

**УДК 612.172/.176.4-073.97**

## **ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ОБЪЕКТИВИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭТАЛОННОГО КАРДИОЦИКЛА ОДНОКАНАЛЬНОЙ ЭКГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГЕБРАИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОНСТРУКТИВНОЙ ЛОГИКИ**

*Минина Е. Н.*

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия  
E-mail: cere-el@yandex.ru*

Выявление уровня функциональных резервов миокарда и их количественная оценка имеет важное диагностическое значение в своевременном предотвращении возникновения заболеваний сердца, при оптимальном дозировании физических упражнений, спортивных нагрузок и определении эффективности реабилитационных мероприятий. Показатели эталонного кардиоцикла могут применяться в качестве критерия оценки функциональных резервов миокарда и эффективности коррекционных воздействий, а построение математической модели с использованием алгебраической модели конструктивной логики (АМКЛ) является эффективным методом верификации маркеров изменений у различных категорий населения на примере обучающихся.

Представленный аналитический расчет одновременно является методикой анализа и по мере накопления исходных данных позволяет уточнять полученные результаты. Значения факторов в выявленных диапазонах можно считать критерием отклонения от оптимального функционирования, а показатели, принятые в данном анализе за факторы, характеризовать как индикаторы снижения функциональных резервов регуляции кардиогемодинамики у школьников 10–16 лет. Показатель СКО симметрии зубца Т фазового портрета одноканальной ЭКГ, показатели эталонного кардиоцикла – T/R (ед.), смещение ST (мс), показатель продолжительности зубца Т эталонного кардиоцикла и показатель вариабельности сердечного ритма CV (%) можно рассматривать как информативные показатели – индикаторы повышения риска патологии кардиогемодинамического функционирования.

**Ключевые слова:** эталонный кардиоцикл, алгебраическая модель конструктивной логики, кардиореспираторная система, диапазон физиологического функционирования.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Состояние здоровья обучающихся является актуальной проблемой научных исследований. Данные литературы свидетельствуют о том, что лишь 10 % выпускников школ могут считаться здоровыми, у трети школьников выявлены различные хронические заболевания, и за время обучения в школе число здоровых детей уменьшается в 4–5 раз [1]. Современные способы скрининговой оценки физической, психической и адаптационной составляющих здоровья позволяют отследить влияние на здоровье школьников различных факторов окружения, что дает возможность управлять ими в реальном времени и напрямую связано с донологическим ранним выявлением и анализом функциональных нарушений в работе различных систем организма.

В связи с этим оценка уровня функционального состояния кардиогемодинамики, в том числе количественное определение функционального состояния миокарда, является важной медико-биологической проблемой, а поиск и разработка диагностических методик, позволяющих в режиме скрининговых исследований и методов не только получать, но и анализировать диагностические показатели, составляют наиболее приоритетные и актуальные вопросы физиологии [2].

Надо отметить, что междисциплинарность в медико-биологических исследованиях получает все большую актуальность и позволяет реализовывать новейшие технологические решения как в изучении физиологических особенностей функционирования, так и в интерпретации и верифицировании полученных результатов [3]. Комбинированное применение инновационных методов получения и обработки физиологических показателей формирует новые методологические подходы анализа функционального состояния организма человека и позволяет реализовывать задачи физиологической науки.

В связи с вышесказанным целью исследования было определить маркеры (и их количественные диапазоны) физиологического функционирования кардиогемодинамики и ее регуляции в различных группах обучающихся по параметрам эталонного кардицикла (ЭК) и variability сердечного ритма одноканальной ЭКГ с использованием математического моделирования, применяя алгебраическую модель конструктивной логики.

#### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Регистрацию и анализ ЭКГ в фазовом пространстве с определением параметров эталонного кардицикла (ЭК) и variability сердечного ритма проводили с помощью программно-технического комплекса «ФАЗАГРАФ®» [4], в котором реализована оригинальная информационная технология обработки электрокардосигнала в фазовом пространстве с использованием идей когнитивной компьютерной графики и методов автоматического распознавания образов (МНУЦИТИС НАН и МОН Украины). Регистрация количественных показателей  $CO_2$  во время выдоха проводилась с помощью ультразвукового проточного капнометра КП-01-«ЕЛАМЕД».

Факторный анализ и построение нелинейной математической модели выполняли с помощью математического аппарата алгебраической модели конструктивной логики (АМКЛ), которая является в своей основе моделью интуитивистского исчисления предикатов, отображающей индуктивную часть мышления – формирование небольшого набора кратких качественных выводов из массивов информации большой размерности [5–10]. Особенность модели состоит в ее приспособленности к исследованию динамики сложных объектов, зависящих от так называемых скрытых переменных. Машинный интеллект алгебраической модели позволяет в определенной степени выявить эти ранее не учтенные факторы. С общей точки зрения, систему можно применять как средство, согласующее информационные каналы исследуемого объекта и пользователя. Алгоритм может быть использован в любых областях науки или практики для

доказательства (или опровержения) ряда априорных предположений, например в области доказательной медицины [11–14].

