // *Academy of Entrepreneurship Journal*. – 2020– Vol. 26, Special I. 2. – P. 11-18.
153. Gilev D.V., Loginovskii O.V. Using Neural Network for Simulations to Improve the Quality of Disease Diagnosis: Technical Aspects / D.V. Gilev, O.V. Loginoskii // *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 9, I. 4. – 2020. – P. 6156-6159.
154. Headache-attributed burden and its impact on productivity and quality of life in Russia: structured healthcare for headache is urgently needed / I. Ayzenberg, Z. Katsarava, A. Sborowski [et al.] // *European journal of neurology*. – 2014. – Vol. 21. – P. 758-765.
155. Headache Classification Committee of the International Headache Society (IHS) *The International Classification of Headache Disorders, 3rd edition (beta version)* // *Cephalalgia*. - 2013. - Vol. 33, № 9. - P. 629-808.

156. Hoeffding, W. (1963). Probability inequalities for sums of bounded random variables / W. Hoeffding // Journal of the American statistical association. – 1963. – Vol. 58. – P. 13-30.
157. Hu B. Q. A novel approach in uncertain programming: New arithmetic and order relation for interval numbers / B. Q. Hu // Journal of industrial and management optimization. – 2006. – Vol. 2 (4). – P. 351-371.
158. Kaylor C. M. Inconsistent homogeneous linear inequalities / C. M. Kaylor, D. J. Ablow // Bulletin of the American mathematical society. – 1965. – Vol. 71, № 5. – P. 724.
159. Keown A. J. Financial management: Principles and applications (10th Edition) / A. J. Keown, D. F. Scott, J. D. Martin, J. W. Petty // Prentice hall, Inc. Upper Saddle River. – N.J., 2004. – 924 p.
160. Kloek T. Loss development forecasting models: an econometrician's view / T. Kloek // Insurance: Mathematics and economics. – 1999. Vol. 23. Issue 3. – P. 251-261.
161. Lebedeva, E. R., Gilev, D. V., Olesen, J., Gurary, N. M., Christensen, A. F. Improving the differential diagnosis between migraine with aura and transient ischemic attacks / E.R. Lebedeva, D.V. Gilev, J. Olesen, N.M. Gurary, A.F. Christensen, // Journal of headache and pain. – 2017. – Vol. 18. S.1. – P. 138.
162. Lebedeva E.R., Gurary N.M., Gilev D.V., Christensen A.F., Olesen J. Explicit diagnostic criteria for transient ischemic attacks to differentiate it from migraine with aura / E.R. Lebedeva, N.M. Gurary, D.V. Gilev, A.F. Christensen, J. Olesen // Cephalalgia. – 2018. – Vol. 38(8). – P.1463-1470. doi: 10.1177/0333102417736901.
163. Lebedeva, E. R., Gurary, N. M., Gilev, D. & Olesen, J. Possible risk factors for migraine and tension type headache / E.R. Lebedeva, N.R. Kobzeva, D.V. Gilev, J. Olesen // European Journal of Neurology. – 2016. – Vol. 23. – P. 774.

