

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ КАК ФАКТОР ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ

О.В. Логиновский<sup>1</sup>, Д.В. Гилёв<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия,

<sup>2</sup> Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

Данная статья знакомит с основными математическими методами диагностики заболеваний. **Целью** исследования является применение комитетных методов для диагностики заболеваний для обеспечения эффективного управления медицинской организацией. **Методы исследования.** Для достижения поставленной цели использован усовершенствованный метод комитетов, использование которого позволяет эффективно решить задачу диагностики заболевания. С помощью статистического анализа были обработаны данные по классификации головных болей, на которых был апробирован метод комитетов. **Выводы исследования.** В работе вначале на основании изучения вопроса делается вывод, что диагностика является важнейшей задачей для осуществления эффективной деятельности любого медицинского учреждения. Далее, в теоретической части, формулируются основные модели диагностики, такие как дискриминантный анализ и таксономия (кластер-анализ). Затем для диагностирующей системы применяются методы дискриминантного анализа, позволяющие медицинскую задачу свести к системе линейных неравенств, используя прием разложения функции по базисным функциям. В конце статьи делаются важные выводы о том, что итерационные методы решения этой задачи группируются в основном вокруг метода линейной коррекции, а конечные методы – вокруг симплекс-метода. Также затрагивается вопрос использования коллективов решающих правил в пакетах прикладных программ. Далее в качестве практической части рассматривается применение описанных методов на конкретной медицинской задаче, а именно на диагностировании первичных головных болей по признакам. Для решения задачи строятся решающие правила, являющиеся следствием дискриминантного анализа. Для этих целей подключается метод комитетов, а в сравнении с ним применяются другие методы. Результаты показывают лучшую прогностическую силу у метода комитетов. В заключении делаются выводы про своеобразную специфику управления медицинскими организациями и выделяется критерий – правильная и своевременная диагностика – как один из основных, позволяющих говорить об эффективности управления с точки зрения охраны здоровья населения, что и является важным в комплексном подходе оценки эффективности медицинской организации. **Заключение.** Разработанный метод, связанный с диагностированием головных болей, смог обеспечить эффективную работу врачей и позволил снизить постановку неправильного диагноза в 2 раза, что соответственно повысило качество медицинской помощи.

*Ключевые слова:* медицинская диагностика, метод комитетов, эффективность управления, комплексный подход.

### Введение

Для оценки качества оказания медицинской помощи или медицинской услуги целесообразно использовать комплексный метод, который наиболее приемлем для управления качеством медицинской помощи. В основу его положен системный анализ технологии процесса, взаимодействия подразделений медицинской организации и корреляционной зависимости показателей их работы с учетом вклада в общий результат. Здесь применимы инструменты, используемые для улучшения процессов производства, экспертный метод и самые прогрессивные – математические методы. Тем не менее первое, на что обращают внимание при комплексном подходе, это на корректность и своевременность поставленного диагноза. Именно от правильности диагноза зависит дальнейшее адекватное лечение, выздоровление человека и улучшение его качества жизни, и как следствие – повышение субъективной оценки качества организации лечения. Именно без полного

диапазонного диагноза невозможно вскрыть истинные причины заболевания и получить эффективное лечение. Поставленный диагноз по внешним проявлениям порой не объясняет причину заболеваний, что говорит об устаревших методах диагностики. Для достижения повышения процента правильной диагностики необходимо изучение и анализ существующих методов диагностики заболеваний и их оценка с позиции соответствия современному научно-техническому уровню. Увеличение числа правильно поставленных диагнозов приведет к повышению качества оказания медицинской помощи и медицинской услуги в целом. Несмотря на обилие существующих методов диагностики, всё ещё остаются неразрешимые проблемы в этой области. Врачам приходится сталкиваться с методами, при которых необходимо обработать большой объём разнородной информации (симптомов) и попытаться по ней классифицировать болезнь. Таким образом, важно найти точные методы описания, исследования, оценки и контроля процесса постановки диагноза. Наилучший путь к точности и логике рассуждений при решении любой задачи – это математический подход. В принципе этот подход можно выбирать независимо от того, насколько труден и сложен рассматриваемый вопрос. Если мы имеем дело с большим числом взаимозависимых факторов, обнаруживающих значительную естественную изменчивость, то для достаточно эффективного описания сложной схемы их влияния существует лишь один способ – использование соответствующего статистического метода. Если число факторов или число категорий данных очень велико, то желательно, или даже необходимо, использовать компьютер, чтобы искомые результаты можно было получить за достаточно короткое время. Такой подход ни в коей мере не умаляет значения интуиции и воображения.