Статистическую обработку полученных результатов исследований проводили с помощью программного пакета STATISTICA 6.0 (StatSoft, Inc., USA). Оценки расхождения распределений признаков проводились с помощью критерия согласия Колмогорова – Смирнова. Для оценки достоверности различий между одноименными показателями у исследуемых использовали параметрический Т-критерий Стьюдента.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Входные данные представляют собой массив данных – таблицу, в которой каждый столбец  $X_i$  представлен значениями факторов. Один из столбцов является целевым, поскольку его значения являются результатом воздействия факторов на исследуемый объект. Результат вычислений представлен как дизъюнкция импликант, в которых факторы в сочетанном или несочетанном виде даны с указанием пределов значений и результирующей мощностью, по которой можно судить о степени ее влияния на результат. Аналитические расчеты можно выполнять в режимах достижения цели (прямой расчет) или ее недостижения (расчет от обратного).

Массив верифицированных данных представлен 7440 показателями кардиореспираторной системы 186 условно здоровых обучающихся средней образовательной школы г. Симферополя 9–16 лет.

Показатель  $\beta_T$  (ед.) можно охарактеризовать как информативный критерий функционального состояния кардиогемодинамики и количественного определения адаптационных резервов миокарда в скрининг-исследованиях. Из предыдущих исследований известно, что электрокардиографический показатель  $\beta_T$  отражает процессы реполяризации и позволяет оценить степень напряжения миокарда, является стабильным и чувствительным индикатором, отражающим интегративную реакцию адаптационных резервов кардиогемодинамики [15–20].

Таким образом, в результате выявленной информативности показатель  $\beta_T$  был принят в качестве целевого фактора. Было выявлено 98 целевых и 88 нецелевых случаев.

Целевая группа (Группа  $\beta_T - 0,75$  ед.) была описана несколькими признаками: гендерным, возрастным и признаком двигательной активности. Так, количество мальчиков и девочек, составивших целевую группу, было практически одинаковым. При этом в каждой возрастной группе значения ( $\beta_T$ , ед.) в целевой группе достоверно превышали значения данного показателя в нецелевой группе. В таблице 1 отражены возрастные особенности целевой и нецелевой групп.

**Таблица 1**  
**Возрастные особенности показателя симметрии зубца Т у школьников целевой и нецелевой групп, ( $\bar{x} \pm Sx$ ), n=197**

№	Возраст	$\beta_T$ , ед.	
		1 (целевая группа)	0 (не целевая группа)
1	9–10 лет (n=45)	0,77±0,02	0,69±0,02**
2	11–12 лет (n=55)	0,76±0,01	0,68±0,01***
3	13–14 лет (n=42)	0,76±0,02	0,70±0,01**
4	15–16 лет (n=55)	0,78±0,03	0,69±0,01***

Примечание: \* –  $p < 0,05$ , \*\* –  $p < 0,01$ , \*\*\* –  $p < 0,001$  при сравнении целевой и нецелевой групп

Очевидно, ни гендерный, ни возрастной факторы не являлись основополагающим в определении значения показателя  $\beta_T$ , ед.

Напротив, при анализе фактора двигательной активности было выявлено преобладание в целевой группе исследуемых школьников со сниженным уровнем двигательной активности (рис. 1).

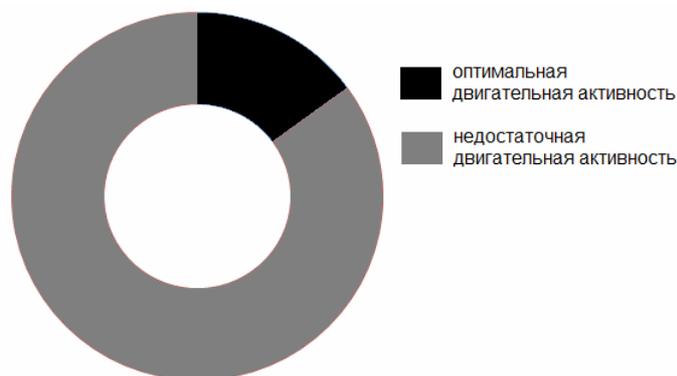


Рис. 1. Характеристика целевой группы по признаку оптимальности двигательной активности

Исходными данными для построения модели являлась таблица. Каждая строка в этой таблице рассматривается как случай, в котором занесены значения факторов (в факторных столбцах) и результат их воздействия (в целевом столбце) (табл. 2, 3).

Алгоритм АМКЛ позволил:

1. Построить математическую модель с минимальным числом результирующих составляющих, дизъюнктивно объединенных между собой.
2. Определить сочетание факторов (показанных через знак &) и пределы их определения без участия исследователя.
3. Определить мощность каждой результирующей составляющей (W), численно равной числу строк, на которых выполняется условие определения переменных этой

результатирующей составляющей, с определением границ наиболее мощных результирующих составляющих (рис. 2–4).

