

Н.С. КОЗЫРЕНКО, Р.В. МЕЩЕРЯКОВ, И.А. ХОДАШИНСКИЙ,
Н.Ю. АНУФРИЕВА
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ
ЧЕЛОВЕКА**

Козыренко Н.С., Мещеряков Р.В., Ходашинский И.А., Ануфриева Н.Ю. **Математическое и алгоритмическое обеспечение оценки состояния здоровья человека.**

Аннотация. В статье рассматриваются новые подходы к оценке состояния здоровья человека на основе интегрального показателя. Описана математическая модель для расчета введенного показателя. Проведена апробация модели и показателя на пациентах лечебного учреждения здравоохранения.

Ключевые слова: математическое моделирование, алгоритм, здоровье.

Kozyrenko N.S., Meshcheryakov R.V., Hodashinsky I.A., Anufrieva N.Y. **Mathematical model and algorithms of people health evaluation.**

Abstract. In article new approaches to the assessment of people health based on integrated indicator are considered. Mathematical model of integrated indicator calculation is described. The testing of the proposed model and the indicator was conducted with the patients of medical health care institutions.

Keywords: mathematical modeling, algorithm, health.

1. Введение. Наиболее общая схема функционирования систем оценки качества здоровья пациента отображена на рисунке 1 и заключается в следующем: пользователь (пациент) регистрирует события диагностики с помощью датчиков или опросников; средствами вычислительной техники производится обработка полученных данных; оповещение о требующих внимания случаях; отправка результатов обработки курирующему врачу.



Рис. 1. Схема системы удаленного мониторинга пациента

Реализация подобных систем предоставляет возможность оперативного взаимодействия пациента и курирующего специалиста и упрощает эту процедуру отдельным категориям граждан, для которых самостоятельное посещение врача затруднительно.

Как правило, основой оценки состояния человека является субъективная оценка врача, даваемая им на основе анализа информации о состоянии подсистем организма по отточенным многолетним опытом методам диагностики. В этом случае, специалисту необходимо предоставление ряда функциональных показателей и проработка схем их защищенной передачи.

Предлагается решение, позволяющее скрыть конкретные показатели здоровья человека, не снизив при этом информативности об общем состоянии пациента. Это формализация процесса принятия решения о состоянии здоровья автоматизированной системой на стороне клиента.

Таким образом, целью работы является разработка численного метода и алгоритмов оценки уровня здоровья и качества жизни человека по показателю здоровья для реализации автоматизированной системы удаленного мониторинга пациента с учетом обеспечения информационной безопасности обрабатываемых в системе персональных данных.

Следовательно, необходимо учитывать следующие ограничения:

- осуществление контроля состояния человека без дорогостоящего специализированного медицинского оборудования;
- возможность автоматизации процессов диагностики и расчетов.

Качество решения поставленных задач зависит от глубины знания соответствующей предметной области, поэтому следующий раздел посвящен именно этому вопросу.

2. Факторы, определяющие здоровье. По определению Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), здоровье – это состояние полного физического, духовного и социального благополучия, а не только отсутствие болезней и физических дефектов [1]. В связи с этим, оценивая здоровье человека, необходимо учитывать множество определяющих его факторов. На рисунке 2 приведена схема влияний этих факторов и соответственно аспектов, со стороны которых возможно изучение здоровья [2].

Что касается воздействия природно-климатических факторов, то здесь следует учитывать, что в ходе индивидуальной жизни организм

человека приобретает отсутствовавшую ранее устойчивость к определенному фактору внешней среды и таким образом получает возможность жить в условиях, ранее несовместимых с жизнью [3]. Таким образом, в данной работе не будем учитывать подобные факторы ввиду их относительной статичности, считая, что индивид адаптирован к среде своего обитания, и она не оказывает влияния на его состояние в короткий период необходимости отслеживания динамики его здоровья.

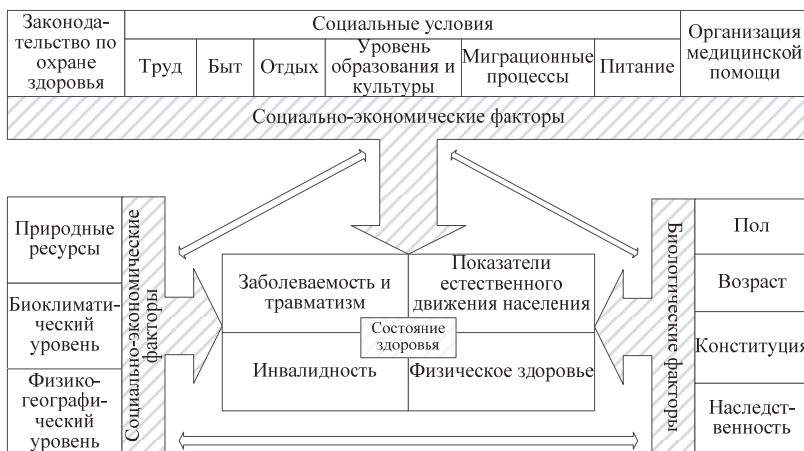


Рис. 2. Схема определяющих здоровье факторов

Социально-экономические факторы также имеют долговременный характер воздействия, поэтому можно говорить о социальной адаптации человека [4], когда оценивать изменение состояния здоровья следует в предположении неизменности бытовых и социальных условий жизни индивида.

Для решения поставленных задач, связанных с оцениванием индивидуального здоровья, наиболее значимыми оказываются биологические факторы и функциональные показатели организма.

Организм человека – это уникальная саморегулирующаяся система, функционирование которой обеспечивается двенадцатью системами органов. Каждая система выполняет свою функцию, от качества исполнения которой зависит здоровье в целом. Однако, человеку свойственны компенсаторные приспособления: если какая-нибудь из систем ослаблена, то другие системы способны частично

взять на себя функцию разрушенных структур путем заместительной гиперфункции или качественно измененной функции.

Таким образом, оценка состояния здоровья должна производиться по совокупности функциональных показателей различных систем организма человека. Разумеется, неоднократно делались попытки выявления зависимостей между различными функциональными параметрами, а также попытки формирования на их основе интегральных оценок состояния здоровья человека, так как интегральные оценки унифицируют и ускоряют процесс первичной диагностики организма.

Такой биомедицинский подход наиболее близок к существующему на данный момент естественнонаучному образу медицинского мышления, когда психосоциальные аспекты болезни остаются в стороне.

Но исключить влияние данных факторов нельзя, поскольку они определяют уровень удовлетворенности человека собой и своей жизнью, самоощущения, что может влиять на восприятие синдромов болезни. Часты случаи, когда пациент соглашается, что состояние его здоровья значительно снижено и ограничивает его возможности, но при этом не соглашается с утверждением о неудовлетворенности собственным здоровьем. И наоборот, пациент может ощущать себя больным при том, что все показатели здоровья оказываются в пределах физиологической нормы [5, 6].

Отсюда вытекает логическое продолжение сформулированного ВОЗ биосоциального определения здоровья – это понятие качества жизни. Для того чтобы сузить это понятие до аспектов функционирования, связанного с заболеванием и/или с лечением, введено понятие качества жизни, связанного со здоровьем – это концепция, включающая широкий спектр физических и психологических характеристик и ограничений, которые описывают возможность индивида функционировать и получать от этого удовлетворение [7, 8, 9].

В связи с этим при выведении интегральной оценки состояния человека следует учитывать субъективную оценку состояния здоровья человеком, определяющую качество жизни человека, связанного со здоровьем [10].

Специфика данной работы предполагает использование интегральной оценки еще и в качестве контейнера для передачи сведений о состоянии здоровья человека в системе удаленного мониторинга пациента.

Задача по созданию модели оценки состояния здоровья является актуальной, что подтверждается результатами анализа существующих решений данной задачи.

3. Существующие методы интегральной оценки состояния человека. Большинство методов оценки можно разделить на два класса: методы субъективной оценки (путем самооценки пациентом) и методы объективной оценки (даваемой другим человеком, чаще всего лечащим врачом) [11]. На основе субъективного подхода реализован не один метод, прибегающий к методу опроса (анкетирования, интервьюирования) пациента.

Один из первых таких методов интегральной оценки состояния человека – индекс Карновского (Karnofsky scale score, 1949г.), определяемый по результатам опроса пациента специалистом. Вычисление индекса регламентирует решение социальных вопросов, экспертизу трудоспособности, определение группы инвалидности, прогнозирование течения болезни и продолжительности жизни. Итоговая оценка делается по шкале, представленной таблицей 1 [12].