### 1. Модели и диагностика

Исследование объектов или явлений начинается с построения некоторых исходных предположений и гипотез о его характеристиках. Выдвигаются предположения о том, какие свойства являются существенными, в каких пределах эти свойства варьируют, как их измерять. В результате экспериментов и экспертиз формируется материал наблюдений, на основании которого можно выдвинуть утверждения, называемые закономерностями. Закономерности нужны для систематизации и объяснения материала наблюдений, а также для прогнозирования новых фактов или результатов новых возможных экспериментов или экспертиз.

В нашем исследовании принципиальным является вопрос о моделировании неформального знания. Ключевыми понятиями в этом процессе являются диагностика и материал прецедентов.

Итак, любые два объекта могут быть моделями друг друга. Но лишь некоторые объекты мы выбираем в качестве подходящих моделей. Этот отбор ведется на базе выявления релевантных свойств, связывающих объекты между собой.

При построении математических моделей распознавания образов одним из основных исходных понятий является понятие класса (ранее классы часто называли «образами», но понятно, что термин «образ» в данном случае весьма неудачен, ведь речь идет не только о зрительных образах). Здесь под классом будем понимать просто некоторое множество объектов, сходных друг с другом в определенном отношении.

Модель объекта или ситуации –  $n$ -мерный вектор состояния

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

где  $x_i$  – значение  $i$ -го признака ( $i$ -го параметра, измеряемого на объекте).

Пространство состояний объектов –  $n$ -мерное векторное пространство, пространство  $R^n$ . В этом пространстве реальное множество состояний объектов нашей какой-либо конкретной задачи образует допустимое множество  $D$ . Далее допустимое множество предполагается разбитым на классы:  $D = \cup D_i$ . Объекты одного класса сходны друг с другом в некотором отношении, объекты разных классов различаются по этому отношению. При этом мы предполагаем, что мы знаем, что есть некоторые классы. Но как именно они построены, это нам неизвестно. И информация о классах, которой мы реально располагаем, – это примеры объектов из разных классов. Следовательно, мы знаем прецедентные подмножества классов:  $A_i$  – известное нам подмножество класса  $D_i$ . В задаче дискриминантного анализа требуется по этой информации составить представление о классах и дать их аналитическое описание. Например, у нас есть экземпляры техно-

логий, эффективность которых мы знаем из производственного опыта. Требуется дать прогноз эффективности для новых предполагаемых технологий, еще не прошедших достаточную проверку в реальном производстве.

Понятно, что задача дискриминантного анализа с несколькими классами сводится к последовательности задач, каждая из которых двухклассовая [1]. Поэтому нам достаточно пояснить, как решается задача построения моделей двух классов по их прецедентным множествам  $A$  и  $B$ . Эти множества являются частями множеств  $D_1$ ,  $D_2$ , на которые разбито допустимое множество  $D$  в заданном пространстве  $R^n$ .

Последняя задача решается так. Строим функцию  $f(x)$ , где  $x$  пробегает допустимое множество  $D$ . Эта функция определяет поверхность, определяемую уравнением  $f(x) = 0$ , причем указанная поверхность разделяет множества  $A$  и  $B$ . Это значит, что  $f(x) > 0 \forall x \in A$  и  $f(x) < 0 \forall x \in B$ . Если эта задача решена и функция  $\tilde{f}(x)$  является ее решением, то мы получаем правило диагностики (оно же – правило классификации) любого нового объекта, вектор состояния которого – это, например, вектор  $y = [y_1, \dots, y_n]$ . А именно, мы полагаем:  $y \in D_1$ , если  $\tilde{f}(y) > 0$ , и  $y \in D_2$ , если  $\tilde{f}(y) < 0$ . Если же  $\tilde{f}(y) = 0$ , то  $y$  принадлежит границе между этими классами.