4. Исключить отдельные избыточные факторы, без которых математическая модель может быть построена.

В представленной математической модели показаны результирующие составляющие (пронумерованы). Каждый фактор имеет пределы определения (показаны в скобках), которые алгоритм АМКЛ определил сам из соображений компактного представления модели. Каждая результирующая составляющая влияет на результат (выбранную цель) с мощностью (обозначенной М).

Таблица 2

Результаты математического моделирования достижения цели с использованием АМКЛ

Факторы и обозначения		Математическая модель достижения цели с использованием всех факторов	Математическая модель достижения цели с оптимизированным пространством факторов
X1	цель, симметрия зубца Т, $\geq 0,75$ усл. ед., что соответствует – 1; < 0,75 усл. ед. – 0.	Исходные данные из файла: D:\АналРасчеты\Минина\Расчеты\base.txt Переменная цели: X1. Значение цели: 1.0 Маска: нет Совпало целевых и нецелевых строк: 0.	Исходные данные из файла: D:\АналРасчеты\Минина\Расчеты\base.txt Переменная цели: X1. Значение цели: 1.0 Маска: X6; X7; X8; X10; X12; X14; X16; X17; X18; X20; X25; X26; X27; X28; X29; X30; X31; X32; X33; X34; X35. Совпало целевых и нецелевых строк: 0.
X2	ЧСС, уд/мин	<b>1.М= 29. ( 0.84 &lt; X19 &lt; 1.31 )</b> Строки: 1; 8; 23; 26; 31; 40; 41; 44; 65; 75; 80; 93; 99; 103; 105; 109; 117; 118; 120; 121; 132; 133; 141; 147; 149; 153; 162; 169; 184; <b>2.М= 21.( 0.1 &lt;= X9 &lt; 0.18 )</b> Строки: 5; 23; 26; 41; 44; 46; 49; 80; 92; 93; 97; 100; 101; 103; 106; 108; 113;149; 154; 166; 184 <b>3.М= 13.( 0.18 &lt; X9 &lt; 0.2 )</b> Строки: 8; 21; 27; 67; 68; 90; 102; 105; 133; 153; 159; 169; 182 <b>4.М= 13.( 0.16 &lt; X4 &lt; 0.42 )</b> Строки: 1; 20; 23; 88; 92; 93;	<b>1.М= 29. ( 0.84 &lt; X19 &lt; 1.31 )</b> Строки: 1; 8; 23; 26; 31; 40; 41; 44; 65; 75; 80; 93; 99; 103; 105; 109; 117; 118; 120; 121; 132; 133; 141; 147; 149; 153; 162; 169; 184; <b>2.М= 21. ( 0.1 &lt;= X9 &lt; 0.18 )</b> Строки: 5; 23; 26; 41; 44; 46; 49; 80; 92; 93; 97; 100; 101; 103; 106; 108; 113;149; 154; 166; 184 <b>3.М= 13. ( 0.18 &lt; X9 &lt; 0.2 )</b> Строки: 8; 21; 27; 67; 68; 90; 102; 105; 133; 153; 159; 169; 182 <b>4.М= 13. ( 0.16 &lt; X4 &lt; 0.42 )</b> Строки: 1; 20; 23; 88; 92; 93;
X3	вариабельность ЧСС,		
X4	среднее квадратическое отклонение симметрии зубца Т, мс		
X5	смещение сегмента ST эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс		
X6	продолжительность Р эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс		
X7	продолжительность сегмента Р-Q эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс		

