

УДК 519.816

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ГЕРИАТРИЧЕСКИХ РИСКОВ

М. А. Николаева¹, А. И. Агадуллина²

¹ marina_danicheva@mail.ru, ² aygul.agadullina@gmail.com

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 5 декабря 2020 г.

Аннотация. В статье рассматриваются модели, методы и алгоритмы, которые составляют основу математического обеспечения системы анализа гериатрических рисков. Эти методы поддерживают процессы идентификации, оценки и управления рисками в гериатрии. Каждый метод рассматривается в статье с точки зрения назначения в системе, особенностей входных и выходных данных и алгоритма реализации. Это, как правило, традиционные методы анализа рисков, но впервые они применены для анализа гериатрических данных, оценки индивидуальных и групповых рисков пожилых людей, использования этих оценок при лечении и профилактики.

Ключевые слова: гериатрия, индивидуальные и групповые риски, математические модели и методы управления рисками.

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы, связанные с информатизацией учета сведений о пациенте, врачебных консультаций, вмешательств, результатов диагностических и лечебных процедур, решаются в единичных программных средствах, например, системе «ПроМед», региональной информационно-аналитической медицинской системе. Эта система обеспечивает информационный обмен между медицинскими учреждениями, органами управления здравоохранением, Территориальным фондом обязательного медицинского страхования Республики Башкортостан, страховыми медицинскими организациями и аптечными учреждениями. Медицинские системы такого класса обладают солидным блоком закрытых статистических данных. Обработанные данные используются для отчетов, для формирования сборников МИАЦ Здоровье населения и деятельности медицинских организаций Республики Башкортостан [1].

А как быть с анализом медицинских данных тем, кто не имеет официального права работать с этой системой, но у кого научные интересы лежат в области медицинских исследований в гериатрии (как у авторов этой статьи) и связаны с анализом гериатрических рисков – рисками лечения

и профилактики пожилых людей? Возможный ответ – моделирование данных, интегрирование данных открытых источников и др.

Работы по анализу рисков велись авторами в различных предметных областях: это проблемы, связанные с экологическими, банковскими, информационными рисками. Можно отметить, что наряду со специфическими для предметных областей мерами и средствами оценки рисков были использованы так называемые «универсальные» методы анализа рисков. Некоторые модели и методы были предложены для оценки и управления гериатрическими рисками в разрабатываемой системе. Ранее были опубликованы статьи, где авторы описывали проблемы, связанные с проектированием и разработкой Системы Анализа Гериатрических рисков (САГР), информационным обеспечением системы, постановкой и реализацией конкретных задач [2]. Цель этой статьи – описать математические модели и методы, с помощью которых можно формализовать некоторые процессы в гериатрической практике: например, ведение гериатрических карт, расчет показателей гериатрическими калькуляторами, анализ индивидуальных и групповых рисков пожилых пациентов, формирование и оценка лечебных процедур и др.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ САГР

САГР имеет модульную структуру (рис. 1), модули решают задачи определенной направленности.

Модуль «**Ведение гериатрических карт**» является базовым, в нем формируется основная информация: наборы объективных и субъективных данных о здоровье пациента. Формализация этих данных и знаний происходит в процессе опроса.

Метод анкетирования.

Назначение в системе: комплексная оценка гериатрического больного.

Входные данные: данные анамнеза, структура анкет-опросников, шкалы, оценки.

Выходные данные: итоговое количество баллов по анкете (опроснику), оценка индексов, оценка индивидуальных рисков.

Алгоритм

1. Формирование вопросов;
2. В зависимости от вопроса, формирование шкал, возможных и верных ответов;
3. Обработка оценочной шкалы;
4. Оценка надежности, чувствительности анкетирования;
5. Оценка индекса пациента, оценка риска.

Возможны использование следующих оценочных шкал: порядковой, номинальной (шкалы наименований), интервалов, отношений, шкалы Лайкерта, семантического дифференциала, шкалограммного анализа Гуттмана, шкалы равнокажущихся интервалов Л. Л. Терстоуна и др.

Рассмотрим алгоритм метода семантического дифференциала, который включает следующие этапы [3]:

1. Разработка матрицы (бланка) семантического дифференциала (выделение объектов оценивания, выделение оценочных шкал, построение бланка семантического дифференциала);
2. Статистическая обработка данных (перевод данных в электронный формат, факторный анализ, построение семантического пространства);
3. Интерпретация полученных результатов.