Следующая модель распознавания образов – это задача таксономии (задача автоматической классификации, задача распознавания «без учителя»). В этой задаче дано (как правило, конечное) множество  $M$   $n$ -мерных векторов. Требуется разбить множество  $M$  на непересекающиеся подмножества (таксоны), причем объекты, входящие в один таксон, должны быть достаточно близкими друг к другу с точки зрения заранее выбранного критерия близости, а элементы из разных таксонов достаточно далекими друг от друга по этому же критерию. В экономике – эта задача классификации, их масса.

Следующая область задач распознавания образов – это задачи выбора признаков, их преобразования, это задачи оценки признаков и систем признаков. Это называется общими словами: решить задачу об информативности признаков [2].

Итак, математические модели и методы в прикладных областях должны существенно использовать диагностику, так как основанные на них системы должны работать в условиях существенной априорной неопределенности знаний о свойствах внешней среды. Это делает затруднительным конструирование их только на основе априорных данных. Таким образом, необходимо создание систем, способных в режиме функционирования изменять на базе обработки доступной текущей информации свои параметры или свою структуру с тем, чтобы с течением времени обеспечить выполнение целевых установок и задач. Такие системы называются обучаемыми или адаптивными. В их основе – классификация состояний.

Под системой подразумевается устройство или модель, осуществляющие отображение (как правило, однозначное) множества входных стимулов или сигналов во множество выходных сигналов. Входные сигналы можно называть изображениями, выходные – откликами системы. Распознающая (диагностирующая) система или классификатор – это система, способная к классификации множества изображений в соответствии с некоторой априорной классификацией [3].

## 2. Математические методы обучения диагностики

Выше мы предельно кратко перечислили некоторые идеи методов распознавания. Сейчас наступил момент для сжатого изложения ключевых моментов.

Вначале рассмотрим методы решения задачи дискриминантного анализа, то есть следующей задачи: найти разделяющую функцию  $f$  из функционального класса  $F$  такую, что

$$f(x) > 0 \forall x \in A, f(x) < 0 \forall x \in B.$$

Подавляющая группа методов решения этой задачи основана на ее сведении к линейным неравенствам, а для нахождения решения системы линейных неравенств применяются итерационные методы [4].

Чтобы свести задачу дискриминантного анализа к линейным неравенствам, пользуются приемом разложения функции  $f(x)$  по базисным функциям. Тогда задача дискриминантного

анализа сводится к поиску коэффициентов разложения, а относительно этих коэффициентов получаем систему линейных неравенств [5].

При этом итерационные методы решения этой задачи группируются в основном вокруг метода линейной коррекции, а конечные методы – вокруг симплекс-метода [6]. Многие пакеты прикладных программ используют более общие конструкции для линейных неравенств [7]. Эти конструкции позволяют находить коллективы решающих правил. При этом доказано, что коллективы более эффективны, чем единичные правила. Более того, коллективы правил приводят к нейронным сетям. Наиболее глубоко разработанная теория в этом направлении – это теория комитетов и комитетных конструкций [8]. В рамках этой теории получены точно обоснованные правила коллективных решений диагностики и прогнозирования состояний объектов. Отметим, что парадокс Эрроу, относящийся к коллективным методам упорядочения объектов, не наблюдается в случае диагностики.

### 3. Коллективные методы диагностики

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 [9].

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 [10].

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 [11].

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 линейных или аффинных функций, разрешима и методом комитетов.

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

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. 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.

Также стоит отметить, что 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.

### 4. Пример решения задачи диагностики заболеваний на базе описанных методов

Нами была решена задача, поставленная неврологами. Необходимо построить решающее правило, позволяющее верно диагностировать первичную головную боль, а именно головную боль напряжения и мигрень. Согласно проведенным исследованиям коллег-медиков [12], в 80 %

случаев диагностики 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 полуструктурированное интервью с заполнением анкеты у трёх социальных групп: доноры крови, рабочие СургутНефтеГаза, студенты УГМУ и УрФУ.

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. Затем нами были сформированы три базы данных про Ms Excel для последующей математической обработки.

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».

Приведём список используемых признаков в табл. 1.