X8	продолжительность зубца R эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	120; 126; 140; 154; 162; 181; 184 5.M= 13. ( -3.e-002 <= X5 < -2.e-002 )	120; 126; 140; 154; 162; 181; 184 5.M= 13. ( -3.e-002 <= X5 < -2.e-002 )
X9	продолжительность зубца T эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	Строки: 23; 26; 41; 46; 49; 61; 97; 101; 105; 113; 135; 159; 184 6.M= 12.( 8.11 < X24 < 8.92 )	Строки: 23; 26; 41; 46; 49; 61; 97; 101; 105; 113; 135; 159; 184 6.M= 12. ( 8.11 < X24 < 8.92 )
X10	амплитуда зубца P эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	Строки: 5; 7; 23; 39; 67; 76; 115; 147; 153; 166; 168; 184 ----- 7.M= 10.(30.92 < X22 < 32.73)	Строки: 5; 7; 23; 39; 67; 76; 115; 147; 153; 166; 168; 184 ----- 7.M= 10. ( 30.92 < X22 < 32.73)
X11	амплитуда зубца Q эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	Строки: 9; 10; 31; 103; 104; 135; 154; 155; 170; 171; 8.M= 9. ( -5.69e-003 < X11 < -3.14e-003 )	Строки: 9; 10; 31; 103; 104; 135; 154; 155; 170; 171 8.M= 10. ( 0.85 < X36 < 0.96 )
X12	амплитуда зубца R эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	Строки: 1; 9; 74; 75; 96; 129; 161; 162; 170; 9.M= 9.( 115 < X2 <= 129 )	Строки: 5; 7; 23; 26; 83; 106; 156; 166; 168; 184 9.M= 9. ( 115. < X2 <= 129. )
X13	амплитуда зубца S эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	Строки: 26; 27; 30; 45; 49; 53; 72; 97; 106 10.M= 8. ( -1.e-002 < X5 < -7.88e-003 )	Строки: 26; 27; 30; 45; 49; 53; 72; 97; 106 10.M= 9. ( -5.69e-003 < X11 < -3.14e-003 )
X14	амплитуда зубца T эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	Строки: 5; 21; 37; 67; 76; 88; 166; 182 11.M= 8. ( -4.e-002 < X13 < -2.e-002 )	Строки: 1; 9; 74; 75; 96; 129; 161; 162; 170 11.M= 8. ( -4.e-002 < X13 < -2.e-002 )
X15	интервал P-Q эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	Строки: 13; 67; 75; 120; 152; 153; 156; 174 12.M= 8. ( -7.e-002 < X13 < -4.e-002 )	Строки: 13; 67; 75; 120; 152; 153; 156; 174 12.M= 8. ( -7.e-002 < X13 < -4.e-002 )
X16	интервал Q-T эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	Строки: 7; 8; 41; 44; 124; 140; 168; 169 13.M= 8.( 7.84 < X23 < 9.73 )	Строки: 7; 8; 41; 44; 124; 140; 168; 169 13.M= 8. ( 7.84 < X23 < 9.73 )
X17	комплекс QRS эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	Строки: 9; 31; 41; 64; 65; 104; 135; 170 14.M= 7.( 27.5 < X3 < 29.3 )	Строки: 9; 31; 41; 64; 65; 104; 135; 170 14.M= 7. ( 27.5 < X3 < 29.3 )
X18	амплитуда Q/R эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, ед.	Строки: 16; 40; 75; 126; 142; 143; 177 15.M= 7. ( -4.65e-003 < X5 < -1.69e-003 )	Строки: 16; 40; 75; 126; 142; 143; 177 15.M= 7. ( -4.65e-003 < X5 < -1.69e-003 )
X19	соотношение площадей T/R эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, ед.	Строки: 7; 27; 28; 31; 87; 90; 168 16.M= 7.( 76 < X21 < 82 )	Строки: 7; 27; 28; 31; 87; 90; 168 16.M= 7. ( 76. < X21 < 82. )
		Строки: 6; 75; 86; 114; 155; 156; 167 17.M= 6.( 7.81 < X24 < 8.03 )	Строки: 6; 75; 86; 114; 155; 156; 167 17.M= 6. ( 7.81 < X24 < 8.03 )

ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ОБЪЕКТИВИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭТАЛОННОГО ...

X20	продолжительность цикла, NN, мс	Строки: 13; 41; 58; 127; 135; 174	174
X21	SDNN, мс	18.M= 6.( 10.1 < X25 < 10.4 )	18.M= 6. ( 0.3 <= X15 < 0.31 )
X22	RMSSD, мс	Строки: 39; 80; 83; 110; 120; 141	Строки: 26; 27; 46; 49; 50; 92
X23	pNN50, %	19.M= 6. ( 0.3 <= X15 < 0.31 )	19.M= 5. ( 9.58 < X24 < 10.28 )
X24	коэффициент вариации, CV, %	Строки: 26; 27; 46; 49; 50; 92	Строки: 37; 110; 113; 118; 133
X25	HRVtr.index		
X26	Мода, Мо, мс		
X27	Амплитуда моды, АМо, %		
X28	MxDMn, мс		
X29	индекс напряжения ИН по Баевскому, ед.		
X30	LFn, %		
X31	HFn, %		
X32	коэффициент вагосимпатического баланса, LF/HF, ед.		
X33	угол наклона фазового портрета, гр.		
X34	показатель вариабельности фазового портрета, ед.		
X35	соотношение T/R, ед		
X36	частота дыхательных движений, цикл/мин. ед.		
X37	показатель неравномерности дыхания, ед.		
X38	показатель ТД по ЧД, ед.		
X39	напряжение CO <sub>2</sub> в последней фракции выдыхаемого воздуха, мм рт. ст.		
X40	мертвое пространство, %		