Таблица 1. Шкала определения индекса Карновского

| Состояние | % | Комментарий |
|---|-----|---|
| А. Способен вести нормальный образ жизни, в т.ч. работать. Нет нужды в дополнительном уходе. | 100 | Состояние нормальное жалоб нет |
| | 90 | Способен к нормальной деятельности, незначительные симптомы или признаки заболевания |
| | 80 | Нормальная активность при усилии. Проявление признаков заболевания |
| Б. Нетрудоспособен. Допустимо нахождение дома с дополнительным уходом. Различный уровень дополнительного ухода. | 70 | Обслуживает себя самостоятельно, неспособен к нормальной деятельности или активной работе |
| | 60 | Нуждается порой в помощи, но способен сам удовлетворять большую часть своих потребностей |
| | 50 | Нуждается в значительной помощи и медицинском обслуживании |
| В. Неспособен обслуживать себя самостоятельно. Нахождение в стационаре. | 40 | Инвалид, нуждается в специальной помощи, в т.ч. медицинской |
| | 30 | Тяжелая инвалидность, показана госпитализация, хотя случай не летальный |
| | 20 | Тяжелый больной. Необходимы активное реанимационное лечение и госпитализация |
| | 10 | Умиравший |
| | 0 | Смерть |

На подобии индекса Карновского разработана шкала ECOG-ВОЗ (Eastern Cooperative Oncology Group), оценивающая на основе опроса пациента свободу его деятельности после лечения по пятибалльной шкале. Обе представленные шкалы активно используются в настоящее время для оценки качества жизни онкологических больных.

Среди имеющих распространение за рубежом такие системы опросников, как EQ-5D, SIP (The Sickness Impact Profile) – оценка воздействия болезни на пациента, The Rosser Index, QWB (Quality of Well-Being Scale) – шкала качества жизни, Nottingham Health Profile – Ноттингемский опросник здоровья.

Однако высокая субъективность оценки состояния больного по анкетам приводит к низкой достоверности получаемых результатов. Что подчеркивает существующую проблему объективности информации при использовании опросных методологий получения количественных оценок.

Более объективными являются методы, основанные на анализе некоторых физиологических показателей. Например, один из зарекомендовавших себя методов – экспресс-оценка уровня здоровья по Апанасенко [13]. Состоит из ряда простейших показателей, которые ранжированы, каждому рангу присвоен соответствующий балл. Общая оценка здоровья определяется суммой баллов и позволяет распределить всех практически здоровых лиц на 5 уровней здоровья, соответствующих определенному уровню аэробного энергетического потенциала.

Но метод имеет ряд ограничений: необходимость обладания специальным диагностическим оборудованием (спирометр, динамометр), а также неприменимость метода к людям с ограниченными физическими возможностями.

Помимо описываемых в медицинской литературе методов, принятых в практике, имеется ряд современных разработок, ведущихся в рамках диссертационных работ и проходящих апробацию. Но для всех принятых во внимание методов ограничения по их применению оказываются идентичными:

- сложность доказательства уровня объективности анкетных методов оценки;

- ограничение на сферы применения оценки (учет при оценке дисфункции конкретных систем и органов человека, ориентация на пациентов отдельных категорий);

– необходимость использования дополнительного дорогостоящего диагностического оборудования;

– включение в диагностические тесты заданий, выполнение которых невозможно лицами с ограниченными возможностями.

На основе описанных ограничений сформулированы основные требования к разрабатываемой модели оценки состояния здоровья: возможность самостоятельной диагностики пациентом при сохранении объективности получаемого результата, что обеспечивается сочетанием субъективного подхода, оценивающего психоэмоциональные аспекты восприятия человеком качества своего здоровья, а также объективного подхода, фиксирующего значения физиологических показателей организма с помощью общедоступных диагностических приборов (тонометр, термометр и др.).

При построении модели учет большого количества физиологических показателей, определяющих здоровье, математически затруднителен и необоснован. Однако модель должна максимально точно отражать действительность, поэтому необходимо определить факторы, оказывающие наибольшее влияние на общее состояние человека.

4. Отбор факторов. Представляется возможным, выделив наиболее важные факторы, пренебречь менее существенными. Для оценки значимости факторов был применен метод экспертной оценки [13]. В качестве экспертов были привлечены высококвалифицированные практикующие врачи ОГБУЗ «Областной перинатальный центр», которые в связи со своими должностными обязанностями знают физиологию человеческого организма и возможные причины нарушений его функционирования.

Для того чтобы можно было сказать, случайно ли распределение значимости показателей или имеется согласованность во мнениях экспертов, производится вычисление коэффициента конкордации k по формуле:

$$k = \frac{12S}{n^2(m^3 - m) - n \sum_j T_j^2}$$

где n – количество экспертов;

m – количество показателей,

$$S = \sum_{i=1}^m (\sum_{j=1}^n x_{ij} - \bar{S})^2, \bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij},$$

x_{ij} – оценка, данная j -тым экспертом по i -ому показателю;

T_j характеризует наличие в анкете j -го эксперта одинаковых оценок и рассчитывается по формуле:

$$T_j = \sum_{r=1}^{m_j} (t_{rj}^3 - t_{rj}),$$

где m_j – число групп одинаковых оценок в анкете j -ого эксперта;
 t_{rj} – число оценок в r -той группе одинаковых оценок в анкете j -ого эксперта.

Таким образом, для данного случая коэффициент согласованности мнений экспертов равен:

$$\kappa = \frac{12 \cdot 2049,6}{36 \cdot 990 - 6 \cdot (4 \cdot 150 + 234 + 222)} = \frac{24595,2}{29304} = 0,839.$$

Ориентироваться на высокое значение коэффициента конкордации можно лишь в том случае, если оно является достоверным. Для оценки достоверности использована статистика, приведенная:

$$\chi_{\text{расч}}^2 = \frac{12S}{n \cdot m \cdot (m + 1) - \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^n T_j^2}.$$

Табличное значение χ^2 - распределения случайных величин – для степеней свободы $\nu = m - 1 = 9$ и для уровня достоверности $\alpha = 0,01$ равно 21,7 [14]. $\chi_{\text{расч}}^2 = 45,3$.

Так как $\chi_{\text{расч}}^2 > \chi_{\text{табл}}^2$, то коэффициент конкордации значим и мнения экспертов согласованы. Значит, при выборе показателей можно опираться на мнения экспертов.

По такой оценке в модели необходимо учесть влияние следующих факторов:

- состояние сердечно-сосудистой системы;
- состояние дыхательной системы;
- качество зрения;
- двигательная активности человека;
- состояние эндокринной системы (в частности наличие диабета).

5. Используемые методы оценки факторов

5.1. Оценка состояния сердечно-сосудистой системы. Из всего множества клинических и физиологических методов исследования сердечно-сосудистой системы (ССС) у человека были выделены методы, соответствующие налагаемым ограничениям, установленным при постановке цели и задач работы. Таким образом, состояние ССС оценивается по следующим параметрам:

- систолическое и диастолическое кровяное давление;
- пульс;
- температура тела.

При отборе показателей учитывалось мнение специалистов, опирающихся на опыт в медицинской практике [15].

Учет данных показателей возможен за счет ввода в систему значений, снятых с помощью цифрового тонометра и термометра. Электронный тонометр позволяет фиксировать сразу и давление, и пульс, кроме того исчезает необходимость использования фонендоскопа – становится возможным самостоятельное измерение данных показателей. Для учета показателей в модели производится перевод введенных значений в соответствии со шкалами.

5.2. Оценка состояния дыхательной системы. Для оценки параметров газообмена наблюдаемого человека принят метод пульсоксиметрии, устанавливающий уровень насыщения артериальной крови кислородом (сатурацию).

Сатурация рассчитывается, как соотношение количества связанного гемоглобина (HbO_2) к общему количеству гемоглобина, выраженное в процентах: $\text{SpO}_2 = (\text{HbO}_2 / (\text{HbO}_2 + \text{Hb}) \times 100\%$ [16].

Нормальный уровень насыщения крови кислородом $\text{SpO}_2 = 95..98\%$. Снижение сатурации до уровня 88% и ниже свидетельствует о выраженной дыхательной недостаточности.

Для оценки данного показателя необходимо использование пульсоксиметра.

5.3. Оценка состояния опорно-двигательного аппарата. Поскольку необходимо обеспечить возможность оценки человеком своего состояния без обращения к посторонней помощи, для оценки функционирования опорно-двигательного аппарата принят опросник Binkley [17], с учетом накопленного опыта ВОЗ.

Анкета состоит из 20 вопросов. Первые десять вопросов позволяют сделать вывод относительно жизнедеятельности в домашних условиях, рассмотреть имеющиеся трудности при выполнении той или иной работы. Вторая часть шкалы дает оценку активности больных на улице и возможность проанализировать выраженность степени затруднений. Данная шкала оценки состояния опорно-двигательного аппарата прошла валидацию как за рубежом, так и в России и используется в клинической практике.

5.4. Оценка зрения. Во многих случаях проверка зрения подразумевает лишь проверку остроты зрения, хотя это не единственная важная характеристика наших глаз.