В модуле «**Гериатрические калькуляторы**» представлена адаптация медицинских калькуляторов для гериатрических больных.

Назначение в системе: оценка физического и психического здоровья пожилого пациента, его функциональной активности и социально - экономического статуса.

Входные данные: данные опросов, анамнеза, диагностических процедур и др.

Выходные данные: итоговое количество баллов, оценка индивидуальных рисков, рекомендации.

Примером может послужить **калькулятор SCORE** [4].

Назначение в системе: позволяет оценить риск смерти человека от сердечно-сосудистых заболеваний в течение ближайших 10 лет; риск определяется по шкале SCORE, которая адаптирована к стране, расе и Фрамингемской шкале, учитывающей возраст свыше 65 лет.

Входные данные: пол, возраст, курение, систолическое артериальное давление, уровень холестерина.

Выходные данные: оценка индивидуального риска смерти человека от сердечно-сосудистых заболеваний – индекс, его интерпретация, рекомендации.

Алгоритм

1. Формирование шкал.
2. Оценка риска по шкале SCORE:
 - выбор части таблицы (квадрата) в зависимости от пола, возраста и статуса курения пациента;
 - в найденном квадрате осуществляется поиск ячейки, с уровнем систолического артериального давления и холестерина данного пациента, уровень риска.

Уровень риска = $100 * (1 - \text{Фактор периода риска} * (\text{Факторы риска}))$

Факторы риска = $(\ln(\text{Возраст}) * \text{Возрастной фактор}) + (\ln(\text{Общий холестерин}) * \text{Фактор общего холестерина}) + (\ln(\text{Холестерол-ЛПВП}) * \text{Фактор холестерол-ЛПВП}) + (\ln(\text{Систолическое АД}) * \text{Фактор систолического АД}) + \text{Оценка курения} + \text{Наличие сахарного диабета} - \text{Средний риск}$ [5].

3. Интерпретация результатов, качественная оценка риска, рекомендации.

В модуле «**Статистический анализ данных**» рассмотрим метод **Байесовские сети доверия**.

Назначение в системе: установление причинно-следственных связей между наличием гериатрических синдромов и результатами лечения.

Входные данные: статистика о наличии определенного гериатрического синдрома у пациентов разных возрастных групп, о методиках лечения выбранных синдромов и возможных исходах лечения.

Выходные данные: вероятности исходов лечения гериатрического синдрома для разных возрастных групп пациентов.



Рис. 1. Модули САГР

Алгоритм

1. Построение структуры байесовской сети доверия (рис. 2). В общем виде предлагается схема Байесовской сети доверия, которая устанавливает причинно-следственные связи между наличием у пациентов герiatricеских синдромов, выбором способа их лечения и результатами проведенного лечения.

2. Оценка вероятностей наличия герiatricеских синдромов в каждой возрастной группе, выбора методики лечения герiatricеских синдромов для каждой возрастной группы, различных исходов до начала лечения, вероятностей различных исходов при выбранной методике лечения для каждой возрастной группы (на основании имеющихся статистических данных совместно с применением метода экспертного оценивания).

3. Расчет апостериорной вероятности реализации того или иного исхода лечения пациента с учетом выбранного способа лечения и наличия определенного герiatricеского синдрома у определенных возрастных групп пациентов [6, 7].

В модуле «Анализ рисков» представлены методы идентификации, оценки герiatricеских рисков.

Эвристический алгоритм

Назначение в системе: оценка частоты проявления клинических синдромов при наличии

отклонений по определенным герiatricеским шкалам.

Входные данные:

K_l – клинический синдром, где $l = \overline{1 \dots L}$, L – количество синдромов;

G_h – герiatricеский синдром, где $h = \overline{1 \dots H}$, H – количество синдромов;

m – количество пациентов всего.

Выходные данные:

P_{lh} – риск проявления клинического синдрома l при наблюдении отклонения от нормы по герiatricеской шкале h .

Алгоритм

Шаг 1. Определение у пациентов отклонений от нормы по герiatricеским шкалам.

Шаг 2. Построение матрицы наличия (1) или отсутствия (0) у пациентов определенного синдрома (табл. 1).