164. Lebedeva E.R., Gurary N.M., Gilev D.V., Olesen J. Prospective testing of ICHD-3 beta diagnostic criteria for migraine with aura and migraine with typical aura in patients with transient ischemic attacks / E.R. Lebedeva, N.M. Gurary, D.V. Gilev, J. Olesen // *Cephalalgia*. – 2018. – Vol. 38(3). – P. 561-567. doi: 10.1177/0333102417702121.
165. Lebedeva E.R., Kobzeva N.R., Gilev D.V., Kislyak N.V., Olesen J. Psychosocial factors associated with migraine and tension-type headache in medical students / E.R. Lebedeva, N.R. Kobzeva, D.V. Gilev, N.V. Kislyak, J. Olesen // *Cephalalgia*. – 2017. – Vol. 37(13). – P.1264-1271. doi: 10.1177/0333102416678389.
166. Lebedeva E.R., Kobzeva N.R., Gilev D.V., Olesen J. Factors associated with primary headache according to diagnosis, sex, and social group / E.R. Lebedeva, N.R. Kobzeva, D.V. Gilev, J. Olesen // *Headache*. – 2016. – Vol. 56(2). – P. 341-356. doi: 10.1111/head.12757.
167. Lebedeva, E. R., Kobzeva, N. R., Gilev, D., Olesen, J. Prevalence of primary headache disorders diagnosed according to ICHD-3 beta in three different social groups / E.R. Lebedeva, N.R. Kobzeva, D.V. Gilev, J. Olesen // *Cephalalgia*. – 2016. Vol. 36, I.6. – P. 579-588
- 168.
169. Lebedeva, E. R., Kobzeva, N. R., Gilev, D. V., Olesen, J., The quality of diagnosis and management of migraine and tension-type headache in three social groups in Russia / E.R. Lebedeva, N.R. Kobzeva, D.V. Gilev, J. Olesen // *Cephalalgia*. – 2017. – Vol. 37, I. 3. – P. 225-235
170. Lebedeva, E. R., Kobzeva N.R., Gilev, D. V, Olesen, J. Quality of diagnosis and management of headache in the general population / E.R. Lebedeva, N.R. Kobzeva, D.V. Gilev, J. Olesen // *Cephalalgia*. – 2015. – Vol. 35. – P. 76.
171. Lebedeva, E. R., Ushenin, A. V., Gurary, N. M., Gilev, D. V., Olesen, J., Sentinel headache as a predictor of ischemic stroke / E.R. Lebedeva, A.V.

Ushenin, N.M. Gurary, D.V. Gilev, J. Olesen // European Journal of Neurology. – 2020 – Vol. 27. – P. 297.

172. Lebedeva E.R., Ushenin A.V., Gurary N.M., Gilev D.V., Olesen J. Sentinel headache as a warning symptom of ischemic stroke / E.R. Lebedeva, A.V. Ushenin, N.M. Gurary, D.V. Gilev, J. Olesen // Headache Pain. – 2020. – Vol. 21(1). – P. 70. doi: 10.1186/s10194-020-01140-3.

173. Liberman, Ava L. Breakdowns in the initial patient-provider encounter are a frequent source of diagnostic error among ischemic stroke cases included in a large medical malpractice claims database. / Liberman, Ava L. Skillings, Jillian Greenberg, Penny Newman-Toker, David E. and Siegal // Diagnosis. – Vol. 7, Issue. 1. – Dana. 2019. – P. 37-40.

174. Liu S. On convergence analysis of iterative smoothing methods for a class of nonsmooth convex minimization problems / S. Liu, Z. Wang // Proceedings of the Seventh International joint conference on computational sciences and optimization. – Beijing, 2016. – P. 257-261.

175. Liu Y. Learning self-awareness in committee machines / Yong Liu // Proceedings of the 2016 International conference on machine learning and cybernetics. – Vol. 2. – Jeju, 2016. – P. 888-893.

176. Logic of medical diagnosis and a matrix-type electric diagnostic machine / K. Takahashi // 5th International conf. on medical electronics. - Liege, 1963.

177. Machine-learning system used to diagnose genetic diseases: Automation yields faster test results to inform personalized medical care [Electronic resource] // ScienceDaily. – 24 April 2019. – Mode of access: www.sciencedaily.com/releases/2019/04/190424153613.htm.

178. Mane, K. K. Diagnostic performance dashboards: tracking diagnostic errors using big data / Mane, K. K. and etc. // BMJ quality & safety. – 2018. – №27(7). - P. 567–570.

179. Mazurov V. D. Existential Issues of committee constructions: Part 1 / V. D. Mazurov, E. Y. Polyakova // Bull. Of the South Ural State University. Ser.:

Computer technologies, management and radio engineering. – 2018. – Vol. 18, № 3. – P. 165-171.

