

Научная статья

УДК 519.816

doi: 10.34822/1999-7604-2022-3-57-65

ВЫБОР КЛЮЧЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЯ ПЕЧЕНИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

Александр Сергеевич Серобабов

Омский государственный технический университет, Омск, Россия

aserobabow95@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8850-0947>

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы выбора ключевых параметров диагностики заболевания печени. Применен метод анализа иерархии для определения важности критериев на основании оценки экспертами прикладной области медицины. Построена иерархическая структура выбора ключевых параметров диагностики заболевания печени. Получены матрицы попарных сравнений для определения важности каждого введенного критерия. Выполнены расчеты противоречивости оценок экспертов с помощью индекса согласованности, которые предложили эксперты при заполнении матрицы попарных сравнений. Проведен сравнительный анализ параметров по полученным значениям глобальных приоритетов со значениями корреляции Пирсона. Выбраны параметры с наиболее эффективным соотношением критериев, что в дальнейшем позволит сократить область исследования взаимосвязи выбранных параметров, а также классифицировать стадии заболевания печени.

Ключевые слова: матрица парных сравнений, метод анализа иерархий, случайная согласованность, отношение согласованности, индекс согласованности

Для цитирования: Серобабов А. С. Выбор ключевых параметров для диагностики заболевания печени на основе метода анализа иерархий // Вестник кибернетики. 2022. № 3 (47). С. 57–65. DOI 10.34822/1999-7604-2022-3-57-65.

Original article

SELECTING KEY PARAMETERS FOR THE DIAGNOSIS OF LIVER DISEASE BASED ON THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

Aleksandr S. Serobabov

Omsk State Technical University, Omsk, Russia

aserobabow95@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8850-0947>

Abstract. The article considers the issues of selecting key parameters for the diagnosis of liver disease. The analytic hierarchy process is used to determine the importance of criteria based on the assessment of the applied medicine provided by the experts. The selection of key parameters outline for the diagnosis of liver disease is built. Matrices of pair-wise comparisons are obtained to determine the significance of each introduced criterion. When filling in the matrix of pair-wise comparisons, the experts proposed their assessments, and their contradiction have been calculated with the consistency index. The comparative analysis of parameters according to the obtained values of global priorities with Pearson correlation values is carried out. In the course of the study, parameters with the most effective correlation of criteria are selected. Those will help reduce the study area of interrelation of selected parameters, as well as liver disease stages.

Keywords: matrix of pair-wise comparisons, analytic hierarchy process, random consistency, relation of consistency, consistency index

For citation: Serobabov A. S. Selecting Key Parameters for the Diagnosis of Liver Disease Based on the Analytic Hierarchy Process // Proceedings in Cybernetics. 2022. No. 3 (47). P. 57–65. DOI 10.34822/1999-7604-2022-3-57-65.

ВВЕДЕНИЕ

В диагностике заболевания важной задачей является выбор значимых параметров. Каждая стадия заболевания печени сопоставляется с определенными диапазонами значений параметров. Процесс выбора соответствующего параметра усложняется наличием многокритериальных предпочтений, поэтому целесообразно применить метод анализа иерархии (далее – МАИ), чтобы декомпозировать проблему на более простые составляющие. Для специалиста прикладной области МАИ принятие решения в результате сопоставления матрицы попарных сравнений критериев и параметров является понятным и простым способом.

В рамках данной статьи рассматривается задача выявления ключевых параметров для постановки диагноза неалкогольной жировой болезни печени (далее – НАЖБП). Данное исследование является продолжением [1], где проведен первичный анализ данных и построена матрица корреляций. Информация для исследования предоставлена экспертами в области гастроэнтерологии и гепатологии. При выявлении ключевых параметров эксперты должны реализовать аналитическую процедуру, состоящую из следующих этапов:

1. Выделить в рамках задачи параметры, которые могут быть связаны с диагностированием заболевания.
2. Определить множество критериев оценки.
3. Оценить важность критериев между собой.
4. Оценить каждый параметр между собой по выбранному критерию.

