

Технічні науки

УДК 004.02 + 616.1

Бабенко Віталій Олегович

студент,

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Бабенко Виталий Олегович

студент

Национального технического университета Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Babenko Vitalii

Student of the

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Науковий керівник:

Носовець Олена Костянтинівна

кандидат технічних наук,

доцент кафедри біомедичної кібернетики

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**СИСТЕМА АНАЛІЗУ РИЗИКІВ ПІСЛЯ ХІРУРГІЧНОГО
ЛІКУВАННЯ У РАННЬОМУ ПІСЛЯОПЕРАЦІЙНОМУ ПЕРІОДІ
СИСТЕМА АНАЛИЗУ РИСКОВ ПОСЛЕ ХИРУРГИЧЕСКОГО
ЛЕЧЕНИЯ В РАННЕМ ПОСЛЕОПЕРАЦИОННОМ ПЕРИОДЕ
SYSTEM OF RISK ANALYSIS AFTER SURGICAL TREATMENT IN
EARLY POSTOPERATIVE PERIOD**

Анотація. В статті розглянута розробка комплексного алгоритму вирішення багатокритеріальної задачі оптимізації, з використанням поєднання методу аналізу ієрархій та генетичних алгоритмів, для знаходження оптимального персоніфікованого методу хірургічного лікування вроджених вад серця з єдиним шлуночком, щоб запобігти ускладнень у ранньому післяопераційному періоді. Даний алгоритм універсальний і в майбутньому може бути застосований для вирішення інших схожих задач.

Ключові слова: вроджені вади серця з єдиним шлуночком, багатокритеріальна оптимізація, метод групового урахування аргументів, метод аналізу ієрархій, генетичні алгоритми.

Аннотация. В статье рассмотрена разработка комплексного алгоритма решения многокритериальной задачи оптимизации с использованием сочетания метода анализа иерархий и генетических алгоритмов для нахождения оптимального персонифицированного метода хирургического лечения врожденных пороков сердца с единственным желудочком, чтобы предотвратить осложнения в раннем послеоперационном периоде. Данный алгоритм универсален и в будущем может быть применен для решения других подобных задач.

Ключевые слова: врожденные пороки сердца с единственным желудочком, многокритериальная оптимизация, метод группового учёта аргументов, метод анализу иерархий, генетические алгоритмы.

Summary. The article describes the development of a complex algorithm for solving a multi-criteria optimization problem using a combination of analytic hierarchy process and genetic algorithms to find the optimal personalized method of surgical treatment of congenital heart defects with a single ventricle to prevent complications in the early postoperative period. This

algorithm is universal and in the future can be applied to solve other similar problems.

***Key words:** congenital heart defects with a single ventricle, multi-objective optimization, group method of data handling, analytic hierarchy process, genetic algorithms.*

Постановка проблеми. В лікуванні складних вроджених вад серця важливою задачею є створення алгоритму знаходження оптимальної методики лікування для забезпечення якомога меншої кількості післяопераційних ускладнень та високої якості життя у ранньому післяопераційному періоді. Проблема полягає в необхідності одночасного врахування таких факторів як множинність післяопераційних ускладнень і задача перебору варіантів лікування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботах фахівців Томас Л. Сааті [2] і О.І. Ларічев [3] розглядався метод аналізу ієрархій. Генетичним алгоритмам приділяли увагу Девід Е. Голдберг [1], Д. Рутковська, М. Пилинський і Л. Рутковський [5]. Метод групового урахування в своїй роботі описали Є.А. Підшва і А.Б. Іващенко [4].

Мета дослідження: розробити комплексний алгоритм знаходження оптимального методу хірургічного лікування для зменшення післяопераційних ускладнень, з урахуванням факторів множинності ускладнень і задачі перебору варіантів лікування.

Характеристика клінічного матеріалу. Для розробки та тестування алгоритму, використано клінічні дані 128 пацієнтів з вродженими вадами серця. Використані клініко-морфологічні характеристики хворих, дані лабораторних та інструментальних досліджень, характеристики операційного та післяопераційного етапів. Всього проаналізовано 313 змінних, з яких відібрано значимі для поставленої мети дослідження: 44 змінні вхідних даних пацієнта, 39 змінних управління та 22 змінних

вихідних даних. Під вхідними даними мається на увазі дані пацієнта, які були взяті під час обстеження перед операційним лікуванням, під змінними управління – операції, які проводились на пацієнтах, під вихідними даними – післяопераційні ускладнення.

Виклад основного матеріалу. Вхідні змінні (вхідні дані і змінні управління) було відібрано за допомогою кореляційного аналізу *IBM SPSS Statistics 22.0*. Проводився аналіз зв'язку між повним масивом змінних та вихідними змінними, для подальшої роботи з ними.