180. Mazurov V. D. Existential Issues of committee constructions: Part 2 / V. D. Mazurov, E. Y. Polyakova // Bull. Of the South Ural State University. Ser.: Computer technologies, management and radio engineering. – 2019. – Vol. 19, № 1. – P. 114-120.

181. Mazurov, V. D., Gilev, D. V. A method of reducing the number of members of the committee systems of linear inequalities / V.D. Mazurov, D.V. Gilev // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2017. – Vol. 27, I. 3. – P. 380-386.

182. Neirotti J. Learning in ultrametric committee machines / J. Neirotti // Journal of Statistical Physics. – 2012. – Vol. 149 (5). – P. 887-897.

183. Osborne M. Seniority logic: a logic for a committee machine / M. Osborne // IEEE Transactions of computers. – 1977. – Vol. C-26, №12. – P. 1302-1306.

184. Payne L. C. Toward medical automation / L. C. Payne // World medical electronics. – 1963. – Vol. 2. – P. 7-11.

185. Projections of national health expenditures data released (2016-2025) [Electronic resource]. - Mode of access: <https://www.cms.gov/newsroom/press-releases/2016-2025-projections-national-health-expenditures-data-released>.

186. Saad D. On-line learning in soft committee machines / D. Saad. S. A. Solla // Physical review. E, Statistical physics, plasmas, fluids, and related interdisciplinary topics. – 1995. – Vol. 52 (4). – P. 4225-4243.

187. Samonas M. Financial forecasting. Analysis and modeling: a framework for long-term forecasting / M. Samonas. – N. Y.: Wiley, 2015. – 232 p.

188. Schapire R. E. The strength of weak learnability / R. E. Schapire // Machine Learning. – 1990. – Vol. 5. – P. 197-227.

189. The Global Campaign, World Health Organization and lifting the burden: collaboration in action / T. J. Steiner, G. L. Birbeck, R. Jensen [et al.] // Journal of headache and pain. – 2011. – Vol.12, № 3. – P. 273-274.

190. Thomas D.B., Newman-Toker D.E. Diagnosis is a team sport - partnering with allied health professionals to reduce diagnostic errors. / Thomas D.B., Newman-Toker D.E. // *Diagnosis* / – 2016. Vol. 3(2). – P. 49-59.
191. Vuory H. V. Quality assurance of health services / H. V. Vuory // *Public Health in Europe*. – 1982. – Vol. 16. – P. 3-8.
192. Wang H. Smoothing iterative method for a class of nonsmooth equations / H. Wang, D. Cao, S. Li // *Computing technology*. – 2006. – Vol. 11, №6. – P. 3-10.
193. Wang H. The method of interval entropy function for ill-conditioned system of linear equations / H. Wang // *Computing technology*. – 2009. – Vol. 14, №3. – P. 3-13.
194. Wayne E. J. Statistical methods applied to the clinical diagnosis of thyrotoxicosis / E. J. Wayne, J. C. Crooks, I. D. Murray // *Quarterly journal of medicine*. – 1959. – Vol. 28 (211). – P. 211-234.

ПРИЛОЖЕНИЕ – заключение о практическом применении

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель министра
информационных технологий, связи и
цифрового развития Челябинской
области

В.В. Кокорюкин

«12» октября 2020 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

о практическом применении научных положений и разработок
диссертационной работы Гилёва Дениса Викторовича
на тему «Совершенствование методов управления оказанием услуг
медицинских учреждений на основе использования комитетного и
дискриминантного анализа для диагностики заболеваний»

Комиссия в составе:

Главный специалист информационно-аналитического отдела
Министерства информационных технологий, связи и цифрового развития
Челябинской области Золотых Светлана Анатольевна;