Однако комплексное обследование зрительной системы, способное выявить все особенности зрения, невозможно без специализированного оборудования и квалифицированного

специалиста. Но существуют методы интерактивной проверки зрения с помощью тестов, направленных на выявление первичных признаков ухудшения зрения.

На основе существующих тестовых заданий для самостоятельной проверки зрения был разработан тест, содержащий 16 вопросов, связанных с проверкой остроты зрения, цветовосприятия, астигматизма, проявление близорукости/ дальнозоркости. Аналогично оценке слуха [18].

5.5. Контроль диабета. Самостоятельный контроль уровня глюкозы в крови возможен с помощью специальных аппаратов – глюкометров. Для учета данного параметра в модели необходимо ввести в систему полученное с помощью глюкометра значение.

Физиологической нормой сахара в капиллярной крови является уровень в 3,3- 5,5 ммоль/л. Уровень в 5,6 – 6,0 является показателем преддиабета.

5.6. Оценка влияния здоровья на качество жизни. Поскольку уровень качества жизни (КЖ) по большей части объясняется субъективным восприятием человека своего состояния, то для определения влияния здоровья на КЖ человека основным методом является применение опросников. Но необходимо, чтобы применяемые опросники были валидны. Для этого они должны учитывать как можно больше критериев КЖ.

Основополагающие критерии КЖ, выделенные ВОЗ, охватывает адаптированный на русский язык опросник ADDQoL-19, разработанный профессором Clare Bradley из «Health Psychology Research Ltd», базирующемся в Лондоне [19]. Изначально он разрабатывался для оценки влияния диабета на качество жизни человека и оценивает такие аспекты жизни, как уровень независимости в повседневной жизни, возможность ведения профессиональной жизни, отношения с окружающими и семейные отношения, личную мотивацию и др.

На основании ADDQoL были разработаны опросники для оценки влияния остальных учитываемых факторов на КЖ наблюдаемого человека.

6. Схема функционирования системы удаленного мониторинга. Внедрение систем удаленного мониторинга пациента, основанных на передаче по электронным каналам связи показаний различных датчиков и фиксации получаемых показаний в базах данных лечебного учреждения или иных заинтересованных организаций требует дополнительных организационных мероприятий

и финансовых затрат, связанных с обеспечением информационной безопасности обрабатываемых в них персональных данных специальных категорий [8, 20, 21, 22, 23].

В основе предлагаемой системы передача интегральных оценок состояния здоровья человека и качества его жизни. Математические преобразования исходных значений физиологических параметров организма снижают точность сведений, однако по-прежнему позволяют судить о динамике состояния пациента, тем самым снижается степень ущерба при реализации угрозы нарушения конфиденциальности персональных данных.

Система может использоваться как для самостоятельного контроля человеком показателей состояния своего здоровья, так и в схеме удаленного наблюдения пациента врачом и уведомления последнего при критических отклонениях динамики состояния пациента. Общая схема функционирования системы представлена на рисунке 3.

На стороне клиента происходит сбор значений функциональных показателей организма с помощью устройств: термометра, тонометра, пульсоксиметра, глюкометра (при наличии диабета).

Все вводимые пользователем показатели, а также результаты прохождения тестов по различным факторам здоровья заносятся в локальную базу данных для реализации возможности ведения подробной статистики по динамике состояния различных систем человеческого организма.

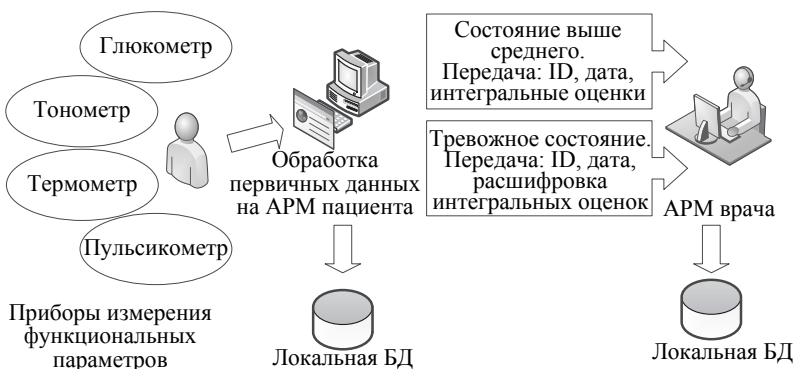


Рис. 3. Схема функционирования системы

Также в клиентской части системы происходит обработка первичных данных и формирование интегральных оценок состояния здоровья и качества жизни по показателю здоровья на основе построенных математических моделей.

В схеме удаленного мониторинга по каналам связи выполняется передача только интегральных оценок состояния пациента в сочетании с уникальным идентификатором пользователя системы. Если оценка состояния пациента низкая, то вместе с интегральными оценками курирующему специалисту передаются также оценки отдельных факторов здоровья (L_i), формирующих интегральную оценку. Данный подход позволит специалисту при реагировании на тревожный случай оперативно выявить конкретные жалобы пациента.

Передача по каналам связи интегральных оценок позволяет минимизировать угрозы информационной безопасности, связанные с передачей данных по сетевым каналам [8].

Получаемые специалистами данные от пациентов хранятся в локальной базе данных. С целью снижения требований к уровню защищенности данных получаемые сведения о состоянии здоровья человека (вторичные данные) и сведения о субъекте персональных данных, позволяющие его идентифицировать (первичные данные), предлагается хранить в разных информационных системах. Связь данных производится путем присвоения единого идентификатора первичным и вторичным данным одного субъекта. Таким образом производится обезличивание данных, первоначально отнесенных к специальной категории персональных данных.

7. Математическая модель расчета интегрального показателя здоровья. Предварительный анализ предметной области позволил с опорой на общепринятую медицинскую практику и на экспертные мнения выделить факторы, участвующие в формировании интегральной оценки состояния здоровья человека. Также с учетом ограничений по автоматизации определены методы оценки каждого отдельного фактора и оформлена мысль по значимости субъективной оценки влияния факторов на общее состояние для отдельного субъекта. Таким образом, построена содержательная модель, которую необходимо формализовать, выявив связи и отношения между учитываемыми факторами, то есть построить математическую модель.

Искусство моделирования заключается в том, чтобы знать, что, где и как можно упростить [23-27]. Это касается и сокращения факторного пространства и исключения линейно-зависимых показателей.

К числу моделей, описывающих характер и структуру взаимосвязей анализируемых показателей, можно отнести регрессионные модели, модели дисперсионного анализа, модели факторного анализа и временных рядов.

Преимущества этих методов заключаются в том, что с их помощью можно количественно оценить степень влияния того или иного фактора.

Наиболее общими и хорошо описанными являются регрессионные модели. Регрессионный анализ применим для получения моделей влияния качественных и количественных факторов на функцию системы (в данном случае это здоровье человека), именно этот метод применен в данной работе.

7.1. Регрессионный анализ. Обычно вначале выбирается линейная модель, вид которой представлен формулой (1), коэффициенты при независимых переменных x_i характеризуют среднее изменение результата с изменением соответствующего фактора на единицу при неизменных значениях других факторов, закрепленных на среднем уровне.

$$y_i = \theta_0 + \theta_1 x_{1i} + \theta_2 x_{2i} + \dots + \theta_m x_{mi} + \varepsilon_i \quad (1)$$

Для поиска значений коэффициентов $\theta_1, \dots, \theta_m$ применяется метод наименьших квадратов, для чего решается система из m нормальных линейных уравнений с m неизвестными, которая в векторно-матричной форме имеет вид:

$$X^T X \hat{\theta} = X^T y \quad (2)$$

где X – матрица значений m объясняющих переменных в n наблюдениях;

X^T – та же матрица в транспонированном виде;

y и $\hat{\theta}$ – соответственно, вектор-столбец значений зависимой переменной в n наблюдениях и вектор-столбец оценок m неизвестных коэффициентов.

Система нормальных уравнений (2) имеет единственное решение (3).

$$\hat{\theta} = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (3)$$

Одной из главных проблем эффективного применения множественного регрессионного анализа является мультиколлинеарность, обусловленная линейной зависимостью между показателями. О наличии зависимостей судят по матрице парных коэффициентов корреляции R , в случае сильной коррелированности показателей в уравнение регрессии включается один из них.

7.2. Отбор факторов регрессионной модели. В таблице 2 приведена матрица частных корреляций между факторами, выявленными экспертно. Заметна значительная связь таких показателей, как состояние сердечно-сосудистой системы и уровень сахара в крови. Включение в модель обоих факторов может повлечь за собой неустойчивость и ненадежность оценок коэффициентов регрессии, поэтому необходимо пересмотреть список показателей.