Щоб вирішити проблему множинності, була взята експертна думка у спеціалістів, які із 22 вихідних змінних виділили 9 найпріоритетніших («PE>14», «Все аритмии бин», «PLEURITIS EARLY», «PLICAT», «STROKE», «THROMBOSIS», «CHYLE», «AV BLOCK», «SND»). Порівнявши різні методи багатокритеріальної задачі, було обрано метод аналізу ієрархій [2], оскільки його зручно використовувати при великій кількості критеріїв і відомій пріоритетності кожного критерію. Спеціалісти виставили ієрархію всіх ускладнень в порядку складності лікування та тяжкості наслідків для пацієнтів.

Для вирішення проблеми задачі перебору варіантів (всього варіантів $2 \cdot 10^{11}$), після аналізу різних методів оптимізації повного перебору, було обрано генетичний алгоритм [1], оскільки він дозволяє еволюційним шляхом швидко знайти рішення поставленої задачі. Структура загального алгоритму для даного дослідження представлена на рис. 1.

На першому етапі випадковим чином генерується перша популяція із 32 осіб, яка генерує випадковий набір даних по кожній з 9 змінних управління.

На другому етапі для кожного індивіда покоління розраховується функція згортки за методом аналізу ієрархій. Для цього необхідно провести парне порівняння критеріїв, використовуючи реляційну шкалу чисел Сааті [3, с. 115-129], а також з врахуванням аксіом пов'язаності,

гомогенності та синтезу. Результати парного порівняння критеріїв показані в табл. 1.



Рис. 1. Загальний алгоритм задачі оптимізації

Таблиця 1

Попарне порівняння

	PE >14	Все аритмії бин	PLEURITIS EARLY	PLICAT	STROKE	THROMBOSIS	CHYLE	AV BLOCK	SND
PE>14	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Все аритмії бин	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
PLEURITIS EARLY	0,33	0,67	1	1,33	1,67	2	2,33	2,67	3
PLICAT	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25
STROKE	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
THROMBOSIS	0,167	0,33	0,5	0,67	0,83	1	1,167	1,33	1,5
CHYLE	0,143	0,286	0,429	0,571	0,714	0,857	1	1,143	1,286
AV BLOCK	0,125	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,875	1	1,125
SND	0,11	0,22	0,33	0,44	0,56	0,67	0,78	0,89	1

Після отримання таблиці порівнянь, було розраховано власні вектори для кожного критерію. Обчислення отримані за формулою:

$$w_i = \frac{\sqrt[n]{a_{i1} \dots a_{in}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{a_{i1} \dots a_{i1}}}, i = \overline{1, n} \quad (1)$$

де w_i – це шуканий вектор;

n – кількість рядків матриці;

a – альтернатива.

За формулами (2), (3), (4) і табл. 2 було перевірено правильність заповнення таблиці попарних порівнянь:

Таблиця 2

Власні вектори критеріїв

Середні геометричні	Вектор пріоритетів	Інтенсивність відн. Важлив.	Частка	λ_{max}	Індекс уз.	%
4,147	0,353	3,181	9	9	0	0
2,074	0,177	1,591	9			
1,382	0,118	1,06	9			
1,037	0,088	0,795	9			
0,829	0,071	0,636	9			
0,691	0,059	0,53	9			
0,592	0,05	0,454	9			
0,518	0,044	0,398	9			
0,461	0,039	0,353	9			

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

де J_p – шуканий індекс;

λ_{max} обчислюється за формулою (3).

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_i^n \frac{A * w}{a_i}}{n} \quad (3)$$

де A – матриця порівнянь;

w – вектор коефіцієнтів;

a_i – елементи матриці порівнянь;

n – кількість рядків матриці A .

Потім, розраховується відношення узгодженості за формулою (4).

$$T = \frac{J_p}{P_n} \quad (4)$$

де T – шукане відношення;

P_n – середнє значення індекса узгодженості. Воно різне в залежності від розміру матриці (табл. 3).

Таблиця 3

Таблиця норм індекси для N альтернатив

<i>N</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>P_n</i>	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Після отримання векторів пріоритетів, було отримано функцію згортки для отримання оптимальної комбінації критеріїв:

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{згортки}} = & -0,353x_{301} - 0,177x_{302} - 0,118x_{303} - 0,088x_{304} \\ & - 0,071x_{305} - 0,059x_{306} - 0,05x_{307} - 0,044x_{308} \\ & - 0,039x_{309} \end{aligned} \quad 5)$$

де (табл. 4):

Таблиця 4

Післяопераційні ускладнення

	Назва змінної	Позначення
	PE>14	X ₃₀₁
	Все аритмии бин	X ₃₀₂
	PLEURITIS EARLY	X ₃₀₃
PLICAT	X ₃₀₄	
STROKE	X ₃₀₅	
THROMBOSIS	X ₃₀₆	
	CHYLE	X ₃₀₇
	AV BLOCK	X ₃₀₈
	SND	X ₃₀₉