5. На основе полученных результатов определить ключевые параметры для диагностики заболевания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве исходных данных использованы результаты, полученные при обследовании 149 пациентов с выявленной НАЖБП. Результаты подвергнуты первичной обработке и вычислению корреляционных связей между стадией заболевания и лабораторными результатами [2].

Для выбора ключевых входных параметров экспертной системы диагностики заболевания представлен метод анализа иерархий. Осуществлен выбор нескольких ключевых параметров (кортежа), где глобальные приоритеты полученных параметров удовлетворяют следующему условию: $X_1 > X_2 > X_3$, где X – множество глобальных приоритетов параметров, X_i – значение глобального приоритета параметра, i – ранг по убывающей множества X .

Постановка задачи. В рамках данной работы рассматривается задача выбора ключевых параметров диагностики заболевания печени. Введем обозначения: $K = \{K_1, K_2 \dots K_4\}$ – множество критериев оценки [2]; K_1 – точность полученных значений; K_2 – уровень достоверности доказательности связи параметра с заболеванием; K_3 – информативность параметра; K_4 – статистическая взаимосвязь. В табл. 1 представлены обозначения параметров и их полные наименования.

Таблица 1

Наименование параметров и их обозначения

Обозначение параметра	Наименование параметра	Обозначение параметра	Наименование параметра
L_{lep}	Лептин	D_{oc}	Наличие остеоартроза у пациента
L_{ObR}	Рецепторы лептина	L_{ggt}	Гамма-глутамилтранспептидаза
D_{nash}	Неалкогольный стеатогепатит	D_{bit}	Наличие дискомфорта у пациента
D_P	Наличие рубиновых пятен у пациента	P_{din}	Динамика массы
D_o	Наличие ожирения у пациента	P_{ob}	Обхват талии
L_{timp2}	Тканевой ингибитор матриксных протеиназ 2	L_{ttg}	Тиреотропный гормон натошак

Примечание: составлено по материалам статьи [1].

Метод анализа иерархий. Для применения метода анализа иерархий необходимо

построить иерархическую структуру, представленную на рис. 1. Иерархия строится,

начиная с вершины, где на первом уровне указывается глобальная цель, выраженная нахождением нескольких ключевых параметров, таких что $X_1 > X_2 > X_3$, где X – множество значений глобального авторитета, i –

ранг множества X глобального авторитета, упорядоченного в порядке убывания. На втором уровне – критерии, на третьем – параметры диагностирования заболевания.

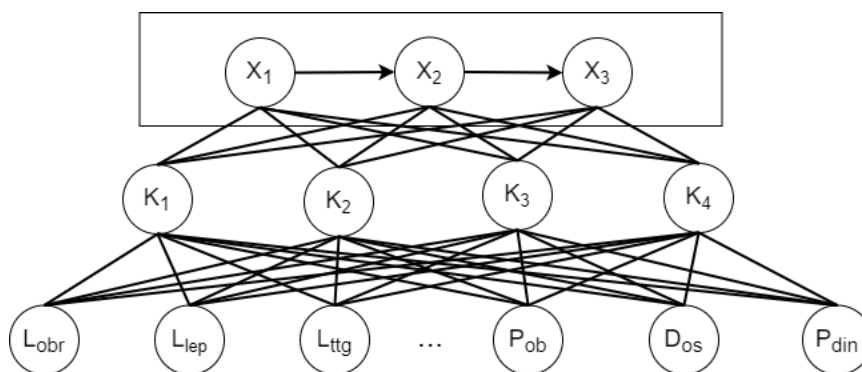


Рис. 1. Иерархическая структура выбора ключевых параметров диагностики заболевания печени

Примечание: составлено авторами на основании задачи о нахождении ключевых параметров методом анализа иерархий, где $X_1 > X_2 > X_3$.