Таблица 1. Матрица наличия

Идентификатор	K_1	...	K_l	G_1	...	G_h
id_1	1	...	1	1	...	0
...
id_m	1	...	0	1	...	0

При наличии отклонения по герiatricеской шкале $g_{ih} = 1$, иначе $g_{ih} = 0$, при проявлении клинического синдрома $k_{ih} = 1$, иначе $k_{ih} = 0$. Для каждой шкалы h и клинического синдрома l находим

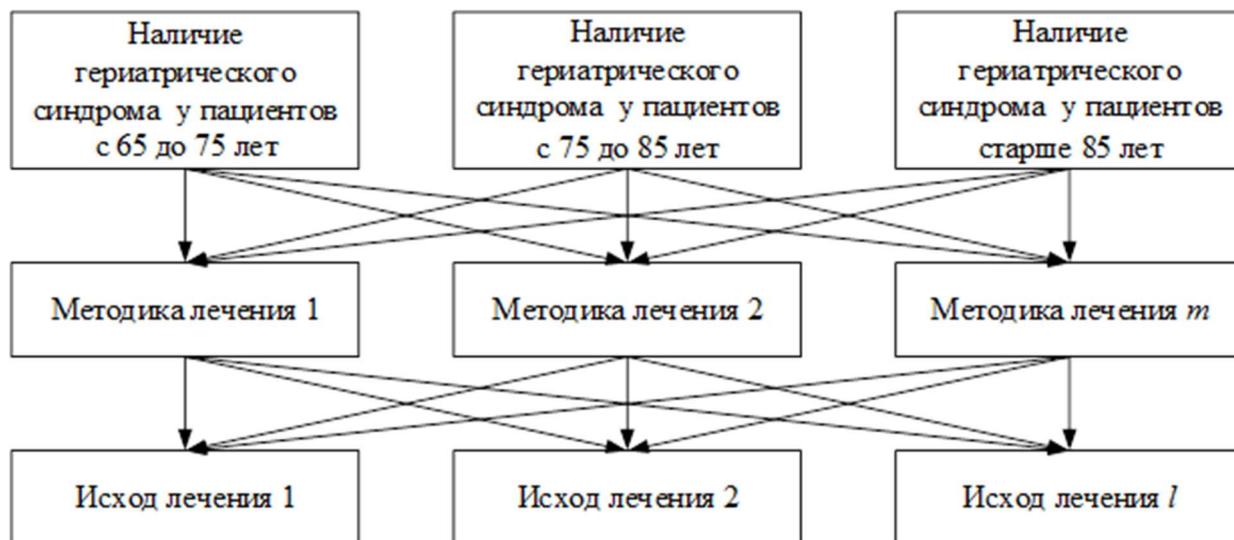


Рис. 2. Структура Байесовской сети доверия

число пациентов, отягощенных этими двумя синдромами:

$$C_{lh} = \sum_{i=1}^m k_{il} g_{ih} ;$$

Шаг 3. Для каждого гериатрического синдрома рассчитывается P_{lh} – частота проявления определенного клинического показателя при наличии гериатрического

$$P_{lh} = C_{lh}/m.$$

Эти показатели могут быть использованы в логико-вероятностном методе в качестве вероятностей инициирующих событий.

Логико-вероятностный метод

Назначение в системе: идентификация, оценка индивидуальных и групповых гериатрических рисков.

Входные данные:

Структура оценки гериатрического риска: связь между целевым синдромом и промежуточными событиями, зависимости промежуточных от инициирующих (x_1, x_2, \dots, x_h) с вероятностями их наступления (p_1, p_2, \dots, p_h).

Выходные данные:

вероятность проявления целевого гериатрического синдрома P_R , оценка ущерба U .

Алгоритм [8]:

Шаг 1. Составление сценария неблагоприятного события;

Шаг 2. Построение функции алгебры логики $f=f(x_1, x_2, \dots, x_h)$ с использованием операций «конъюнкция» и «дизъюнкция» на основе сценария неблагоприятного события; перевод в базис «конъюнкция – отрицание»;

Шаг 3. Построение вероятностной функции $P = P(p_1, p_2, \dots, p_h)$ на основе функции алгебры логики;

Шаг 4. Расчет вероятности P_R реализации неблагоприятного события возможно подсчет

риска, как величины ущерба – «монетизация риска» U .

Инструментарий «Нечеткие Когнитивные Карты»

Назначение в системе: определение мер взаимного влияния параметров комплексной гериатрической оценки (КГО), идентификация и оценка индивидуальных и групповых гериатрических рисков.