Таблица 2. Матрица частных корреляций

| | ССС | Дыхание | Оп.-дв. | Зрение | Сахар | Оценка (y) |
|------------|-------|---------|---------|--------|-------|------------|
| ССС | 1 | 0,11 | 0,16 | -0,21 | 0,55 | 0,37 |
| Дыхание | 0,11 | 1 | 0,35 | -0,18 | 0,06 | 0,36 |
| Оп.-дв. | 0,16 | 0,35 | 1 | 0,5 | -0,04 | 0,8 |
| Зрение | -0,21 | -0,18 | 0,5 | 1 | -0,21 | 0,29 |
| Сахар | 0,55 | 0,06 | -0,04 | -0,21 | 1 | 0,32 |
| Оценка (y) | 0,37 | 0,36 | 0,8 | 0,29 | 0,32 | 1 |

Для решения о включении показателей в модель применен метод ступенчатой регрессии, состоящем в последовательном включении показателей, наиболее коррелированных с вектором регрессионных остатков [28].

Начальный набор признаков пуст, вектор остатков $r_0 = y$. На k -том шаге алгоритма сначала находится признак, корреляция которого с r_{k-1} максимальна, после чего обновляется вектор остатков по формуле (4).

$$r_k = r_{k-1} + \varepsilon \cdot \text{sign}(r_{k-1}^T x_i) x_j, \quad (4)$$

где ε – малое число.

Процесс продолжается, пока значение суммы квадратов регрессионных остатков $\sum (y - f(\theta, x))^2$ не будет изменяться за шаг незначительно.

Подобная стратегия позволила исключить показатель, связанный со зрением.

7.3. Математическая модель оценки качества жизни.

Исключительно формальный подход к отбору факторов в данной предметной области невозможен. Как уже оговаривалось выше, оценка качества жизни в большей мере является субъективной оценкой, поэтому коэффициенты влияния того или иного фактора на интегральную оценку должны рассчитываться индивидуально для каждого субъекта.

Методы получения интегральной оценки:

– выделение признака с экстремальным значением в качестве обобщенной оценки объекта;

– вычисление среднего арифметического, если все учитываемые показатели имеют одинаковый знак и вес;

– взвешенное суммирование применяется в тех случаях, когда есть возможность найти весовые коэффициенты, учитывающие вклад отдельных показателей.

Взвешенное суммирование дает наиболее точный результат, определяя вклад факторов в общую оценку в соответствии со степенью беспокойства, вызываемого данными факторами у конкретного субъекта.

Таким образом, в данной работе итоговое значение качества жизни определяется в результате взвешивания вычисленных значений по отдельным факторам (формула 7) и приведения результата к интервалу [0; 100].

$$QoL = \sum_{i=1}^5 k_i \cdot L_i, \quad (5)$$

где QoL – оценка качества жизни по показателю здоровья;

i – учитываемые параметры;

k – коэффициент воздействия параметра;

L – уровень здоровья для каждого параметра.

Множество коэффициентов должно удовлетворять условию нормировки.

7.4. Преобразование первичных данных. Особенностью медицинских показателей является разнообразие форм их представления. Для формализации предметной области необходимо привести первичные показатели, представленные вербальным описанием, качественными и интервальными шкалами к точечному количественному виду.

Предполагается, что отсутствие отклонений для определенного исследуемого признака оценивается 100% уровнем здоровья, таким

образом, необходимо определение формул для нахождения уровня здоровья в процентах для каждого отдельного показателя.

Для перевода к шкале [0, 100] используется формула (6):

$$q_2 = \left(q_1 - \frac{Q_{01} - Q_{02}}{Q_2} \right) \frac{[Q]_2}{[Q]_1}, \quad (6)$$

где q_1, q_2 – точечные оценки в шкалах 1 и 2, Q_{01}, Q_{02} – точки начала отсчета в соответствующих шкалах, $[Q]_1, [Q]_2$ – длины интервалов.

Таким образом, получены следующие формулы для перевода оценок:

– для двигательной активности:

$$L_{move} = q_{move} \cdot \frac{10}{8}, \quad (7)$$

– для оценки зрения:

$$L_{eye} = q_{eye} \cdot \frac{10}{7}, \quad (8)$$

где q_{move} и q_{eye} – количество баллов, полученных в результате тестов по оценке опорно-двигательного аппарата и по оценке зрения.

Состояние сердечно-сосудистой системы оценивается по трем параметрам с установлением весов каждого из параметров. Итоговая оценка определяется соотношением (9).

$$L_{ccc} = k_1 \cdot AD_{\%} + k_2 \cdot Ps_{\%} + k_3 \cdot t_{\%}, \quad (9)$$

где k_1, k_2, k_3 – весовые коэффициенты, определяющие значимость таких показателей, как артериальное давление, пульс и температура тела соответственно.

Указанные коэффициенты определялись экспертно методом парных сравнений, в соответствии с которым весовые коэффициенты равны собственному вектору матрицы парных сравнений. Было применено приближенное вычисление собственного вектора методом среднего геометрического измерения расстояний между оцениваемыми объектами [29]. В результате получен нормализованный вектор приоритетов: $k_1 = 0,439, k_2 = 0,277, k_3 = 0,284$. Отсюда итоговая оценка состояния сердечно-сосудистой системы:

$$L_{ccc} = 0,439 \cdot AD_{\%} + 0,277 \cdot Ps_{\%} + 0,284 \cdot t_{\%}.$$

Перевод входных данных производится на основании формул, выведенных в соответствии с общепринятыми в медицинской практике нормами [30], с учетом мнений экспертов (таблицы 3, 4).

Таблица 3. Правила перевода частоты пульса в процентную шкалу

| | Частота пульса уд./мин | Оценка, % | Ps% |
|------------------------|------------------------|-----------|----------------------------|
| Выраженная брадикардия | 32–48 | 0-59 | $\frac{100}{28}(x - 32)$ |
| Умеренная брадикардия | 49–59 | 60-99 | |
| Физиологическая норма | 60–84 | 100 | 100 |
| Тахикардия | 85–95 | 68-99 | $-\frac{100}{34}(x - 118)$ |
| Выраженная тахикардия | 96-118 | 0-67 | |
| Предельные значения | менее 32, более 118 | 0 | 0 |

Таблица 4. Градации артериального давления

| Название степени тяжести | Цифры артериального давления, мм.рт.ст. | Оценка, % |
|----------------------------|---|-----------|
| Нормальное давление | 106-129/80-85 | 100 |
| Склонность к гипотонии | 100–105/ 55–80 | 54 - 99 |
| Повышенное давление | 130-139/85-89 | 80 - 99 |
| Умеренная гипертония | 140-159/90-99 | 38 - 79 |
| Гипотония | 90–99/ 45–54 | 14 - 53 |
| Гипертония средней тяжести | 160-179/100-109 | 0 - 37 |
| Тяжелая гипертония | Более 180/ более 110 | 0 |
| Выраженная гипотония | 75–89/ 20–44 | 0 - 14 |

В соответствии с нормами, указанными в таблице 4 определены правила перевода артериального давления к процентной шкале:

$$AD_{\%} = \begin{cases} 100 - 3.2k, k = dys - 85, \text{ если } \begin{cases} sys \in [105; 129] \\ dys > 85 \end{cases} \\ 100 - 1.6k, k = sys - 129, \text{ если } \begin{cases} sys > 129 \\ dys \in [80; 85] \end{cases} \\ 100 - (1.6k_{sys} + 3k_{dys}), k_{sys} = sys - 129, k_{dys} = dys - 85, \text{ если } \begin{cases} sys > 129 \\ dys > 85 \end{cases} \\ 100 - 1.3k, k = 80 - dys, \text{ если } \begin{cases} sys \in [105; 129] \\ dys < 80 \end{cases} \\ 100 - 2.7k, k = 105 - sys, \text{ если } \begin{cases} sys < 105 \\ dys \in [80; 85] \end{cases} \\ 100 - (2.7k_{sys} + 1.3k_{dys}), k_{sys} = 105 - sys, k_{dys} = 80 - dys, \text{ если } \begin{cases} sys < 105 \\ dys < 80 \end{cases} \\ 100 - (2.7k_{sys} + 3.2k_{dys}), k_{sys} = 105 - sys, k_{dys} = dys - 85, \text{ если } \begin{cases} sys < 105 \\ dys > 85 \end{cases} \\ 100 - (1.6k_{sys} + 1.3k_{dys}), k_{sys} = sys - 129, k_{dys} = 80 - dys, \text{ если } \begin{cases} sys > 129 \\ dys < 80 \end{cases} \end{cases}$$

В таблице 5 приведены правила перевода значений температуры тела, выведенные с учетом общепринятых физиологических норм и ограничений на разрабатываемую систему, связанных с возможностью самостоятельной работы пользователя с системой.

Таблица 5. Правила перевода температуры тела к процентной шкале

| | $t, ^\circ\text{C}$ | Оценка, % | $t, \%$ |
|------------------------|---------------------|-----------|-------------|
| Нормальная температура | 36 – 36,6 | 100 | 100 |
| Повышенная | 36,6 – 38 | 65 - 99 | -25x + 1015 |
| Высокая температура | 38 – 40 | 15 - 64 | |
| Чрезмерно высокая | выше 40 | 0 | 0 |
| Пониженная | 34 - 36 | 10 - 99 | 50x – 1700 |
| Низкая | ниже 34 | 0 | 0 |

Значение сатурации не нуждается в дополнительном преобразовании, поскольку измеряется по 100% шкале.