Профессор ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный
университет (национальный исследовательский университет)», доктор
технических наук, профессор Панферов Владимир Иванович (по
согласованию);

Доцент ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный
университет (национальный исследовательский университет)», кандидат
технических наук, доцент Коровин Александр Михайлович (по
согласованию);

Руководитель центра лечения головных болей «Европа-Азия»
доктор медицинских наук, профессор Лебедева Елена Разумовна (по
согласованию);

Рассмотрела материалы диссертационного исследования
«Совершенствование методов управления оказанием услуг медицинских
учреждений на основе использования комитетного и дискриминантного
анализа для диагностики заболеваний» Гилёва Дениса Викторовича и
сформулировала следующее заключение:

1. Содержание диссертационного исследования, публикации автора диссертации в открытой печати, сведения об апробации работы, а также другие научно-методические материалы и документы, представленные Гилёвым Д.В., позволяют констатировать, что рассматриваемая работа обладает научной новизной и имеет существенное практическое значение.

2. На основе анализа современных методов диагностики заболеваний, осуществляемых в медицинских учреждениях, выявления достоинств и недостатков этих методов показано, что повышение эффективности установления диагноза может быть произведено за счет применения математических методов, в частности комитетного и дискриминантного анализа, что позволяет органично дополнить используемые в настоящее время на практике лабораторно-инструментальные медицинские методы диагностики.

3. Исследуя комитетные методы автору работы удалось доказать, что сложность задачи нахождения минимального подкомитета для комитетов систем линейных неравенств существенно зависит от размерности пространства. В частности в n -мерном случае возможно ответить на вопрос о сократимости комитета исходя из того алгоритма, в результате работы которого данный комитет был получен. В случае произвольной системы включений, для нахождения минимального подкомитета возможно использовать алгоритм, основанный на методе фундаментального свертывания системы линейных неравенств. В рамках использования комитетных методов разработан метод снижения размерности задачи, способствующий сокращению количества факторов, необходимых для диагностики заболеваний.

4. В исследованиях Гилёва Д.В. рассмотрены успешные реализации применения дискриминантного анализа в классификации болезней, ему удалось обосновать возможности применения комитетных методов в задачах диагностики и уточнить основные недостатки этих методов, а также показать основные пути их устранения. Также рассмотрены предположения о высокой прогностической силе этих методов и пути увеличения результативности методологии диагностики заболеваний с помощью комитетных методов в сопоставлении с устоявшимися в медицине. Кроме того в работе доказывается что использование комитетного и дискриминантного методов в диагностике заболеваний не только выполняет вспомогательную функцию в установлении диагноза, но и должно стать обязательным атрибутом данного процесса.

5. Разработанный автором диссертации комплекс методических положений по практическому применению предложенных в работе

методов диагностики для поиска латентных факторов риска заболеваний, позволяет увеличивать долю вовремя диагностированных больных.

Особо следует отметить, что в работе создан алгоритм управления диагностикой заболеваний, включающий в себя качественно новые блоки, основанные на методах комитетного и дискриминантного анализа, усовершенствованных автором диссертации.

В результате Гилёвым Д.В. осуществлена апробация усовершенствованных в диссертационной работе методов комитетного и дискриминантного анализа для решения задачи диагностики первичных головных болей. Произведен сравнительный анализ работы комитетных методов и методов машинного обучения.

Комиссия считает, что совокупность научных положений и разработок диссертационной работы Гилёва Дениса Викторовича образует завершённое научное исследование позволяющее повысить эффективность работы медицинских учреждений за счет использования комитетного и дискриминантного методов в диагностике при оказании медицинских услуг населению.

Главный специалист
Министерства информационных
технологий, связи и цифрового
развития Челябинской области

С.А. Золотых

Доктор технических наук, профессор

В.И. Панферов

Кандидат технических наук, доцент

А.М. Коровин

Доктор медицинских наук, профессор

Е.Р. Лебедева