Входные данные:

x_l – концепт системы – параметр КГО, где $l = 1 \dots L, L$ – количество концептов системы;

W – матрица влияний (положительных или отрицательных), причинно-следственных связей между концептами;

V_l – критичность l - уязвимости пациента (группы) – мера отклонения от нормы.

Выходные данные:

p_{ij} – мера воздействия i -го концепта на j -;

\bar{P}_l – мера воздействия i -го концепта на систему;

P – оценка риска проявления целевого синдрома.

Алгоритм построения НКК [9]:

Шаг 1. Расчет показателей взаимного влияния:

1. Консонанс влияния i -го концепта на j -й:

$$c_{ij} = \frac{|w_{ij} + \tilde{w}_{ij}|}{|w_{ij}| + |\tilde{w}_{ij}|},$$

2. Диссонанс связан отношением:

$$d_{ij} = 1 - c_{ij};$$

3. Расчет влияния:

$$p_{ij} = \text{sign}(w_{ij} + \tilde{w}_{ij}) \max(|w_{ij}|, |\tilde{w}_{ij}|), |w_{ij}| \neq |\tilde{w}_{ij}|$$

Шаг 2. Расчет показателей влияния l -го концепта на систему:

1. Расчет консонанса:

$$\vec{C}_l = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n c_{lj},$$

2. Расчет диссонанса:

$$\vec{D}_l = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{lj},$$

3. Расчет влияния l -го концепта на систему:

$$\vec{P}_l = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n p_{lj}.$$

Это влияние можно использовать для оценки индивидуального риска i -го пациента – вероятности реализации для него l -го целевого синдрома:

$$P_i = \sum_{l=1}^L (V_{li} \cdot \vec{P}_l), \quad V_{li} = \frac{|h_l - d_{il}|}{h_l}$$

h_l – норма по гериатрической шкале l ;

d_{il} – отклонение от нормы по шкале l у пациента i ;

V_{li} – критичность уязвимости – степень отклонения от нормы по шкале l у пациента i .

Для оценки группового риска, оценки вероятности реализации целевого синдрома, могут быть использованы следующие формулы:

$$P = \sum_{l=1}^L (V_l \cdot \vec{P}_l), \quad V_l = \frac{|h_l - d_l|}{h_l},$$

где d_l – среднее отклонение в группе по шкале l .

Если уязвимостей у концепта несколько, то интегральный показатель уязвимости считается по формуле:

$$V = 1 - \vec{V}_1 * \dots * \vec{V}_q.$$

В модуле «Формирование методик лечения» используются несколько моделей, обобщающих понятия, связанные с управлением рисками в гериатрии.

«Метод логических симптомов» [10]

Назначение метода: формализация методик лечения: формирование групп пациентов с определенной мерой риска для унификации лечения; формирование методики, наиболее эффективной для заданного класса пациентов.

Входные данные:

$(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ – вектор логических клинических и гериатрических синдромов i -го пациента, где $x_{in} = 1$, если у больного он есть, $x_{in} = ?$, если неизвестно, при отсутствии $x_{in} = 0$;

(m_1, m_2, \dots, m_n) – вектор методики лечения.

Выходные данные: класс пациентов, соответствующая методика лечения, оценка эффективности лечения.

Алгоритм

1. Определение логических операции: «и», «или», «не», «не тождественность», «наследование» над логическими симптомами (рис. 3).

Операция наследования, она принимает «известные» значения, только при совпадающих «известных» значениях обоих аргументов. Эта

операция дает определенные удобства при формализации процессов выработки правил классификации.

у	НЕ				И			ИЛИ			ИТЖ			НАСЛ		
	х	1	?	0	1	?	0	1	?	0	1	?	0	1	?	0
1		0	?	1	1	?	0	1	1	1	0	?	1	1	?	?
?					?	?	0	1	?	?	?	?	?	?	?	?
0					0	0	0	1	?	0	1	?	0	?	?	0

Рис. 3. Результаты операций над симптомами

2. Введение двух вариантов мер близости для симптомных векторов x_a и x_b :

- *относительное сходство* $c(x_a, x_b) = G/n$, где G – число координат с совпадающими значениями, n – размерность вектора,

- *относительная неотличимость* $d(x_a, x_b) = G/H$, где H – число координат с «известными» значениями в обоих векторах.

- *Справедливо:* $c(x_a, x_b) \leq 1$, $G \leq H$ и $d \leq 1$. Если координаты векторов только 0 или 1, то $c(x_a, x_b) = d(x_a, x_b) = 1 - R_h/n$, где R_h – расстояние по Хэммингу, а n – размерность векторов.