Важность критериев множества K определяется в результате их попарного сравнения [3], при котором выполняется построение матрицы A размером $(h \times h)$ парных сравнений критериев в результате соотношения: $A = (a_{ij}) = k_i/k_j$, где k_i – числовая значимость критерия, полученная в результате экспертной оценки, представленная числовым значением от 1 до 9:

- 1 – аналогичная значимость;
- 3 – незначительная значимость;
- 5 – значительная значимость;
- 7 – существенная значимость;
- 9 – основная значимость.

При неопределенности выбора выстав- ляются четные значения: 2, 4, 6, 8 (в частности,

4 – между незначительным и значительным преимуществом) [4, 5].

По построенной матрице A рассчитывается значение важности i -го критерия:

$$a_i = v_i / \sum_{j=1}^k v_j, \quad (1)$$

где $v_i = (\prod_{j=1}^h a_{ij})^{1/h}$ – значение i -й компоненты собственного вектора матрицы A .

Первым шагом задачи выбора ключевых параметров является построение матрицы парных сравнений важности критериев, представленной в табл. 2.

Таблица 2

Матрица попарных сравнений для определения важности критериев

Матрица критериев	K_1	K_2	K_3	K_4	v_i	a_i
K_1	1	0,25	0,33	0,33	0,41	0,09
K_2	4	1	2	2	2	0,43
K_3	3	0,5	1	1	1,11	0,24
K_4	3	0,5	1	1	1,11	0,24
Сумма по столбцу (S)	11	2,25	4,33	4,33	4,62	1
$S \times a_i$	0,97	0,97	1,04	1,04	$\lambda_{\max}$	12,4
Индекс согласованности (ω)						0,0053

Примечание: составлено авторами на основе сравнений критериев, полученных в результате опроса врачей.

Полученные значения α_i показывают важность критериев при решении задачи выбора ключевых параметров диагностики заболевания печени. Из расчетов видно, что явное предпочтение отводится критерию K_2 .

Далее строится матрица парных сравнений по каждому критерию для каждого па-

раметра. Эксперт каждые имеющиеся параметры сравнивает попарно и оценивает их с помощью девятибалльной шкалы Саати [3].

В табл. 3 представлена матрица попарных сравнений по критерию «Точность полученных результатов».

Таблица 3

Матрица попарных сравнений по критерию «Точность полученных результатов»

K_1	L_{obr}	L_{lep}	L_{ttg}	L_{ggt}	L_{tmp2}	D_{OC}	D_{nash}	D_{bit}	D_o	P_{ob}	D_{os}	P_{din}	α_i
L_{obr}	1	0,5	0,5	1	2	2	1	3	2	1	2	2	0,1
L_{lep}	2	1	1	2	2	3	1	3	2	1	2	2	0,13
L_{ttg}	2	1	1	2	2	3	1	3	2	1	2	2	0,13
L_{ggt}	1	0,5	0,5	1	1	2	0,5	2	1	0,5	1	1	0,07
L_{tmp2}	0,5	0,5	0,5	1	1	2	0,5	2	1	0,5	1	1	0,07
D_{OC}	0,5	0,3	0,3	0,5	2	1	0,3	0,5	1	0,3	1	1	0,05
D_{nash}	1	1	1	2	0,5	3	1	3	3	1	3	2	0,12
D_{bit}	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	2	0,3	1	1	0,3	1	0,5	0,04
D_o	0,5	0,5	0,5	1	1	1	0,3	1	1	0,3	1	1	0,05
P_{ob}	1	1	1	2	2	3	1	3	3	1	1	1	0,11
D_{os}	0,5	0,5	0,5	1	1	1	0,3	1	1	1	1	1	0,06
P_{din}	0,5	0,5	0,5	1	1	1	0,5	2	1	1	1	1	0,07
Сумма (S)	10,8	7,7	7,7	15	16	24	7,8	24	19	9	17	15	1
$S \times \alpha_i$	1,09	1	1	1,04	1,04	1,14	0,93	1,07	1,02	1,02	1,01	1,01	
λ_{max}				12,4			I_s				0,0361		
Случайная согласованность (I_r)				1,49			Отношение согласованности (I_o)				0,0242		

Примечание: составлено авторами на основе сравнений параметров по критерию «Точность полученных результатов», полученных в результате опроса врачей.