Таблица 1  
Table 1

№	Признак	№	Признак
1	Диагноз (1 – мигрень, 2 – ГБН)	18	Пульсирующие
2	Односторонние	19	Слабые
3	Двусторонние	20	Умеренные
4	В лобной области	21	Сильные
5	В височной	22	Разные
6	В теменной	23	Усиление при обычной физической нагрузке
7	В затылочной	24	Продолжительность ГБ < 1/2 часа
8	В половине головы слева	25	Продолжительность ГБ 1/2–4 часа
9	В половине головы справа	26	Продолжительность ГБ 5–23 часа
10	Давящие	27	Продолжительность ГБ 1–3 дня
11	В виде «обруча»	28	Продолжительность ГБ 4–7 дней
12	Колющие	29	Продолжительность ГБ > 7 дней
13	Монотонные	30	Тошнота
14	Ноющие	31	Рвота
15	Тупые	32	Фотофобия
16	Распирающие	33	Фонофобия
17	Ломящие	34	Головокружение

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 множеств (Б.Н. Козинец);
- метод потенциальных функций (А.Г. Аркадьев, Э.М. Браверман);
- построение комитета старшинства (W.L. Osborne, Н.Г. Белецкий);
- метод случайного леса;
- метод опорных векторов (SVM).

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  $a_1^{(i)}, \dots, a_k^{(i)}$ . 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.

Для каждого метода была реализована перекрёстная 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 табл. 2.

Таблица 2  
Table 2

№ 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	Рекуррентный 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.

### 5. Повышение эффективности управления медицинской организацией за счет совершенствования процесса диагностики

Управление медицинскими организациями имеет своеобразную специфику, так как здравоохранение – особая сфера деятельности, которая существенно отличается от других. Здесь во главе угла встает именно охрана здоровья населения. В связи с этим эффективность управления рассматривается не столько с точки зрения экономики, а сколько со стороны повышения качества и доступности медицинской помощи.

Некоторые авторы [13] придерживаются мнения, что для оценки качества оказания медицинской помощи или медицинской услуги целесообразно использовать комплексный метод, который наиболее приемлем для управления качеством медицинской помощи. В основу его положен системный анализ технологии процесса, взаимодействия подразделений медицинской организации и корреляционной зависимости показателей их работы с учетом вклада в общий результат. Здесь применимы инструменты, используемые для улучшения процессов производства, экспертный

метод и самые прогрессивные – математические методы. Тем не менее первое, на что обращают внимание при комплексном подходе [14, 15], это на корректность и своевременность поставленного диагноза. Именно от правильности диагноза зависит дальнейшее адекватное лечение, выздоровление человека и улучшение его качества жизни, и как следствие – повышение субъективной оценки качества организации лечения. Именно без полного диапазонного диагноза невозможно вскрыть истинные причины заболевания и получить эффективное лечение. Поставленный диагноз по внешним проявлениям порой далеко не объясняет причину заболеваний, что говорит об устаревших методах диагностики. Для достижения повышения процента правильной диагностики необходимо изучение и анализ существующих методов диагностики заболеваний и их оценка с позиции соответствия современному научно-техническому уровню. Увеличение числа правильно поставленных диагнозов приведет к повышению качества оказания медицинской помощи и медицинской услуги в целом [16]. Это же подтверждается и нашим исследованием. А именно: наши разработки, связанные с диагностированием головным болей, смогли обеспечить эффективную работу врачей-неврологов в медицинском центре лечения головных болей г. Екатеринбурга и позволило снизить постановку неправильного диагноза в 2 раза, что соответственно повысило качество медицинской помощи.