Після отримання функції згортки було побудовано математичні моделі класифікації за допомогою програмного інструменту на основі МГУА *GMDH Shell DS* [4, с. 1-4]. В якості алгоритму був обраний покроковий змішаний МГУА.

$$\begin{aligned} x_{301} = & -0.833 + \frac{0.003x_{201}}{x_{111}} - 0.001x_{106}x_{208} - 0.002x_{105}x_{109} \\ & + \frac{17.086x_{112}}{x_{101}} + \frac{10.415}{x_{103}x_{109}} + 0.001x_{101}x_{202} + \frac{0.359x_{207}}{x_{205}} \\ & - \frac{0.008x_{202}}{x_{109}} - \frac{0.053x_{202}}{x_{204}} + \frac{35.55}{x_{101}x_{204}} \end{aligned} \quad (6)$$

$$x_{302} = 1.896 + 0.00005x_{103}x_{104} - \frac{0.071x_{105}}{x_{201}x_{207}} - \frac{0.023x_{106}}{0.621x_{109}} - \frac{41.789}{0.091x_{108}} - \frac{x_{205}}{121.413} - \frac{x_{104}}{0.585x_{111}} - \frac{x_{107}}{2.622} - \frac{x_{103}x_{207}}{0.125x_{107}} - \frac{x_{204}}{0.994x_{106}} - \frac{x_{209}}{x_{107}} \quad (7)$$

$$x_{303} = -0.01 + \frac{716.757}{x_{201}x_{203}} + 0.005x_{106}x_{109} - \frac{0.248x_{209}}{x_{110}} - \frac{x_{103}}{2.462} - \frac{0.004x_{106}}{x_{107}} - 0.0003x_{103}x_{112} + \frac{73.84}{x_{103}x_{107}} + 0.012x_{108}x_{204} \quad (8)$$

$$x_{304} = 1.442 - 0.007x_{102}x_{202} - 0.01x_{105}x_{112} + \frac{0.045x_{202}}{x_{207}} + \frac{0.519x_{206}}{x_{209}} - 0.011x_{104}x_{112} + 0.0002x_{101}x_{108} - 0.0003x_{107}x_{201} - \frac{11.753}{x_{105}x_{202}} + \frac{0.001x_{103}}{x_{111}} - \frac{0.001x_{103}}{x_{206}} \quad (9)$$

$$x_{305} = -1.662 - 0.035x_{104}x_{110} + \frac{3.106x_{112}}{x_{105}} - \frac{21.48x_{208}}{x_{103}} + \frac{0.0005x_{201}}{x_{109}} + 0.009x_{108}x_{202} + \frac{10.139x_{110}}{x_{203}} - \frac{0.159x_{106}}{x_{101}} - \frac{0.094}{x_{109}x_{112}} + 0.007x_{104}x_{203} + \frac{0.558x_{110}}{x_{202}} \quad (10)$$

$$x_{306} = -0.975 + 0.048x_{108}x_{209} + \frac{0.697x_{112}}{x_{105}} + 0.466x_{111}x_{208} - \frac{242.356}{x_{112}x_{201}} + \frac{0.261x_{108}}{x_{112}} + \frac{58.454x_{209}}{x_{201}} + \frac{0.303x_{108}}{x_{208}} - 0.184x_{108}x_{111} + \frac{12.326}{x_{106}x_{112}} - \frac{13.725}{x_{106}x_{111}} \quad (11)$$

$$x_{307} = -4.401 - \frac{3.497}{x_{102}x_{110}} - 0.031x_{112}x_{202} - \frac{43.026x_{204}}{x_{103}} + 0.156x_{111}x_{205} + 0.094x_{110}x_{208} + \frac{0.387x_{203}}{x_{206}} + \frac{12.219x_{206}}{x_{203}} + 0.001x_{101}x_{204} + \frac{6959.83}{x_{101}x_{103}} + 0.018x_{202}x_{208} \quad (12)$$

$$x_{308} = 0.757 - \frac{645.415}{x_{103}x_{205}} + \frac{7.788x_{109}}{x_{101}} - 0.0006x_{103}x_{206} - 0.011x_{109}x_{204} - \frac{0.508x_{101}}{x_{103}} + \frac{21.826x_{203}}{x_{103}} + \frac{19.044}{x_{203}x_{205}} - 0.081x_{109}x_{205} + \frac{1.497x_{109}}{x_{104}} + 0.0009x_{101}x_{208} \quad (13)$$

$$x_{309} = 1.282 + 0.019x_{102}x_{206} + 0.027x_{204}x_{207} - \frac{0.007x_{101}}{x_{207}} - \frac{60.067}{x_{101}x_{204}} - \frac{0.022x_{106}}{x_{104}} + 0.071x_{108}x_{205} - 0.006x_{105}x_{108} - 0.024x_{108}x_{204} + \frac{0.124x_{108}}{x_{207}} - \frac{0.248x_{104}}{x_{105}} \quad (14)$$