Для выявления противоречивости оценок, которые предложили эксперты при заполнении матрицы попарных сравнений, используется количественная оценка – индекс согласованности [6], вычисляемый по формуле:

$$I_s = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, \quad (2)$$

где λ_{max} – собственное значение матрицы;
 n – количество параметров.

Индекс согласованности показывает степень непротиворечивости суждений эксперта. Идеальный случай I_s равен нулю.

Для сопоставления матриц различной размерности по показателю согласованности

используется нормированный показатель «отношение согласованности», вычисляемый по формуле:

$$I_o = \frac{I_s}{I_r}, \quad (3)$$

где I_r – случайная согласованность, т. е. среднестатистическое значение индекса согласованности при случайном выборе коэффициентов матрицы сравнения.

Значения случайной согласованности для матриц различного порядка приведены в табл. 4 [7].

Таблица 4

Значения случайной согласованности для матриц различного порядка

Размер матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Случайная согласованность	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Примечание: составлено по материалам статьи [7].

Вывод о противоречивости результатов по критерию «Точность полученных результатов»: величина $I_o < 0,1$ [8], следовательно, противоречивость в суждениях отсутствует.

В табл. 5 представлена матрица попарных сравнений по критерию «Уровень достоверности доказательности связи параметра с заболеванием».

Таблица 5

**Матрица попарных сравнений по критерию
«Уровень достоверности доказательности связи параметра с заболеванием»**

K_2	L_{obr}	L_{lep}	L_{ttq}	L_{ggt}	L_{tmp2}	D_{OC}	D_{nash}	D_{bit}	D_o	P_{ob}	D_{os}	P_{din}	α_i
L_{obr}	1	1	1	2	1	3	1	3	3	2	2	2	0,13
L_{lep}	1	1	1	2	1	3	1	3	3	2	2	2	0,13
L_{ttq}	1	1	1	2	0,5	2	0,5	2	2	1	1	1	0,13
L_{ggt}	1	0,5	0,5	1	1	2	0,5	2	1	0,5	1	1	0,07
L_{tmp2}	1	1	1	2	1	0,5	0,5	1	1	1	1	1	0,07
D_{OC}	0,3	0,3	0,3	0,5	2	1	0,3	1	1	1	1	1	0,05
D_{nash}	1	1	1	2	2	3	1	3	3	2	2	2	0,14
D_{bit}	0,3	0,3	0,3	0,5	1	1	0,3	1	1	1	1	1	0,05
D_o	0,3	0,3	0,3	0,5	1	1	0,3	1	1	1	1	1	0,05
P_{ob}	0,5	0,5	0,5	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1	0,06
D_{os}	0,5	0,5	0,5	1	1	1	0,3	1	1	1	1	1	0,06
P_{din}	0,5	0,5	0,5	1	1	1	0,5	2	1	1	1	1	0,06
Сумма (S)	8	8	8	15,5	13,5	20,5	7,5	21	21	16	16	16	1
$S \times \alpha_i$	1,02	1,02	1,02	1,06	0,98	1,09	1,01	1,06	1,06	0,98	0,98	0,98	
λ_{max}			12,3			I_s			0,0276				
Случайная согласованность (R)			1,49			I_o			0,0185				

Примечание: составлено авторами на основе сравнений параметров по критерию «Уровень достоверности доказательности связи параметра с заболеванием», полученных в результате опроса врачей.

Вывод о противоречивости результатов по критерию «Уровень достоверности доказательности связи параметра с заболеванием»: величина $I_o < 0,1$, следовательно, противоречивость в суждениях отсутствует.