### Литература

1. Мазуров, Вл.Д. Методы математического программирования и распознавания образов в планировании производства / Вл.Д. Мазуров // Математические методы в планировании промышленного производства: сб. тр. ИММ УНЦ АН СССР. – Свердловск, 1977. – № 22. – С. 3–27.
2. Тихонов, А.Н. Методы решения некорректных задач / А.Н. Тихонов, В.Я. Арсенин. – М.: Наука, 1979. – 288 с.
3. Журавлев, Ю.И. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации / Ю.И. Журавлев // Проблемы кибернетики: сб. – М.: Наука, 1978. – Вып. 33.
4. Черников, С.Н. Свертывание конечных систем линейных неравенств / С.Н. Черников // Докл. АН СССР. – 1963. – Т. 152, № 5. – С. 1075–1078.
5. Еремин, И.И. Итеративный метод для чебышевских приближений несовместных систем линейных неравенств / И.И. Еремин // Докл. АН СССР. – 1962. – Т. 143, № 6. – С. 1253–1256.
6. Линейные неравенства и смежные вопросы / под. ред. Г.У. Кун, А.У. Таккер – М.: Изд-во иностранной литературы, 1959. – 470 с.
7. Черников, С. Н. Линейные неравенства / С.Н. Черников. – М.: Наука, 1968. – 488 с.
8. Мазуров, Вл.Д. Метод комитетов в задачах оптимизации и классификации / Вл.Д. Мазуров. – М.: Наука, 1990. – 248 с.
9. Мазуров, Вл.Д. Метод комитетов в распознавании образов / Вл.Д. Мазуров // Тр. ИММ УНЦ АН СССР. – Свердловск, 1974. – № 6. – 166 с.
10. Mazurov, V.I.D. Method of committees and applications in operations research / V.I.D. Mazurov // Math. Operationsforsch. Statist., Ser. Optimization. – DDR, 1979. – Vol. 10, no. 3. – P. 365–371.
11. Казанцев, В.С. Пакет «КВАЗАР» прикладных программ распознавания образов / В.С. Казанцев // Планирование горно-металлургического производства (программы оптимизации): тр. ИММ УНЦ АН СССР. – Свердловск, 1977. – № 7.
12. 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.
13. Линденбратен, А.Л. Контроль качества организации медицинской помощи: современные подходы / А.Л. Линденбратен, В.В. Ковалева // Здоровоохранение. – 2011. – № 6. – С. 50–55.
14. Линденбратен, А.Л. Качество организации медицинской помощи и критерии для его оценки / А.Л. Линденбратен // Бюллетень НИИ общественного здоровья. – 2013. – Вып. 2. – С. 20–23.
15. Галустова, К.Ю. Совершенствование системы управления медицинской организацией / К.Ю. Галустова // Политика, экономика и инновации. – 2018. – № 3 (20). – С. 1–3.
16. Антипова, Н. Совершенствование управления здравоохранением / Н. Антипова. – М., 2015 – 38 с.



**Логиновский Олег Витальевич**, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; loginovskiiiov@susu.ru.

**Гилёв Денис Викторович**, старший преподаватель кафедры экономики Института экономики и управления, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург; deni-gilev@narod.ru.

*Поступила в редакцию 2 сентября 2020 г.*

---

DOI: 10.14529/ctcr200410

### THE USE OF MATHEMATICAL METHODS OF DIAGNOSTICS AS A FACTOR OF EFFECTIVE MANAGEMENT OF A MEDICAL ORGANIZATION

**O.V. Loginovskiy**<sup>1</sup>, loginovskiiiov@susu.ru,

**D.V. Gilev**<sup>2</sup>, deni-gilev@narod.ru

<sup>1</sup> South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,

<sup>2</sup> Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation

**Introduction.** This article introduces the main mathematical methods of diagnosis of diseases. At first, based on the study of the issue, it is concluded that the task of diagnostics is the most important task for the implementation of effective activities of any medical institution. **Methods.** Further, in the theoretical part, the main diagnostic models are formulated, such as discriminant analysis and taxonomy (cluster analysis). Then methods of discriminant analysis are applied for the diagnostic system, which allow reducing the medical problem to a system of linear inequalities, using the method of decomposition of the function by basic functions. **Results.** At the end of the article, important conclusions are made that iterative methods for solving this problem are grouped mainly around the linear correction method, and final methods are grouped around the simplex method. The issue of using decision rule collectives in application packages is also discussed. Further, as a practical part, we consider the application of the described methods to a specific medical task, namely, the diagnosis of primary headaches by signs. To solve the problem, we construct the decisive rules that are the result of discriminant analysis. For these purposes, the Committee method is enabled, and other methods are used in comparison with it. The results show better predictive power for the Committee method. **Conclusion.** In the conclusion the author about kind of the specifics of management of medical institutions, and highlighted the criterion of a correct and timely diagnosis – as one of the main, lets talk about the efficiency of management from the point of view of public health that is Central to an integrated approach of evaluating the effectiveness of medical organizations.