Таблица 3

**Результаты математического моделирования недостижения цели с использованием АМКЛ**

Факторы и обозначения		Математическая модель недостижения цели с использованием всех факторов	Математическая модель недостижения цели с оптимизированным пространством факторов
X1	цель, симметрия зубца Т, $\geq 0,75$ усл. ед., что соответствует – 1; $< 0,75$ усл. ед. – 0.	Исходные данные из файла: D:\АналРасчеты\Минина\Расчеты\base.txt Переменная цели: X1. Значение цели: 1.0 Маска: нет Совпало целевых и нецелевых строк: 0.	Исходные данные из файла: D:\АналРасчеты\Минина\Расчеты\base.txt Переменная цели :X1; Значение цели :1.0 Маска :X6; X7; X8; X10; X12; X14; X16; X17; X18; X20; X25; X26; X27; X28; X29; X30; X31; X32; X33; X34; X35. Совпало целевых и нецелевых строк: 0.
X2	ЧСС, уд/мин	1.М= 13. ( 0.27 < X9 < 0.33 ) Строки: 2; 17; 22; 51; 69; 73; 79; 84; 116; 139; 163; 178; 183 2.М= 9. ( 6.e-002 < X35 < 0.11 ) Строки: 35; 63; 66; 71; 77; 84; 95; 123; 160 3.М= 9. ( 11.09 < X25 < 11.44 ) Строки: 2; 3; 18; 55; 73; 139; 163; 164; 179 4.М= 9. ( 54.8 < X30 < 58.6 ) Строки: 22; 47; 59; 69; 70; 122; 139; 151; 183 5.М= 8. ( 45.51 < X22 < 47.08 ) Строки: 17; 18; 43; 73; 78; 94; 178; 179 6.М= 8. ( 9.24 < X24 < 9.72 ) Строки: 4; 12; 42; 43; 57; 111; 165; 173 7.М= 7. ( 181. < X33 <	1.М= 13.( 0.27 < X9 < 0.33 ) Строки: 2; 17; 22; 51; 69; 73; 79; 84; 116; 139; 163; 178; 183. 2.М= 10.( 2.e-002 < X5 <= 6.26 ) Строки: 2; 35; 38; 43; 63; 84; 89; 122; 151; 163. 3.М= 9.( 74.13 < X22 < 87.35 ) Строки: 11; 22; 24; 81; 98; 137; 146; 172; 183. 4.М= 8.( 9.24 < X24 < 9.72 ) Строки: 4; 12; 42; 43; 57; 111; 165; 173. 5.М= 7.( 41.75 < X23 < 46.24 ) Строки: 11; 22; 82; 98; 138; 172; 183. 6.М= 6.( 33.87 < X22 < 34.61 ) Строки: 3; 35; 71; 85; 91; 164. 7.М= 6.( 91.8 < X2 < 92.8 )
X3	вариабельность ЧСС,		
X4	среднее квадратическое отклонение симметрии зубца Т, мс		
X5	смещение сегмента ST эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс		
X6	продолжительность Р эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс		
X7	продолжительность сегмента Р-Q эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс		
X8	продолжительность зубца R эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс		
X9	продолжительность зубца Т эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс		
X10	амплитуда зубца Р эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс		

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ОБЪЕКТИВИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭТАЛОННОГО ...**

X11	амплитуда зубца Q эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	211.) Строки: 32; 43; 52; 84; 89; 119; 146	Строки: 14; 18; 24; 112; 175; 179.
X12	амплитуда зубца R эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	8.M= 7. ( 11.4 < X34 < 12.7 ) Строки: 11; 38; 63; 81; 128; 138; 172	8.M= 6.( 72.8 < X2 < 74.2 ) Строки: 2; 116; 131; 148; 160; 163.
X13	амплитуда зубца S эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	9.M= 7. ( 37.5 < X31 < 41.4 )	9.M= 5.( 4.28 < X24 < 4.81 ) Строки: 14; 29; 84; 150; 175.
X14	амплитуда зубца T эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	Строки: 4; 24; 62; 111; 134; 137; 165	10.M= 5.( -0.4 < X13 < - 0.35 ) Строки: 43; 54; 84; 119; 128.
X15	интервал P-Q эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	10.M= 7. ( 41.75 < X23 < 46.24 ) Строки: 11; 22; 82; 98; 138; 172; 183	11.M= 5.( -0.84 < X13 < - 0.55 ) Строки: 32; 33; 47; 57; 79.
X16	интервал Q-T эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	11.M= 6. ( 51.1 < X30 < 52.6 ) Строки: 17; 29; 35; 57; 158; 178	12.M= 5.( 1.97 < X19 < 2.14 ) Строки: 11; 34; 38; 125; 172.
X17	комплекс QRS эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	12.M= 6. ( 13.71 < X25 < 14.71 )	13.M= 5.( 4.81 < X19 < 5.58 )
X18	амплитуда Q/R эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, ед.	Строки: 17; 136; 137; 148; 151; 178	Строки: 35; 57; 69; 130; 160.
X19	соотношение площадей T/R эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, ед.	13.M= 6. ( 33.87 < X22 < 34.61 ) Строки: 3; 35; 71; 85; 91; 164;	14.M= 5.( 18.8 < X3 < 20. ) Строки: 54; 66; 69; 81; 89.
X20	продолжительность цикла, NN, мс	14.M= 6. ( 91.8 < X2 < 92.8 ) Строки: 14; 18; 24; 112; 175; 179	15.M= 5.( 2.4 < X19 < 2.51 ) Строки: 2; 94; 136; 148; 163.
X21	SDNN, мс	15.M= 6. ( 62. < X2 < 71.9 )	16.M= 4.( 12.64 < X24 < 13.52 ) Строки: 34; 94; 145; 158.
X22	RMSSD, мс	Строки: 22; 51; 125; 145; 146; 183	17.M= 4.( 6.08e-003 < X5 < 8.36e-003 )
X23	pNN50, %	16.M= 6. ( 72.8 < X2 < 74.2 )	Строки: 15; 42; 55; 176.
X24	коэффициент вариации, CV, %	17.M= 5. ( 1.97 < X19 < 2.14 )	18.M= 4.( 8.36e-003 < X5 < 8.87e-003 )
X25	HRVtr.index	Строки: 2; 116; 131; 148; 160; 163	Строки: 18; 56; 107; 179.
X26	Мода, Мо, мс	18.M= 5. ( 2.09e-003 < X5 < 3.71e-003 )	
X27	Амплитуда моды, АМо, %	Строки: 51; 54; 85; 138; 144	
X28	МхDMn, мс	19.M= 5. ( 4.81 < X19 <	
X29	индекс напряжения ИН по Баевскому, ед.		
X30	LFn, %		
X31	HFn, %		
X32	коэффициент вагосимпатического баланса, LF/HF, ед.		