3. Классификация пациентов реализуется с помощью двух подходов:

- формирование правила классификации с использованием функции над компонентами вектора симптомов;

- формирование маски – мерил попадания в класс:

1. в результате процедуры голосования, которую тоже можно представить в виде функции;

2. установив пороговое значение, равное числу компонентов вектора симптомов, соответствующих голосованию «ЗА» данный класс.

4. Формирование методики лечения:

- возможная декомпозиция вектора симптомов;

- формирование вектора методики (способа) лечения: для каждого компонента вектора симптомов определяется влияние способа лечения (0, 1 или ?);

- определение меры влияния методики до лечения;

- оценка эффективности выбранного способа лечения для конкретного пациента (класса) после лечения.

Метод «Анализ сценариев» [11]

Назначение в системе: формирование и анализ всех методик лечения при конкретном наборе симптомов (синдромов), визуализация и оценка частоты применения.

Входные данные:

f_h – методика лечения гериатрического синдрома G_h из множества F_h ;

c_k – сценарий из множества C_k ;

p_{ki} – оценка частоты выбора дуги i при формировании сценария c_k .

Выходные данные:

наилучшая методика лечения f_h^o , вероятность ее выбора p_h^o .

Алгоритм

1. Формализация проявления синдрома G_h у пожилых пациентов – формирование вектора характерных признаков;

2. Формирование возможных сценариев лечения гериатрического синдрома G_h согласно клиническим рекомендациям;

3. Расчет оценок частоты выбора сценариев из множества C_k для лечения гериатрического синдрома G_h ;

4. Выбор для конкретного пациента лучшего сценария – лучшей методики лечения f_h^o с наибольшей вероятностью реализации p_h^o .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассматриваемые модели применимы для достаточно определенного класса задач, связанного с оценкой рисков проявления гериатрического синдрома, выбора методики лечения. Кроме этого, в системе решаются важные задачи, такие как определение риска полипрагмазии – одновременном приеме множества лекарственных средств или лечебных процедур, коморбидности – наличия у одного пациента двух или более серьезных заболеваний и др. Метод оценки этих рисков связан с определением частоты появления этих событий в группе. Оценка индивидуальных и групповых рисков используется при выборе методик лечения, формирования карт рисков пожилых пациентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Комплексная** междисциплинарная и межведомственная программа профилактики, раннего выявления, диагностики и лечения когнитивных расстройств у лиц пожилого и старческого возраста до 2025 г. / Н. Н. Яхно [и др.]. Moscow, 2018. 62 с. [N. N. Yakhno, et al., "A comprehensive interdisciplinary and interdepartmental program for the prevention, early detection, diagnosis and treatment of cognitive disorders in elderly and senile people until 2025.", (in Russian). Moscow, 2011.]

2. **Nikolaeva M. A., Agadullina A. I., Dolganov M. I.** Risk Analysis System in Geriatric Care // Proc. 21st Workshop on Computer Science and Information Technologies CSIT'2019, (Vienna, Oct. 2–4 2019). 2019. P. 202–208. [M. A. Nikolaeva, A. I. Agadullina and M. I. Dolganov, "Risk Analysis System in Geriatric Care," in Proc. 21st Workshop on Computer Science and

Information Technologies (CSIT' 2019), Vienna, Austria, 2019, pp. 202-208.]

3. **Кожевникова О. В., Вьюжанина С. А.** Психосемантика. Метод семантического дифференциала: учебно-методическое пособие для студентов высших учеб. заведений. Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2016. 120 с. [O. V. Kozhevnikova, S. A. Vyuzhanina, *Psychosemantics. Semantic differential method*, (in Russian). Izhevsk: Publishing Center "Udmurt University", 2016.]