Таблиця 5

Точності і чутливості класифікаційних моделей

Модель	Точність		Чутливість		Специфічність	
	Навчання	Екзамен	Навчання	Екзамен	Навчання	Екзамен
x ₃₀₁	92,6%	94,8%	0,908	0,933	1	1
x ₃₀₂	94,5%	89,7%	0,962	0,9	0,941	0,896
x ₃₀₃	92,9%	93,1%	1	1	0,922	0,923
x ₃₀₄	94,8%	93,1%	1	1	0,945	0,927
x ₃₀₅	91,4%	86,2%	1	1	0,91	0,857
x ₃₀₆	94,8%	93,1%	1	1	0,946	0,927
x ₃₀₇	93,9%	93,1%	1	1	0,936	0,927
x ₃₀₈	98,5%	93,8%	1	1	0,984	0,982
x ₃₀₉	96,9%	96,6%	1	1	0,968	0,965

На третьому етапі розраховується оцінка пристосованості осіб в популяції, яка береться як обернене значення від різниці ідеального значення функції згортки і функції згортки особи .

На четвертому етапі перевіряється умова закінчення алгоритму, в даній роботі це досягнення функції згортки однієї з осіб популяції ідеального значені.

Якщо так, то обирається найкраща особа і алгоритм завершується.

В іншому випадку, вибирається селекція осіб для формування нової популяції. Селекція відбувається за допомогою рулеточного відбору [5, с. 124-169]. Він полягає в тому, що особин відбирають за допомогою N -ої кількості «запусків рулетки» (N – кількість популяції). Колесо рулетки складається з секторів для кожної особи популяції, розмір яких пропорційний ймовірності попадання особи в нову популяцію.

Після селекції відбувається схрещування, яке являє собою сполучення двох осіб, в результаті якого формується третя особа. Вона наслідує i -у кількість змінних однієї особи, і j -у кількість змінних другої особи.

Після формування нової популяції, алгоритм повертається до другого етапу, і діє поки не виконається умова.

Можливий випадок, коли після певної кількості ітерацій, цілі не було досягнуто, а всі особи в популяції стають ідентичними. В такому разі замість схрещування використовується оператор мутації, який замінює 31 із 32 осіб на нові випадково згенеровані особи.

Висновки. Після проведеного аналізу літератури, порівняння різних методів багатокритеріальної оптимізації і методів повного перебору, був розроблений комплексний алгоритм знаходження оптимального методу хірургічного лікування для зменшення післяопераційних ускладнень на основі генетичного алгоритму. Було опитано спеціалістів, які із 22 вихідних змінних відібрали 9 найпріоритетніших. Використано метод аналізу ієрархій для побудови функції згортки вихідних змінних. За допомогою *GMDH Shell* було побудовано математичні моделі класифікації вихідних змінних.

Література

1. Goldberg D. E. Genetic algorithms in search, optimization & machine learning / D. E. Goldberg. — Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989.
2. Saaty T. L. Analytical planning. the organization of systems / T. L. Saaty, K. P. Kearns. — Pergamon Press, 1985. — 212 p.
3. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в волшебных странах / О. И. Ларичев. — Москва : Логос, 2002. — 393 p.
4. Пидошва Е. А. Основные принципы метода группового учета аргументов и его перспективы / Е. А. Пидошва, А. Б. Иващенко // Р. 4.
5. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский. — Москва : Горячая линия - Телеком, 2013. — 385 p.

References

1. Goldberg D. E. Genetic algorithms in search, optimization & machine learning / D. E. Goldberg. — Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989.
2. Saaty T. L. Analytical planning. the organization of systems / T. L. Saaty, K. P. Kearns. — Pergamon Press, 1985. — 212 p.
3. Larichev O. I. Teoriya i metodi priniatiya resheniy, a takje hronika sobitiy v volshebnyh stranah / O. I. Larichev. — Москва: Логос, 2002. — 393 p.
4. Pidoshva E. A. Osnovnie principii metoda grupovogo ucheta argumentov i ego perspektivi / E. A. Pidoshva, A. B. Ivaschenko // P. 4.
5. Rutkovskaya D. Neyronnie seti, geneticheskie algoritmi i nechetkie sistemi / D. Rutkovskaya, M. Pilinskiy, L. Rutkovskiy. — Москва : Горячая линия - Телеком, 2013. — 385 p.