X33	угол наклона фазового портрета, гр.	5.58 )
X34	показатель variability фазового портрета, ед.	Строки: 35; 57; 69; 130; 160 20.M= 5. ( 591. < X20 < 602. )
X35	соотношение T/R, ед.	Строки: 36; 42; 43; 48; 57 21.M= 5. ( 25.4 < X34 < 28.7 )
X36	частота дыхательных движений, цикл/мин. ед.	Строки: 24; 29; 33; 35; 85 22.M= 5. ( 4.28 < X24 < 4.81 )
X37	показатель неравномерности дыхания, ед.	Строки: 14; 29; 84; 150; 175 23.M= 5. ( 25. < X40 < 26.67 )
X38	показатель ТД по ЧД, ед.	Строки: 15; 25; 57; 111; 176 24.M= 5. ( 0.76 < X12 < 0.81 )
X39	напряжение CO2 в последней фракции выдыхаемого воздуха, мм рт. ст.	Строки: 18; 62; 116; 157; 179 25.M= 4. ( 90.1 < X2 < 90.9 )
X40	мертвое пространство, %	Строки: 19; 52; 89; 180 26.M= 4. ( 8.36e-003 < X5 < 8.87e-003 ) Строки: 18; 56; 107; 179 27.M= 4. ( 14.5 < X3 < 15.4 ) Строки: 38; 60; 71; 138

Так как параметры ЭК изучаются впервые, диапазоны нормального функционирования не верифицированы. Полученные результаты математического моделирования можно представить графически, что упрощает понимание физиологической значимости параметров ЭК. На рис. 2 отображен наиболее простой случай, когда целевые значения сосредоточены в одном диапазоне значений (от 0,16 до 0,42 мс), характеризующие отклонение от физиологического функционирования. Нецелевых случаев данный фактор не имеет. Это позволяет принять данный диапазон целевых значений как одно из условий достижения цели.

В следующем случае целевые и нецелевые случаи разграничены различными областями их определения. В этом случае необходимо провести линию разграничения по середине этих областей определения (рис. 3). В результате линия разграничения со значением равным  $(0,0087 - (-0,017))/2 = 0,012585$  отделяет область целевых и нецелевых значений, тем самым в некоторой степени компенсируя ограниченный объем анализируемых случаев. При этом физиологическому функционированию будет соответствовать диапазон значений слева от вертикальной оси, а отклонение от физиологического функционирования – справа.

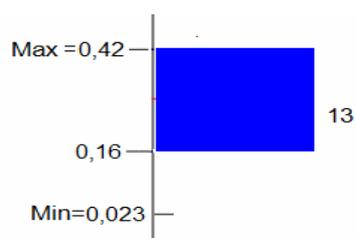


Рис. 2. Фактор X4 – среднее квадратическое отклонение (СКО) симметрии зубца Т эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс

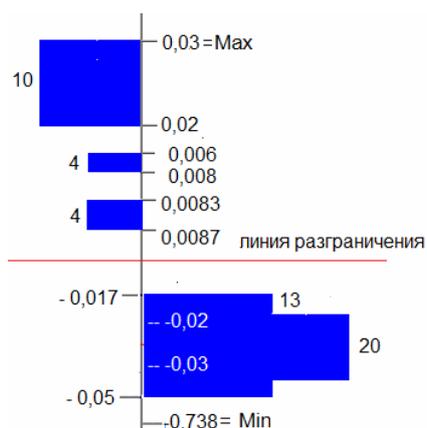


Рис. 3. Фактор X5 – смещение сегмента ST эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс

Аналогичная ситуация наблюдается с факторами X9 и X19 со значениями линии разграничения 0,021 и 1,64 соответственно (рис. 4).