Для отклонений от нормы по показателю сахара в крови, свидетельствующих о наличии диабета, принята следующая шкала, правила перевода, в которую установлены методом интерполяции по точкам, соответствующим граничным значениям норм, представленным таблицей 6.

Таблица 6. Нормы уровня сахара в крови

| | ммоль/л | Оценка, % | Правило перевода (L_{diabet}) |
|--------------------|----------------|-----------|--|
| Норма | 3,5 – 5,5 | 100 | - |
| Преддиабет | 5,6 – 6,0 | 88- 99 | $203,858 - 25,061x + 1,06x^2 - 0,015x^3$ |
| Диабет | $6,1 < x < 20$ | 0 - 87 | |
| Диабетическая кома | > 20 | 0 | - |

7.5. Модели для оценки состояния здоровья и качества жизни. С учетом всех описанных ранее теоретических выкладок в данном разделе приводятся итоговые математические модели для оценки состояния здоровья и качества жизни по показателю здоровья [31].

Исходные данные собирались на базе Регионального сосудистого центра Томской областной клинической больницы. Репрезентативность выборки в данном случае обеспечивается заменой случайного отбора простым отбором, выполняемого с помощью регулярной, но несущественной для изучаемого вопроса процедуры.

Поскольку исследование связано с медицинской практикой, такой отбор может проводиться по конкретному дню опроса пациентов.

С помощью программного пакета для статистического анализа STATISTICA 7 была проведена оценка распределения выборки людей, на основании которого строилась модель. Результат сравнения распределения наблюдаемых значений по относительным частотам с теоретическим нормальным распределением представлен на рисунке 4.

Полученное значение критерия Колмогорова-Смирнова (D) равно 0,106. Критическое значение критерия согласия Колмогорова для выборки объемом 30 при уровне значимости $\alpha=0,05$ ($D_{кр}$) равно 0,240. Поскольку $D < D_{кр}$, гипотеза о нормальном распределении зависимой переменной не опровергается. Таким образом, выполняется условие, необходимое для применения метода наименьших квадратов для оценки коэффициентов регрессии, а также для применения ряда тестов по проверке надежности регрессионной модели.

Линейная модель оценки состояния здоровья включает четыре фактора и описывается соотношением (10).

$$H_{int} = 0.2016 \cdot L_{ccc} + 0.3466 \cdot L_{move} + 1.6226 \cdot L_{air} + 0.4816 \cdot L_{diabet} - 180.74. \quad (10)$$

Variable: Оценка здоровья, Distribution: Normal
Kolmogorov-Smirnov d = 0,10570,
Chi-Square test = 2,29259, df = 1 (adjusted), p = 0,12999

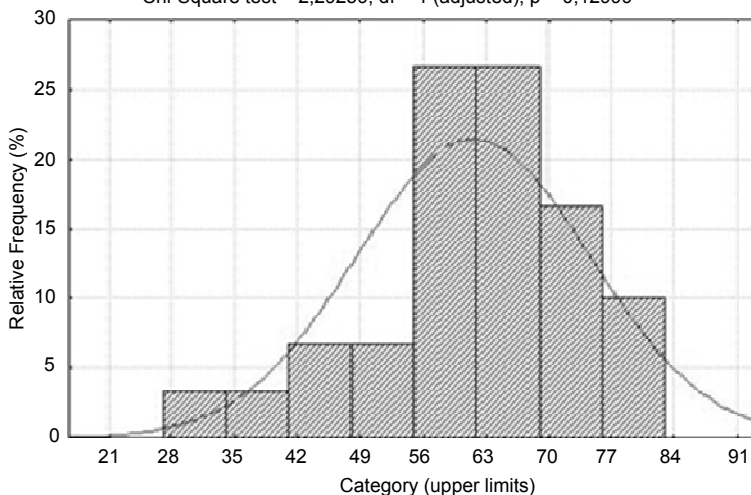


Рис. 4. Сравнение распределения наблюдаемых значений с теоретическим распределением

Модель качества жизни по показателю здоровья определяется формулой (5) В данном случае учитываются все определенные экспертно факторы. Весовые коэффициенты рассчитываются с применением пропорционального деления единицы между факторами на основании полученных по опросникам результатов. Подсчет балла для отдельного фактора выполняется по формуле (11):

$$W_{QoL(i)} = \frac{\sum_n (Imp \cdot W)}{n}, \quad (11)$$

где W_{QoL} – коэффициент влияния на качество жизни фактора;
 Imp – влияние на отдельный аспект жизни, $Imp = \{-3, -2, -1, 0, 1\}$;
 W – коэффициент значимости аспекта жизни, $W = \{0, 1, 2, 3\}$;
 n – количество значимых для субъекта аспектов жизни.

Таким образом, для каждого фактора значение его влияния на качество жизни варьируется в диапазоне (-9; +3).

После подсчета значений для каждого из факторов производится определение их весовых коэффициентов по правилу (12):

$$k_i = \frac{1}{\sum_{i=1}^5 W_{QoL(i)}} \cdot W_{QoL(i)}. \quad (12)$$

Для устранения возникающей исключительной ситуации в случае равенства всех значений W_{QoL} нулю (что равнозначно отсутствию влияния фактора здоровья на качество жизни человека), считаем, что все факторы вносят равный вклад в общую оценку и соответствующие коэффициенты k_i равны 0,2.

8. Верификация моделей.

8.1. Проверка значимости регрессионной модели оценки состояния здоровья. Статистическое оценивание надежности коэффициентов регрессии θ_i производится с помощью t – критерия Стьюдента [23].

Вычисляется статистика, описываемая формулой (13):

$$t_n(i) = \frac{\theta_i}{\bar{s}_i}, \quad (13)$$

где $\bar{s}_i = \sqrt{\frac{(y-x\theta)^T(y-x\theta)c_{ii}}{m-n-1}}$ – средняя ошибка для θ_i ;

$X\theta$ – расчетные значения объясняемой переменной;
 c_{ii} –диагональные элементы матрицы $(X^T X)^{-1}$.

Наблюдаемое значение $t_n(i)$ сравнивается с табличным t_T при заданном уровне значимости α и числе степеней свободы $\nu = m - n - 1$, где m – количество наблюдений, n – число факторов. Значимость θ_i подтверждается, если $|t_n(i)| > t_T$.

Уровень значимости t -критерия равен вероятности ошибочно отвергнуть гипотезу о равенстве выборочных средних двух выборок, когда в действительности эта гипотеза имеет место.

При уровне значимости $\alpha = 0,01$ и степени свободы равной 25. $t = 2,787$. Таким образом, при $\alpha = 0,01$ статистически подтвердились коэффициенты перед L_{diabet} (0,4816) и L_{move} (0,3466). При уровне значимости $\alpha = 0,1$ подтверждаются все коэффициенты, имея следующие наблюдаемые значения t -критерия: $t_{nccc} = 1.588$, $t_{nair} = 2,611$, $t_{nmove} = 8.995$, $t_{ndiabet} = 3.88$.

Для оценки соответствия модели данным вычисляется коэффициент детерминации. В случае линейной модели коэффициент детерминации R^2 характеризует долю дисперсии, объясняемую регрессией, в общей дисперсии результативного признака и определяется формулой (14).

$$R^2 = \frac{(X\theta - \bar{y})^2}{(y - \bar{y})^2}, \quad (14)$$

где $\bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i$.

Рассчитанный по формуле (14) коэффициент детерминации равен 0,955, что свидетельствует о высоком уровне соответствия модели исходным данным.

Также необходима проверка гипотезы об информационной способности всей модели в целом с использованием F -статистики Фишера.

Вычисляется критериальная статистика по формуле (15):

$$F_H = \frac{n - (m + 1)}{n + 1} \cdot (X \cdot \theta)^T \cdot (X \cdot \theta) \cdot [(y - X \cdot \theta)^T \cdot (y - X \cdot \theta)]^{-1}. \quad (15)$$

Критическое значение статистики сравнивается с теоретическим значением F -статистики Фишера при заданном уровне значимости α и при числе степеней свободы $\nu_1 = n + 1$, $\nu_2 = n - (m + 1)$. При $\alpha = 0,05$ $F_T = 1,93$.

Найденное по формуле (15) значение $F_H = 55,819$. Если $F_H > F_T(v_1, v_2)$, то надежность регрессионной модели подтверждается. Значит, применение регрессионной модели статистически обосновано.

Относительная ошибка модели рассчитана с применением неравенства Чебышева следующего вида: $P\{|y - X\theta| < \frac{1}{\varepsilon} \cdot \sqrt{\sigma^2}\} \geq 0.9$.