В табл. 6 представлена матрица попарных сравнений по критерию «Информативность параметра».

Таблица 6

Матрица попарных сравнений по критерию «Информативность параметра»

K_3	L_{obr}	L_{lep}	L_{ttq}	L_{ggt}	L_{tmp2}	D_{OC}	D_{nash}	D_{bit}	D_o	P_{ob}	D_{os}	P_{din}	α_i
L_{obr}	1	1	2	2	2	3	1	2	3	2	2	3	0,14
L_{lep}	1	1	2	2	2	3	1	2	3	2	2	3	0,14
L_{ttq}	0,5	0,5	1	1	1	2	0,5	1	2	2	1	2	0,08
L_{ggt}	0,5	0,5	1	1	1	2	0,5	1	2	1	1	2	0,07
L_{tmp2}	0,5	0,5	1	1	1	2	0,3	1	1	1	1	0,5	0,06
D_{OC}	0,3	0,3	0,5	1	3	1	0,5	1	0,5	1	1	0,5	0,06
D_{nash}	1	1	2	2	1	2	1	2	3	2	1	3	0,12
D_{bit}	0,5	0,5	1	1	1	1	0,5	1	2	1	1	2	0,07
D_o	0,3	0,3	0,5	0,5	1	2	0,3	0,5	1	0,5	0,3	1	0,05
P_{ob}	0,5	0,5	0,5	1	1	1	0,5	1	2	1	1	0,5	0,06
D_{os}	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	3	1	0,5	0,07
P_{din}	0,3	0,3	0,5	0,5	2	2	0,3	0,5	1	2	2	1	0,06
Сумма (S)	7	7	13	14	17	21	7,5	14	23,5	16,5	14,3	19	1
$S \times \alpha_i$	1,01	1,01	1,06	1,02	0,95	1,53	0,93	1,02	1,06	1,01	1,02	1,18	
λ_{max}			12,8			I_s			0,0757				
Случайная согласованность (R)			1,49			I_o			0,0508				

Примечание: составлено авторами на основе сравнений параметров по критерию «Информативность параметра», полученных в результате опроса врачей.

Вывод о противоречивости результатов «Информативность параметра»: величина $I_o < 0,1$, следовательно, противоречивость в суждениях отсутствует.

В табл. 7 представлена матрица попарных сравнений по критерию «Статистическая взаимосвязь».

Таблица 7

Матрица попарных сравнений по критерию «Статистическая взаимосвязь»

K_4	L_{obr}	L_{lep}	L_{ttg}	L_{ggt}	L_{imp2}	D_{oc}	D_{nash}	D_{bit}	D_o	P_{ob}	D_{os}	P_{din}	α_i
L_{obr}	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	0,1
L_{lep}	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	2	0,1
L_{ttg}	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	0,1
L_{ggt}	1	1	1	1	1	3	1	2	1	1	2	1	0,1
L_{imp2}	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	2	1	0,1
D_{oc}	0,5	0,5	0,5	0,3	0,5	1	0,3	0,5	0,5	1	0,5	0,3	0,04
D_{nash}	1	1	1	1	1	3	1	2	1	2	1	1	0,1
D_{bit}	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2	0,5	1	0,5	0,5	1	1	0,05
D_o	1	1	1	1	0,5	2	1	2	1	1	2	1	0,09
P_{ob}	1	1	1	1	1	1	0,5	2	1	1	0,5	1	0,08
D_{os}	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2	1	1	0,5	2	1	1	0,06
P_{din}	1	0,5	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	0,08
Сумма (S)	10,5	10	10,5	10,3	10	25	10,3	19,5	11,5	13,5	17	12,3	1
$S \times \alpha_i$	1	1,01	1	1,02	1,01	1,02	1,02	1,05	1,04	1,03	1,09	1,03	
λ_{max}	12,3					I_s					0,0297		
R	1,49					I_o					0,0199		

Примечание: составлено авторами на основе сравнений параметров по критерию «Статистическая взаимосвязь», полученных в результате опроса врачей.