4. **Калькулятор SCORE** [Электронный ресурс]. URL: <https://medsoftpro.ru/kalkulyatory/kalkulyator-score.html> дата обращения: 14.02.2020). [*Calculator SCORE* [Online], (in Russian). Available: <https://medsoftpro.ru/kalkulyatory/kalkulyator-score.html>]

5. **Оценка** риска развития сердечно-сосудистых заболеваний (Фрамингемская шкала 10-летнего риска, 2008) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.msmanuals.com/medical-calculators/Framingham08-ru.htm> (дата обращения: 14.02.2020). [*Assessment of the risk of developing cardiovascular diseases (Framingham 10-year risk scale, 2008)* [Online], (in Russian). Available: <https://www.msmanuals.com/medical-calculators/Framingham08-ru.htm>]

6. **Мусина В. Ф.** Байесовские сети доверия как вероятностная графическая модель для оценки медицинских рисков //Труды СПИИРАН. 2013. Вып. 1(24). С.135–151. [V. F. Musina, "Bayesian belief networks as probabilistic graphical model for medical risk assessment," (in Russian), in *SPIIRAS Proceedings*, issue 1(24), pp. 135-151, 2013.]

7. **Тулупьев А. Л., Николенко С.И., Сироткин А. В.** Байесовские сети: логико-вероятностный подход. СПб.: Наука, 2006. 607 с. [A. L. Tulupuyev, S. I. Nikolenko, A. V. Sirotkin, *Bayesian networks: a logical-probabilistic approach*, (in Russian). SPb: Nauka", 2006.]

8. **Агадуллина А. И., Зотова О. Ф., Николаева М. А.** Методы и алгоритмы принятия решений в примерах и задачах: учебное пособие. Уфа: РИК УГАТУ, 2017. 142 с. [A. I. Agadullina, O. F. Zotova, M. A. Nikolaeva *Methods and algorithms for decision making in examples and problems*, (in Russian). Ufa: RIK UGATU, 2017.]

9. **Евстафьев Г. А.** Нечёткие когнитивные карты применительно к управлению рисками информационной безопасности // Известия ЮФУ. Технические науки. 2009. № 11. С. 45–52. [G. A. Evstafiev, "Fuzzy cognitive maps in relation to risk management information security," (in Russian), in *Izvestiya SFedU. Engineering sciences*, no.11, pp. 45-52, 2009.]

10. **Котов Ю. Б.** Методы формализации профессионального знания врача в задачах медицинской диагностики // Врач и информационные технологии. 2005. № 1. С. 62–68. [Yu. B. Kotov, "Formalization methods of formalization of professional knowledge in medical diagnostics," (in Russian), in *Information technologies for the Physician*, no. 1, pp. 62-68, 2005.]

11. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011.** Менеджмент риска. Методы оценки риска М.: Стандартиформ, 2012. [*Risk management. Risk assessment methods*, (in Russian), Federal standard R ISO 31010-2011, Moscow, Standatrinform, 2012.]

ОБ АВТОРАХ

Николаева Марина Анатольевна, доц. каф. выч. мат. и кибернетики. Дипл. спец.-мат. (РГПУ им. А.И. Герцена, 1978),

канд. техн. наук (УГАТУ, 1993). Иссл. в обл. управления рисками.

АГАДУЛЛИНА Айгуль Ильдаровна, доц. каф. выч. мат. и кибернет. Дипл. экон.-матем. (УГАТУ, 2009). Канд. техн. наук по сист. анализу и управлению (УГАТУ, 2014). Иссл. в обл. поддержки принятия решений в социально-экономических системах.

METADATA

Title: Mathematical software for risk analysis system in geriatric care

Authors: M. A. Nikolaeva¹, A. I. Agadullina²

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹smoljushka@mail.ru, ²aygul.agadullina@gmail.com.

Language: Russian.

Source: СИТ, no. 2 (4), pp. 66-72, 2020. ISSN 2686-7044(Online), ISSN 2658-5014(Print).

Abstract: The article discusses models, methods and algorithms that form the basis of the mathematical software of the geriatric risk analysis system. These methods support the identification, assessment and risk management processes in geriatrics. Each method is considered in the article from the point of view of the purpose in the system, the features of the input and output data and the implementation algorithm. These are, as a rule, traditional methods of risk analysis, but for the first time they were applied to analyze geriatric data, assess individual and group risks of older people, and use these assessments in treatment and prevention.

Key words: geriatrics, individual and group risks, mathematical models, risk management methods.

About authors:

Nikolaeva Marina Anatolievna, Associate Prof., Dept. of Computational Mathematics and Cybernetics. Dipl. Mathematician (HERZEN UNIVERSITY, 1978). Cand. of Tech. Sci. (UGATU, 1993).

Agadullina, Aygul Ildarovna, Associate Prof., Dept. of Computational Mathematics and Cybernetics. Dipl. Economist Mathematician (UGATU, 2009). Cand. of Tech. Sci. (UGATU, 2012).