Из данного неравенства следует, что с вероятностью 0,9 отклонение модельных данных от реальных $|y - X\theta|$ не превышает 14,869.

Относительный коэффициент вариации определяется:

$$E = \frac{\sqrt{\sigma^2}}{\bar{y}} \cdot 100\%,$$

где $\sqrt{\sigma^2}$ - оценка среднеквадратичного отклонения. В данных расчетах $E = 7,39\%$.

8.2. Верификация модели качества жизни. Проверка модели качества жизни проводилась на контрольной группе объемом в 10 человек. Состав контрольной группы представлен шестью пациентами Регионального сосудистого центра Томской областной клинической больницы (ТОКБ) разных возрастных и половых групп, имеющих одного лечащего врача, а также четырьмя сотрудниками данного подразделения ТОКБ.

С каждого участника были собраны все учитываемые в модели физиологические параметры, а также результаты заполнения опросников по оценке зрения и двигательной активности.

В указанной таблице также зафиксированы результаты заполнения анкет по оценке влияния того или иного фактора здоровья на качество жизни субъекта и рассчитанные в соответствии с формулой (14) весовые коэффициенты влияния факторов (k_i).

По зафиксированным данным с использованием разработанной модели оценки качества жизни по показателю здоровья (формула (15)) рассчитаны итоговые оценки *QoL*.

Отбор контрольной группы производился с учетом возможности экспертной оценки их состояния. Именно поэтому включены пациенты одного лечащего врача (эксперта). Этим же экспертом проводилась оценка состояния оставшихся четырех участников группы.

Для проверки согласованности модельных оценок с оценками, данными экспертом, рассчитан линейный коэффициент их корреляции.

Коэффициент корреляции рассчитывается по формуле:

$$r_{xy} = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2} \cdot \sqrt{\sum(Y - \bar{Y})^2}}$$

где \bar{X} , \bar{Y} – средние значения соответствующих переменных.

Полученные оценки $r_{xy} = 0,957$, что говорит о тесной корреляционной связи между модельными и экспертными оценками.

9. Заключение. По результатам проведенного исследования, описанного в данной статье, можно сделать следующие выводы:

– предложена схема функционирования системы удаленного мониторинга пациента на основе передачи интегральных оценок его состояния с учетом вопросов обеспечения информационной безопасности обрабатываемых в системе персональных данных;

– определен набор факторов здоровья, на основании которых возможна интегральная оценка состояния человека: состояние сердечно-сосудистой системы, состояние дыхательной системы, двигательная активность, качество зрения, наличие диабета;

– на базе Регионального сосудистого центра Томской областной клинической больницы сформирована референтная группа лиц, и произведен сбор исходных данных;

– на основе полученных данных после отбора значимых факторов построена регрессионная модель интегральной оценки состояния здоровья человека: $H_{int} = 0.2016 \cdot L_{ccc} + 0.3466 \cdot L_{move} + 1.6226 \cdot L_{air} + 0.4816 \cdot L_{diabet} - 180.74$; а также модель оценки качества жизни человека по показателю здоровья, получаемой в результате взвешенного суммирования отдельных факторов здоровья: $QoL = \sum_{i=1}^5 k_i \cdot L_i$;

– выполнено статистическое обоснование надежности регрессионной модели: коэффициент детерминации $R^2 = 0.955$, что говорит о соответствии модели исходным данным, по t-критерию Стьюдента на уровне значимости 0,1 подтверждены все коэффициенты регрессии, общая информационная способность модели подтверждена по критерию Фишера;

– проведена верификация модели оценки качества жизни на основе согласованности модельных расчетов с экспертным мнением: коэффициент корреляции между модельными и экспертными оценками равен 0,957.

Как следствие достигнута поставленная цель. Полученные результаты используются и могут быть использованы для реализации системы удаленного мониторинга пациентов [31-34].

Благодарности. Авторы благодарят врачей ОГБУЗ «Областной перинатальный центр» за сотрудничество.

Литература

1. Устав (Конституция) Всемирной организации здравоохранения от 26 июля 1946г.
2. Социальная гигиена и организация здравоохранения / Под ред. А.Ф.Серенко, В.В. Ермакова. // М.: Медицина, 1984, 2-е изд. 640 с.
3. *Меерсон Ф.З.* Адаптация, стресс и профилактика // М., Наука. 1981. 336 с.
4. *Шурыгина Ю.Ю.* Научно-практические основы здоровья //Улан-Удэ.: ВСГТУ, 2009. 287 с.
5. *Зайцев А.А., Левицкий Е.Ф., Ходашинский И.А., Барабаи Л.В., Плотников О.О.* Метод прогнозирования эффективности восстановительного лечения на основе дерева решений // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2010. № 5. С. 35-38.
6. *Зайцев А.А., Ходашинский И.А., Плотников О.О.* Прогнозирование эффективности немедикаментозного лечения на основе ансамблей классификаторов // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2011. № 4. С. 46-49.
7. *Шишкова Ю.А., Суркова Е.В., Мотовилин О.Г., Майоров А.Ю.* Качество жизни при сахарном диабете: определение понятия, современные подходы к оценке, инструменты для исследования // Сахарный диабет. 2011. №3. С. 70-75.
8. *Мещеряков Р.В., Конев А.А.* К вопросу об исследовании биологических параметров человека в защищенных системах // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2010. № 1-1. С. 131-136.
9. *Мусина В.Ф.* Байесовские сети доверия как вероятностная графическая модель для оценки медицинских рисков // Труды СПИИРАН. 2013. Вып. 24. С. 135–151.
10. *Чернакова С.Э., Карпов А.А., Нечаев А.И., Ронжин А.Л.* Мультимодальный человек-машинный интерфейс в медицинских приложениях // Мехатроника, автоматизация, управление. 2008. № 11. С. 32-37.
11. *Седнев В.В.* Оценка качества жизни и эффективности лечебно-реабилитационных мероприятий // Международный медицинский журнал. 2004. №1. С. 52-55.
12. *Schag C., Heinrich R., Ganz P.* Karnofsky Performance Status Revisited: Reliability, Validity and Guidelines // Journal of Clinical Oncology. 1984. vol. 2. no. 3. pp. 187-193.
13. *Ошевский Л.В., Крылова Е.В., Уланова Е.А.* Изучение состояния здоровья человека по функциональным показателям организма // Н-Новгород.: ННГУ им. Н.И. Лобачевского. 2007. 67 с.
14. Таблица хи-квадрат. URL: http://sernam.ru/book_tp.php?id=126 (дата обращения 13.09.2013).
15. *Мещеряков Р.В., Щипунов Е.Ф., Васильцева О.Я.* Оценка взаимосвязей между параметрами сердечно-сосудистой системы человека // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. № 5. С. 14-20.

16. Пульсоксиметрия, сатурация: возможности компьютерной пульсоксиметрии в диагностике обструктивного апноэ сна и дыхательной недостаточности. URL: <http://www.ukrtelemed.com/pulsoksimetriya.php> (дата обращения 7.09.2013г.).
17. *Binkley M.* The Lower Extremity Functional Scale (LEFS): scale development, measurement properties? And clinical application // *Physical Therapy*. 1999. vol. 79. no. 4. pp. 371-383.
18. *Мещераков Р.В., Понизов А.Г.* Оценка качества слуха на основе мобильных вычислительных устройств // *Труды СПИИРАН*. 2011. Вып. 18. С. 93–107.
19. *Bradley C., Todd C., Gorton T., et al.* The development of an individualised questionnaire measure of perceived impact of diabetes on quality of life: the ADDQoL // *Quality of Life Research*. 1999. vol. 8. pp. 79-91.
20. *Ануфриева Н.Ю., Мещераков Р.В., Шевцова Г.А.* Оценивание результативности работы центра информационного обслуживания // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2012. Т. 55. № 11. С. 63-66.
21. *Карпов А.А., Ронжин А.Л.* Многомодальные интерфейсы в автоматизированных системах управления // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2005. Т. 48. № 7. С. 9-14.
22. *Ронжин А.Л., Карпов А.А.* Исследование многомодального человеко-машинного взаимодействия на базе информационно-справочного киоска // *Информационно-измерительные и управляющие системы*. 2009. Т. 7. № 4. С. 22-26.
23. *Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д.* Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. Справочное изд. // М.: Финансы и статистика. 1983. 471 с.
24. *Мещераков Р.В.* Критерий структурной сложности информационных систем // *Труды СПИИРАН*. 2010. № 14. С. 76-90.
25. *Ходашинский И.А.* Идентификация нечетких систем: методы и алгоритмы // *Проблемы управления*. 2009. № 4. С. 15-23.
26. *Машевский Г.А., Юлдашев З.М.* Модель принятия решений при диагностике воспалительных процессов организма по виду интоксикации ионами HS^- и Fe^{2+} // *Информационно-управляющие системы*. 2013. №2(63). С. 43-47
27. *Ходашинский И.А.* Псевдофизическая логика оценок величин // *Известия Российской академии наук. Теория и системы управления*. 1988. № 5. С. 96.
28. *Стрижев В.В., Крымова Е.А.* Методы выбора регрессионных моделей // М.: Вычислительный центр им. А.А.Дородницына РАН. 2010. 60 с.
29. *Райков А.Н.* Парные сравнения. URL: http://arhidoka.ru/files/2011/09/Lab_3_Hierarchy_Process.pdf (дата обращения 23.09.2013г.).
30. Справочник медицинской сестры по уходу / Под ред. Н.П.Палева // М.: Медицина. 1981. 336 с.
31. *Мещераков Р.В.* Модель обработки информации в различных шкалах // *Современные информационные технологии*. 2008. № 8. С. 101-103.
32. *Мещераков Р.В., Бондаренко В.П.* Диалог как основа построения речевых систем // *Кибернетика и системный анализ*. 2008. № 2. С. 30-41
33. *Мещераков Р.В., Балацкая Л.Н., Чойнзонов Е.Л.* Специализированная информационная система поддержки деятельности медицинского учреждения // *Информационно-управляющие системы*. 2012. № 5. С. 51-56.
34. *Юсупов Р.М., Ронжин А.Л.* От умных приборов к интеллектуальному пространству // *Вестник Российской академии наук*. 2010. Т. 80. № 1. С. 45-51.