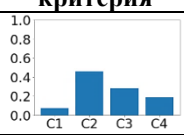
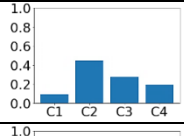
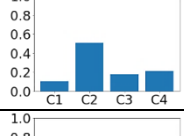
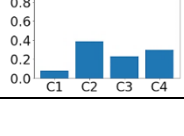
Вывод о противоречивости результатов по критерию «Статистическая взаимосвязь»: величина $I_o < 0,1$, следовательно, противоречивость в суждениях отсутствует.

На последнем этапе принятия решения подсчитываются значения глобальных прио-

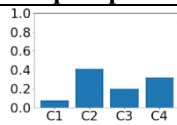
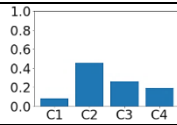
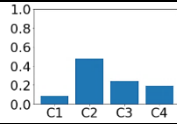
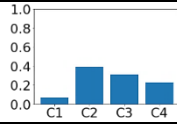
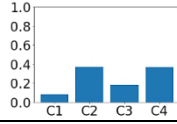
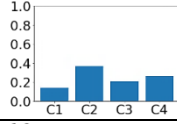
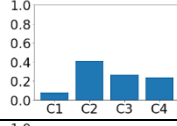
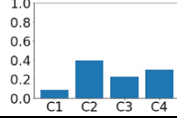
ритетов как сумма произведений значения вектора приоритета для критерия и значения вектора локального приоритета этой альтернативы в отношении данного критерия, представленные в табл. 8.

Таблица 8

Значения глобальных приоритетов

Вектор глобальных приоритетов	C_1	C_2	C_3	C_4	Относительный вклад критерия	Глобальные приоритеты
L_{obr}	0,0089	0,0554	0,0345	0,0229		0,121
L_{lep}	0,0116	0,0554	0,0345	0,0243		0,125
L_{ttg}	0,0116	0,0554	0,0197	0,0229		0,109
L_{ggt}	0,0061	0,0298	0,0175	0,0229		0,077

Окончание табл. 8

Вектор глобальных приоритетов	C_1	C_2	C_3	C_4	Относительный вклад критерия	Глобальные приоритеты
L_{tmp2}	0,0057	0,0316	0,0151	0,0243		0,077
D_{oc}	0,0042	0,0232	0,0134	0,0098		0,051
D_{nash}	0,0104	0,0587	0,0297	0,0237		0,123
D_{bit}	0,0038	0,0219	0,0175	0,0129		0,056
D_o	0,0048	0,0219	0,0108	0,0216		0,059
P_{ob}	0,01	0,0265	0,0147	0,0182		0,07
D_p	0,0052	0,0265	0,0171	0,0153		0,064
P_{din}	0,0057	0,0265	0,0149	0,0199		0,067

Примечание: составлено авторами на основе таблиц 2, 3, 5, 6, 7 данного исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследования получены значения глобальных приоритетов (табл. 7), которые изображены на рис. 2а. В качестве критерия достоверности полученных результатов использованы результаты исследования [9], в котором получены значения корреляции параметров со стадией болезни, полученные результаты представлены на рис. 2б. Как видно из двух диаграмм, имеются некоторые сходства в поведении тренда. Так, параметры L_{obr} , L_{lep} , D_{nash} имеют наибольшие значения глобального приоритета и значения корреляции выше среднего. С учетом того, что МАИ включает в себя оценку параметров по нескольким критериям, то предпочтительней использовать его результаты для выбора ключевых параметров диагностики

заболевания печени, а значения корреляции выступают еще одним методом подтверждения правильности выбранных параметров. Представленные значения имеют слабую и среднюю силу корреляции, что не является достаточным критерием выбора ключевых параметров. Также корреляция отражает линейную взаимосвязь, но связь между параметром и стадией болезни может иметь не только линейную, но и более сложную связь, поэтому проведена оценка параметров экспертами по четырем критериям (точность полученных значений, уровень достоверности доказательности связи параметра с заболеванием, информативность параметра, статистическая взаимосвязь).