*Keywords: medical diagnostics, method of control, management efficiency, integrated approach.*

#### References

1. Mazurov V.I. D. [Methods of Mathematical Programming and Image Recognition in Production Planning]. *Mathematical Methods in Industrial Production Planning. Collection of works of IMM UNC of the USSR Academy of Sciences*, 1977, no. 22, pp. 3–27. (in Russ.)
2. Tikhonov A.N., Arsenin V.Ya. *Metody resheniya nekorrektnykh zadach* [Methods for Solving Incorrect Problems]. Moscow, Science, 1979. 288 p.
3. Zhuravlev Yu.I. *Ob algebraicheskom podkhode k resheniyu zadach raspoznavaniya ili klassifikatsii* [On the Algebraic Approach to Solving Recognition or Classification Problems]. *Collection of Problems of Cybernetics*. Moscow, Science Publ., 1978, iss. 33.



4. Chernikov S.N. [Convolution of Finite Systems of Linear Inequalities]. *Collection of Reports of the USSR Academy of Sciences*, 1963, vol. 152, no. 5, pp. 1075–1078. (in Russ.)
5. Eremin I.I. [Iterative Method for Chebyshev Approximations of Incompatible Systems of Linear Inequalities]. *Collection of Reports of the USSR Academy of Sciences*, 1962, vol. 143, no. 6, pp. 1253–1256. (in Russ.)
6. Kuhn H.W., Tucker A.W. *Lineynyye neravenstva i smezhnyye voprosy* [Linear Inequalities and Related Issues]. Moscow, IL Publ., 1959. 470 p.
7. Chernikov S.N. *Lineynyye neravenstva* [Linear Inequalities]. Moscow, Science Publ., 1968. 488 p.
8. Mazurov V.I.D. *Metod komitetov v zadachakh optimizatsii i klassifikatsii* [Method of Committees in Optimization and Classification Problems]. Moscow, Science Publ., 1990. 248 p.
9. Mazurov V.I.D. [Method of Committees in Image Recognition]. *IMM UNC of the USSR Academy of Sciences*, 1974, no. 6, 166 p. (in Russ.)
10. Mazurov V.I.D. Method of Committees and applications in operations research. *Math. Operationsforsch. Statist., Ser. Optimization*, DDR, 1979, vol. 10, no. 3, pp. 365–371.
11. Kazantsev V.S. [Package “QUASAR” of Applied Image Recognition Programs]. *Planning of Mining and Metallurgical Production (Optimization Programs)*. *Collection of Works of IMM UNC of the USSR Academy of Sciences*. Sverdlovsk, 1977, no. 7. (in Russ.)
12. Ayzenberg I., Katsarava Z., Sborowski A. Headache-Attributed Burden and Its Impact on Productivity and Quality of Life in Russia: Structured Healthcare for Headache is Urgently Needed. *European Journal of Neurology*, 2014, vol. 21, pp. 758–765.
13. Lindenbraten A.L., Kovaleva V.V. [Quality Control of the Organization of Medical Care: Modern Approaches]. *Health Care*, 2011, no. 6, pp. 50–55. (in Russ.)
14. Lindenbraten A.L. [Quality of Medical Care Organization and Criteria For its Evaluation]. *Bulletin of the Research Institute of Public Health*, 2013, iss. 2, pp. 20–23. (in Russ.)
15. Galustova K.Yu. [Improving the Management System of a Medical Organization]. *Politics, Economics, and Innovation*, 2018, no. 3 (20), pp. 1–3. (in Russ.)
16. Antipova N. *Sovershenstvovaniye upravleniya zdravookhraneniym* [Improving Healthcare Management]. Moscow, 2015. 38 p.

*Received 2 September 2020*

---

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Логоновский, О.В. Использование математических методов диагностики как фактор эффективного управления медицинской организацией / О.В. Логоновский, Д.В. Гилёв // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2020. – Т. 20, № 4. – С. 95–103. DOI: 10.14529/ctcr200410

#### FOR CITATION

Loginovskiy O.V., Gilev D.V. The Use of Mathematical Methods of Diagnostics as a Factor of Effective Management of a Medical Organization. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2020, vol. 20, no. 4, pp. 95–103. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr200410