References

1. Charter (Constitution) of the World Health Organization, 26 July 1946. (In Russ.)
2. *Social'naja gigiena i organizacija zdravoohraneniya* [Social Hygiene and Health Organization]. Edited by A.F. Serenko, V.V. Ermakova. M.: Medical 1984. 2nd ed. 640 p. (In Russ.)
3. Meyerson F.Z. *Adaptacija, stress i profilaktika* [Adaptation, and stress prevention]. Moscow: Nauka. 1981. 336 p. (In Russ.)
4. Shurygina Y.Y. *Nauchno-prakticheskie osnovy zdorov'ja* [Scientific and practical foundation of health]. Ulan-Ude.: ESSTU. 2009. 287 p. (In Russ.)
5. Zaitsev A.A., Levitsky E.F., Khodashinsky I.A., Barabash L.V., Plotnikov O.O. [Method of predicting the effectiveness of rehabilitation treatment on the basis of a decision tree]. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoj fizicheskoj kul'tury – Questions of the resorts, physiotherapy and medical physical culture*. 2010. no. 5. pp. 35-38. (In Russ.)
6. Zaitsev A.A., Khodashinsky I.A., Plotnikov O.O. [Predicting the effectiveness of non-pharmacological treatment based on ensembles of classifiers]. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoj fizicheskoj kul'tury – Questions of the resorts, physiotherapy and medical physical culture*. 2011. no. 4. pp. 46-49. (In Russ.)
7. Shishkova Yu.A., Surkova E.V., Motovilin O.G., Mayorov A.Yu. [Quality of life for patients with diabetes: the definition, modern approaches to assessment, research tools]. *Saharnyj diabet – Diabetes*. 2011. no. 3. pp. 70-75. (In Russ.)
8. Meshcheryakov R.V., Konev A.A. [On the study of biological parameters of the person in secure systems]. *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki – Proceedings of the Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics*. 2010. no. 1-1. pp. 131-136. (In Russ.)
9. Mussina V.F. [Bayesian belief networks as a probabilistic graphical model for the evaluation of health risks]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2013. vol 24. pp. 135-151. (In Russ.)
10. Chernakova S.E., Karpov A.A., Nechaev A.I., Ronzhin A.L. [Multimodal human-machine interface in medical applications]. *Mehatronika, avtomatizacija, upravlenie – Mechatronics, Automation, Control*. 2008. no. 11. pp. 32-37. (In Russ.)
11. Sednev V.V. [Quality of life and effectiveness of treatment and rehabilitation]. *Mezhdunarodnyj medicinskij zhurnal – International Journal of Medical*. 2004. no. 1. pp. 52-55. (In Russ.)
12. Schag C., Heinrich R., P.Ganz. Karnofsky Performance Status Revisited: Reliability, Validity, and Guidelines. *Journal of Clinical Oncology*. 1984.vol.2, no.3. pp. 187-193.
13. Oshevskiy L.V., Krylova E.V., Ulanova E.A. *Izuchenie sostojanija zdorov'ja cheloveka po funkcional'nym pokazateljam organizma* [The study of human health on functional parameters of the body]. N. Novgorod.: NNGU im. N.I. Lobachevskogo, 2007. 67 p. (In Russ.)
14. Tablica hi-kvadrat [Chi-squared table]. Available at: http://sernam.ru/book_tp.php?id=126 (accessed 13.09.2013).
15. Meshcheryakov R.V., Shchipunov E.F., Vasil'tseva O.J. [Assessment of interlinkages between the parameters of the cardiovascular system of man]. *Biomedicinskaja radioelektronika – Biomedical electronics*. 2013. no 5. pp. 14-20. (In Russ.)
16. Pul'soksimetrija, saturacija: vozmozhnosti komp'juternoj pul'soksimetrii v diagnostike obstrukcionogo apnoje sna i dyhatel'noj nedostatochnosti [Oximetry, saturation: pulse oximetry capabilities of the computer in the diagnosis of obstructive sleep apnea and respiratory failure]. Available at: <http://www.ukrtelemed.com/pulsoksimetriya.php> (accessed 7.09.2013). (In Russ.)

17. Binkley M. The Lower Extremity Functional Scale (LEFS): scale development, measurement properties? And clinical application. *Physical Therapy*. 1999. vol. 79, no. 4. pp. 371 – 383.
18. Meshcheryakov R.V., Ponizov A.G. [Assessment of the quality of hearing -based mobile computing devices]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2011. vol. 18. pp. 93-107. (In Russ.)
19. Bradley C., Todd C., Gorton T., et al. The development of an individualised questionnaire measure of perceived impact of diabetes on quality of life: the ADDQoL. *Quality of Life Research*. 1999. vol. 8. pp. 79-91.
20. Anufrieva N.Y., Meshcheryakov R.V., Shevtsova G.A. [Assessing performance documentation center]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Priborostroenie – News of higher educational institutions. Instrument*. 2012. vol. 55. no. 11. pp. 63-66. (In Russ.)
21. Karpov A.A., Ronzhin A.L. [Multimodal interfaces in automated control systems]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Priborostroenie – Proceedings of the higher educational institutions. Instrument*. 2005. vol. 48. no. 7. pp. 9-14. (In Russ.)
22. Ronzhin A.L., Karpov A.A. [Study multimodal human-computer interaction based on information kiosks]. *Informacionno-izmeritel'nye i upravljajushhie sistemy – Information- measuring and control systems*. 2009. vol. 7. no. 4. pp. 22-26. (In Russ.)
23. Ayvazyan S.A., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. *Osnovy modelirovaniya i pervichnaja obrabotka dannyh. Spravochnoe izd.* [Applied Statistics: Basics of modeling and preprocessing of data. Reference ed]. M.: Finansy i statistic. 1983. 471 p. (In Russ.)
24. Meshcheryakov R.V. [Criterion structural complexity of information systems]. *Trudy SPIIRAN – Proceedings SPIIRAS*. 2010. no. 14. pp. 76-90. (In Russ.)
25. Khodashinsky I.A. [Identification of fuzzy systems: methods and algorithms]. *Problemy upravlenija – Control*. 2009. no. 4. pp. 15-23. (In Russ.)
26. Mashevsky G.A., Yuldashev Z.M. [Decision-making model for the diagnosis of inflammatory processes of the body to an intoxication HS- ions and Fe2 +]. *Informacionno-upravljajushhie sistemy – Information and Control Systems*. 2013 no. 2(63). pp 43-47. (In Russ.)
27. Khodashinsky I.A. [Pseudo physical logic estimates of the values]. *Izvestija Rossijskoj akademii nauk. Teorija i sistemy upravlenija – Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Theory and control systems*. 1988. no. 5. pp. 96. (In Russ.)
28. Strizhev V.V., Krymova E.A. *Metody vybora regressionnyh modelej* [Methods for selecting regression models]. M.: Vychislitel'nyj centr im. A.A.Dorodnicyna RAN. 2010. 60 p. (In Russ.)
29. Raykov A.N. Parnye sravnenija [Pairwise comparisons]. Available at: http://arhidoka.ru/files/2011/09/Lab_3_Hierarchy_Process.pdf (accessed 23.09.2013). (In Russ.)
30. *Spravochnik medicinskoj sestry po uhodu* [Directory nurse care]. Edited by N.R.Paleeva. M.: Medicina. 1981. 336 p. (In Russ.)
31. Meshcheryakov R.V. [Model of information processing in different scales]. *Sovremennye informacionnye tehnologii – Modern information technology*. 2008. no. 8. pp. 101-103. (In Russ.)
32. Meshcheryakov R.V., Bondarenko V.P. [Dialogue as a basis for constructing speech systems]. *Kibernetika i sistemyj analiz – Cybernetics and Systems Analysis*. 2008. no. 2. pp. 30-41. (In Russ.)
33. Meshcheryakov R.V., Balatskaya L.N., Choinzonov E.L. [Specialized information system support of the medical facility]. *Informacionno-upravljajushhie sistemy – Information and Control Systems*. 2012. no. 5. pp. 51-56. (In Russ.)
34. Yusupov R., Ronzhin A.L. [From smart devices to intelligent space]. *Vestnik Rossijskoj akademii nauk – Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2010. vol. 80. no. 1. pp. 45-51. (In Russ.)