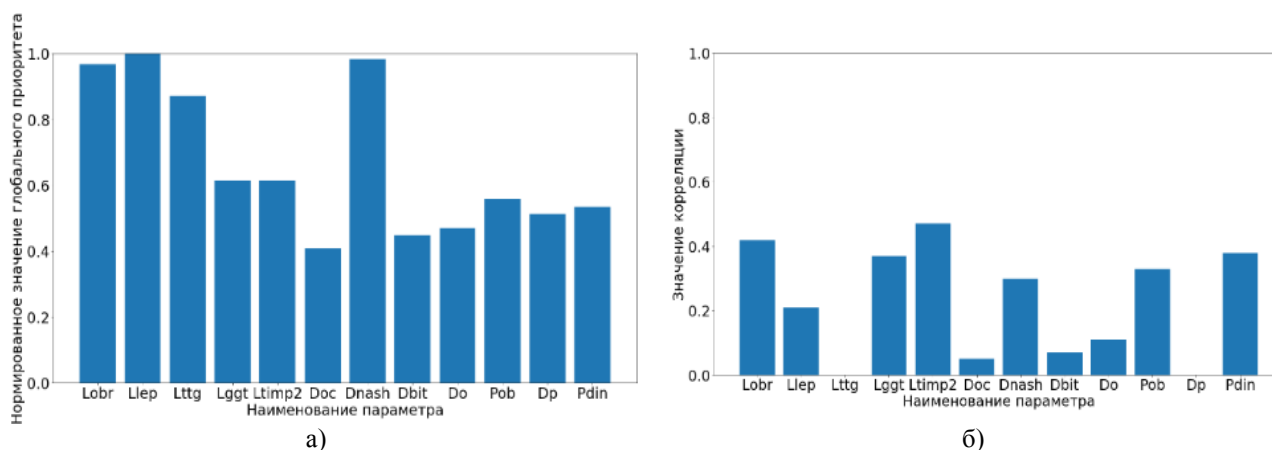


Рис. 2. Гистограммы сравнения глобального приоритета и полученного значения корреляции:
 а) гистограмма нормированных значений глобального приоритета; б) гистограмма значений корреляций
Примечание: составлено авторами на основе данных, полученных в исследовании и в статье [1].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате опроса экспертов сформированы матрицы парных сравнений критериев: точность полученных значений, уровень достоверности доказательности связи параметра с заболеванием, информативность параметра, статистическая взаимосвязь. После обработки суждений экспертов вычислены оценки соответствующих собственных векторов и векторов приоритетов для каждого уровня иерархии. Согласно методу анализа иерархий по максимальному значению ком-

поненты глобального вектора, получены ключевые параметры для диагностики НАЖБП.

Кроме того, представляется целесообразным использовать полученные параметры для создания автоматизированной экспертной системы поддержки принятия решения [9–10], работающей с большими объемами числовых показателей, для автоматической классификации стадии заболевания НАЖБП.

Список источников

1. Серобабов А. С., Чебаненко Е. В., Денисова Л. А., Кролевец Т. С. Разработка экспертной системы ранней диагностики заболеваний: программные средства первичной обработки и выявление зависимостей // Омск. науч. вестн. 2018. № 4 (160). С. 179–184.
2. Фурцев Д. Г., Чиклаева А. А. Алгоритм выбора лучшего решения в системах поддержки принятия решений // Прикладная математика, управление и информатика : сб. тр. Междунар. молодежная конф., 3–5 октября 2012 г. Белгород, 2012. С. 607–609.
3. Кузьмина Н. М., Ридли А. Н. Методика оценки степени значимости категорий условий применения тарифа // Науч. вестн. МГТУ ГА. 2016. № 224 (2). С. 138–146.
4. Чирухин В. А., Прохоров В. М. О практике применения метода анализа иерархий в логистике // Logistics. 2018. № 6. С. 44–48.
5. Волокобинский М. Ю., Пекарская О. А., Рязи Д. А. Принятие решений на основе метода анализа иерархий // Финансы: теория и практика. 2016. № 2 (92). С. 33–42.