Более сложная и противоречивая ситуация наблюдается с фактором X24— CV – коэффициент вариации (KB),  $KB = \text{СКО} / M \times 100$ , по физиологическому смыслу не отличается от среднего квадратического отклонения, но является показателем, нормированным по частоте пульса. Нормальные значения CV находятся в интервале 3–12 %. Усиление симпатической регуляции – при значениях меньше 3 %. Снижение значений CV обычно происходит при росте психоэмоционального напряжения. Напротив, увеличение этого показателя характеризует рост парасимпатического влияния. В данном случае целевые (Г, Б) и нецелевые (А, В, Д) области чередуются друг с другом и накладываются друг на друга (В и Г) (рис. 5). В этой ситуации мы обязаны из результирующей составляющей (область Г) удалить пересекающуюся часть (показано штрихом). В результате область определения ( $9.58 < X24 < 10.28$ ) уменьшается до величины ( $9.72 < X24 < 10.28$ ).

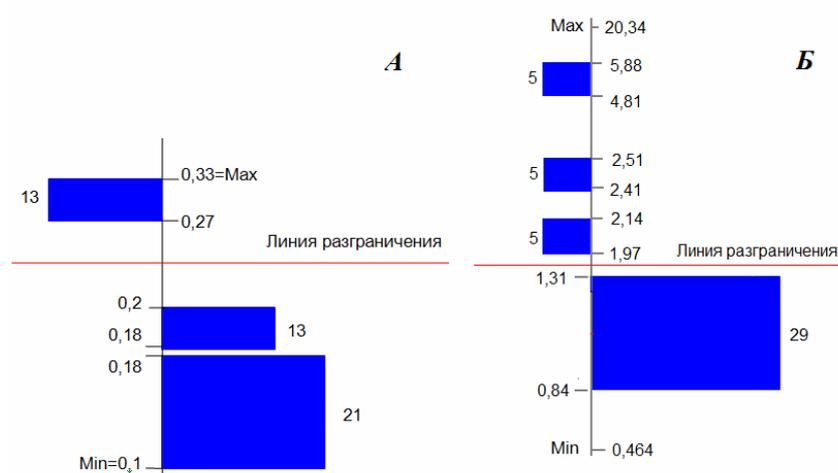


Рис. 4. X9 – продолжительность зубца Т эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс (А), X19 – соотношение площадей Т/R эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, ед. (Б)

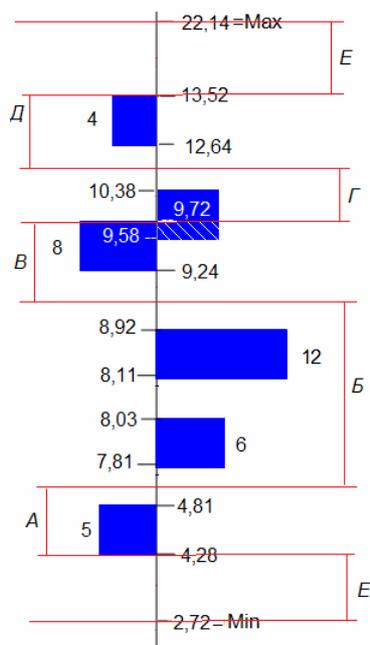


Рис. 5. X24 – коэффициент вариации, CV, %

Наряду с этим на рис. 5 показаны области неопределенности Е (как сверху, так и снизу), которые не анализировались из-за отсутствия данных в указанных

диапазонах. Вероятно, данный показатель, вошедший в результирующие показатели математической модели различий исследуемых обучающихся, информативен, однако требует дальнейшего изучения и уточнения его количественных диапазонов, характеризующих физиологическое функционирование.

Таким образом, было выявлено, что показатели ЭКГ, характеризующие зубцы Т и R, а также показатель суммарного эффекта вегетативной регуляции в определенных диапазонах могут являться маркерами нарушения кардиогемодинамического функционирования у обучающихся при их выявлении в условиях скрининг-исследования, а АМКЛ может явиться эффективным инструментом верифицирования инновационных параметров функционирования и их физиологической интерпретации.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Главные результирующие составляющие полученной математической модели характеризуют сниженные резервы сердечно-сосудистой системы и ее регуляции при скрининг-исследованиях у школьников.
2. Графическое представление полной математической модели позволяет наглядно представить результат и внести коррективы в количественные диапазоны определения факторов и в определенной степени компенсировать недостаточное количество анализируемых случаев.
3. Данная математическая модель представлена несочетанными факторами, что упрощает интерпретацию результата.
4. Представленный аналитический расчет одновременно является методикой анализа и по мере накопления исходных данных позволяет уточнять полученные результаты.
5. Значения факторов в выявленных диапазонах можно считать критерием отклонения от оптимального функционирования, а показатели, принятые в данном анализе за факторы, характеризовать как индикаторы снижения функциональных резервов регуляции кардиогемодинамики у школьников 10–16 лет.
6. Показатель СКО симметрии зубца Т фазового портрета одноканальной ЭКГ, показатели эталонного кардиоцикла – T/R (ед.), смещение ST (мс), показатель продолжительности зубца Т эталонного кардиоцикла и показатель variability сердечного ритма CV (%) можно рассматривать как информативные показатели – индикаторы повышения риска патологии кардиогемодинамического функционирования.