Козыренко Наталья Сергеевна — инженер кафедры Комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем ТУСУР. Область научных интересов: информационная безопасность, математическое моделирование. Число научных публикаций — 2. office@keva.tusur.ru; 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, р.т. +7 (3822) 900-111, факс +7 (3822) 900-111.

Kozyrenko Natalia Sergeevna — engineer, Dept. of Complex Security of Electronic-computing Systems of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR). Research interests: medical technology, information security. The number of publications — 2, office@keva.tusur.ru; KIBEVS Dept. TUSUR, 40, Lenin-avenue Tomsk, 634050, Russia; office phone +7(3822)413-426, fax +7(3822)900-111.

Мешеряков Роман Валерьевич — д-р. техн. наук, профессор кафедры Комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем ТУСУР. Область научных интересов: системный анализ, информационная безопасность, вопросы обработки информации в интеллектуальных системах, особое внимание уделяется вопросам создания информационно-безопасных систем. Число научных публикаций — 247. mrv@security.tomsk.ru; 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, ауд. 210; р.т. +7 (3822) 900-111, факс +7 (3822) 900-111.

Meshcheriakov Roman Valerievich — Ph.D., Dr.Sci., professor, Dept. of Complex Security of Electronic-computing Systems of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR). Research interests: speech analysis, speech recognition, medical technology, information security. The number of publications — 247, IEEE Senior Member. mrv@security.tomsk.ru; KIBEVS Dept. TUSUR, 40, Lenin-avenue Tomsk, 634050, Russia; office phone +7(3822)413-426, fax +7(3822)900-111.

Ходашинский Илья Александрович — д-р. техн. наук, профессор, профессор кафедры комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем ТУСУР. Область научных интересов: вычислительный интеллект, метаэвристики. Число научных публикаций — 117. hodashn@rambler.ru; 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40; р.т. +7 (3822) 900-111, факс +7 (3822) 900-111.

Hodashinsky Ilya Aleksandrovich — Ph.D., Dr.Sci., professor, Dept. of Complex Security of Electronic-computing Systems of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR). Research interests: computational intelligence, metaheuristics. The number of scientific publications — 117. IEEE Member. hodashn@rambler.ru; 634050, Tomsk, Lenin Avenue, 40, phone: +7 (3822) 900-111, Fax: +7 (3822) 900-111.

Ануфриева Наталья Юрьевна — к-т. техн. наук, доцент, начальник информационно-вычислительного отдела КГБУЗ «Консультативно-диагностический центр». Область научных интересов: вопросы обработки информации в медицинских системах, моделирование информационных процессов. Число научных публикаций — 45. office@kdc.bysk.secna.ru; 659306, г. Бийск, ул. Советская, 33; р.т. +7 (3854) 327554, факс +7 (3845) 327554.

Anufrieva Natalia Yurievna — Ph.D., assistant professor, Head of the Department Information-Computer System of "Consultation and Diagnostic Center". Research interests: information processing in medical systems, modeling of information processes. The number of publications — 45 Member. office@kdc.bysk.secna.ru; 33, Sovetskaya ul., 659306, Russia; Bysk, office phone/fax +7(3854) 327554.

РЕФЕРАТ

Козыренко Н.С., *Мещеряков Р.В.,* *Ходашинский И.А.Г.,*
Ануфриева Н.Ю. **Математическое и алгоритмическое обеспечение**
оценки состояния здоровья человека.

Как правило, основой оценки состояния человека являются субъективные суждения врача, даваемая им на основе анализа информации о состоянии подсистем организма по отточенным многолетним опытом методов диагностики. В этом случае, специалисту необходимо предоставление ряда функциональных показателей и проработка схем их защищенной передачи.

Предлагается решение, позволяющее скрыть конкретные показатели здоровья человека, не снизив при этом информативности об общем состоянии пациента. Целью работы является разработка численного метода и алгоритмов оценки уровня здоровья и качества жизни человека по показателю здоровья для реализации автоматизированной системы удаленного мониторинга пациента с учетом обеспечения информационной безопасности обрабатываемых в системе персональных данных.

Исключительно формальный подход к отбору факторов невозможен. Коэффициенты влияния того или иного фактора на интегральную оценку должны рассчитываться индивидуально для каждого субъекта.

При отборе показателей учитывалось мнение специалистов, опирающихся на опыт в медицинской практике. По такой оценке в модели необходимо учесть влияние следующих факторов: состояние сердечно-сосудистой системы; состояние дыхательной системы; качество зрения; двигательная активности человека; состояние эндокринной системы (в частности наличие диабета).

Исходные данные собирались на базе Регионального сосудистого центра Томской областной клинической больницы. Репрезентативность выборки в данном случае обеспечивается заменой случайного отбора простым отбором, выполняемого с помощью регулярной, но несущественной для изучаемого вопроса процедуры. Поскольку исследование связано с медицинской практикой, такой отбор может проводиться по конкретному дню опроса пациентов.

Учет данных показателей возможен за счет ввода в систему значений, снятых с помощью цифрового тонометра и термометра. Электронный тонометр позволяет фиксировать сразу и давление, и пульс, кроме того, исчезает необходимость использования фонендоскопа – становится возможным самостоятельное измерение данных показателей. Для учета показателей в модели производится перевод введенных значений в соответствии со шкалами.

Методы получения интегральной оценки включает в себя: выделение признака с экстремальным значением в качестве обобщенной оценки объекта; вычисление среднего арифметического, если все учитываемые показатели имеют одинаковый знак и вес; взвешенное суммирование применяется в тех случаях, когда есть возможность найти весовые коэффициенты, учитывающие вклад отдельных показателей.

При этом взвешенное суммирование дает наиболее точный результат, за счет учета вклад факторов в общую оценку в соответствии со степенью беспокойства, вызываемого данными факторами у конкретного субъекта. Проверка адекватности созданной модели показала соответствие оценок здоровья пациентов, полученных на модели и специалистами-медиками.

SUMMARY

Kozyrenko N.S., Meshcheryakov R.V., Hodashinsky I.A., Anufrieva N.Y.

Mathematical model and algorithms of people health evaluation.

Basis of assessment of the human condition is a subjective assessment of a doctor, given by him on the basis of analysis of information on the state of the subsystems of the body using diagnostic procedures developed during years of experience. In this case, the specialist needs in providing of a number of functional indicators and their secure transmission.

A solution that allows you to hide specific indicators of health without decreasing the informative of the patient general state is proposed. The aim of the research is to develop quantitative methods and algorithms for assessing the level of health and quality of life in terms of health for the implementation of automated system for remote monitoring of patients with the information security system, which processes personal data.

Extremely formal approach to the selection of factors is impossible. The coefficients of the influence of various factors on the integrated assessment should be calculated individually for each subject.

During selection of indicators the opinion of experts based on the experience in the practice of medicine was taken into account. Such assessment should use the following factors: the state of the cardiovascular system, the respiratory system, the quality of vision, motor activity of man, the state of the endocrine system (in particular, the presence of diabetes).

Experimental data were collected at the Regional Vascular Center of Tomsk Regional Hospital. Representativeness of the sample in this case is provided by the replacement of a simple random sample selection, which is carried out by means of regular procedures, but irrelevant to the issue under study. Because the study is associated with medical practice, such selection can be performed on a particular day of the patient survey.

The accounting of these parameters is possible by introducing a system of values registered by a digital thermometer and sphygmomanometer. Electronic tonometer allows a physician to fix once pressure, and pulse, in addition it eliminates the need to use stethoscope - it is possible to self-measurement of these indicators. To account of the indicators in the model, the entered values are converted in accordance with the scales.

Methods for preparation of integrated assessment: feature extraction with an extreme value as a generic estimate of the object, calculating the arithmetic mean, if all relevant parameters have the same sign and weight; the weighted sum is used in cases where it is possible to find weights and take into account the contribution of individual indicators.

The weighted summation yields the most accurate results by the factors determining the contribution to the overall assessment in accordance with the degree of disturbance caused by these factors of a subject. Testing the adequacy of the developed model has shown compliance of the health of patients estimates obtained by the model and medical professionals.