References

1. Serobabov A. S., Chebanenko E. V., Denisova L. A., Krolevets T. S. Early Disease Detection Expert System Development: Primary Machining Software Applications and Dependences // Omsk Scientific Bulletin. 2018. No. 4 (160). P. 179–184. (In Russian).
2. Furtsev D. G., Chikulaeva A. A. Algoritm vybora luchshego resheniia v sistemakh podderzhki priniatiia reshenii // Prikladnaia matematika, upravlenie i informatika : Proceedings of the International Youth Conference, October 3–5, 2012. Belgorod, 2012. P. 607–609. (In Russian).
3. Kuzmina N. M., Ridley A. N. A Method for Estimating the Impact of the Fare Rules Conditions // Civil Aviation High Technologies. 2016. No. 224 (2). P. 138–146. (In Russian).
4. Chirukhin V. A., Prokhorov V. M. On the Practice of Application of Analytic Hierarchy Process in Logistics // Logistics. 2018. No. 6. P. 44–48. (In Russian).
5. Volokobinsky M. Yu., Pekarskaya O. A., Razi D. A. Decision-Making Based on the Hierarchy Analysis Method // Finance: Theory and Practice. 2016. No. 2 (92). P. 33–42. (In Russian).

6. Фурцев Д. Г., Коваленко А. Н., Ткаченко Е. А. Об оптимизации на основе метода анализа иерархий // Науч. вед. 2014. № 1 (172). С. 142–150.
7. Картвелишвили В. М., Лебедюк Э. А. Метод анализа иерархий: критерии и практика // Вестн. РЭА им. Г. В. Плеханова. 2013. № 6 (60). С. 97–112.
8. Socaciu L. G., Unguresan P. V. Using the Analytic Hierarchy Process to Prioritize and Select Phase Change Materials for Comfort Application in Buildings // Mathematical Modelling in Civil Engineering. 2014. Vol. 10, Is. 1. P. 21–28.
9. Ткаченко А. Л., Мещеряков В. А., Денисова Л. А. Проектирование информационно-аналитической системы для поддержки образовательного процесса технического вуза // Автоматизация в промышленности. 2022. № 4. С. 7–14.
10. Серобабова А. С. Анализ входных параметров экспертной системы ранней диагностики заболевания // Вестник кибернетики. 2020. № 4 (40). С. 33–41.
6. Furtsev D. G., Kovalenko A. N., Tkachenko E. A. On the Optimization Method Based on the Analytic Hierarchy Process // Nauch. ved. 2014. No. 1 (172). P. 142–150. (In Russian).
7. Kartvelishvili V. M., Lebedyuk E. A. Metod analiza ierarkhii: kriterii i praktika // Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics. 2013. No. 6 (60). P. 97–112. (In Russian).
8. Socaciu L. G., Unguresan P. V. Using the Analytic Hierarchy Process to Prioritize and Select Phase Change Materials for Comfort Application in Buildings // Mathematical Modelling in Civil Engineering. 2014. Vol. 10, Is. 1. P. 21–28.
9. Tkachenko A. L., Meshcheryakov V. A., Denisova L. A. Design of an Analytic Support System for the Educational Process in a Technical University // Avtomatizatsiia v promyshlennosti. 2022. No. 4. P. 7–14. (In Russian).
10. Serobabov A. S. Analysis of Input Parameters of the Expert System for Early Diagnosis of the Disease // Proceedings in Cybernetics. 2020. No. 4 (40). P. 33–41. (In Russian).

Информация об авторе

А. С. Серобабова – аспирант.

Information about the author

A. S. Serobabov – Postgraduate.