*Результаты получены в рамках проекта «Программы развития ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» на 2015–2024 годы «Поддержка академической мобильности работников университета на заявительной основе – ПМР» ГСУ/2016/7» на базе Медицинского института Тульского Государственного Университета*

Список литературы

1. Yong people's health in context. Health behavior in school aged Children (BSC) study: international report from 2001/2002 survey/ [Ed / Candace Currie et al.] – Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2007. – 270 p.
2. Гайдашев А. Э. Возможности, значение и роль скрининговых исследований в Центрах Здоровья для снижения уровня преждевременной заболеваемости и смертности от сердечно-сосудистых заболеваний / А. Э. Гайдашев, Ю. Ф. Сахно, И. С. Решетников // Функциональная диагностика. – 2010. – № 3 – С. 1–7.
3. Агаджанян Н. А. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Н. А. Агаджанян, Р. М. Баевский, А. П. Берсенева – М.: Изд-во РУДН, 2006. – 284 с.
4. Файнзильберг Л. С. Компьютерная диагностика по фазовому портрету электрокардиограммы / Л. С. Файнзильберг. – К.: Образование Украины, 2013. – 190 с.
5. Хромушин В. А. Оптимизация алгебраической модели конструктивной логики / В. А. Хромушин, В. Ф. Бучель, А. С. Дзасохов, О. В. Хромушин // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2014. – № 1. Публикация 1–1. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/4710.pdf> (Дата обращения: 15.07.2017). DOI: 10.12737/2691
6. Хромушин В. А. Программа построения алгебраических моделей конструктивной логики в биофизике, биологии и медицине / В. А. Хромушин, В. Ф. Бучель, В. А. Жеребцова, Т. В. Честнова // Вестник новых медицинских технологий. – 2008. – № 4. – С. 173–174.
7. Хромушин В. А. Алгоритм и программа анализа результирующих импликант алгебраической модели конструктивной логики // XXXXVI научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава ТулГУ «Общественное здоровье и здравоохранение: профилактическая и клиническая медицина» / В. А. Хромушин, О. В. Хромушин, Е. И. Минаков // Сборник статей. – Тула, 2010. – С. 138–148.
8. Хромушин В. А. Методология обработки информации медицинских регистров / В. А. Хромушин. – Тула. – 2005. – 120 с.
9. Хромушин В. А. Информатизация здравоохранения / В. А. Хромушин, А. В. Черешнев, Т. В. Честнова. – Уч.пос.Тула: Изд-во ТулГУ, 2007. – 207 с.
10. Минина Е. Н. Оптимизация скрининг-оценки кардиогемодинамики с использованием алгебраической модели конструктивной логики / Е. Н. Минина; под ред. проф. А. А. Хадарцева, В. А. Хромушина. – М.: Русайнс, 2017. – 144 с.
11. Китанина К. Ю. Разработка методики углубленного многофакторного анализа первичной инвалидности с использованием усовершенствованной методики обобщенной оценки показателей здравоохранения и алгебраической модели конструктивной логики / К. Ю. Китанина, В. А. Хромушин, О. И. Литвяк, Е. Н. Овсянникова // Медико-социальные проблемы инвалидности. – 2012. – №4. – С. 40–45.
12. Ранцева Л. К. Алгоритм обобщенной оценки отклонений от значения медицинских факторов в норме / Л. К. Ранцева, К. А. Хадарцева, К. Ю. Китанина, В. А. Хромушин // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2016. – № 3. Публикация 1–4. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2016-3/1-4.pdf> (дата обращения: 24.08.2016). DOI:10.12737/ 21276.
13. Ранцева Л. К. Алгоритм и программа расчета обобщенной оценки отклонений от значения факторов в норме / Л. К. Ранцева, К. А. Хадарцева, К. Ю. Китанина, В. А. Хромушин // Инновации в науке: сб. ст. по матер. LVIII междунар. науч.-практ. конф. – № 6 (55). – Новосибирск: СибАК, 2016. – С. 58–68.
14. Ранцева Л. К. Способ сравнительного многофакторного анализа в медицине с использованием алгебраической модели конструктивной логики / Л. К. Ранцева, К. А. Хадарцева, К. Ю. Китанина, В. А. Хромушин // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2016. – № 2. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2016-2/1-4.pdf>.
15. Минина Е. Н. Анализ волны Т ЭКГ в фазовом пространстве в определении функциональных резервов миокарда / Е. Н. Минина // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. – 2013. – Т. 26 (65), № 2. – С.148–153.

16. Минина Е. Н. Фазовый портрет одноканальной ЭКГ в оценке функциональных резервов сердечно-сосудистой системы / Е. Н. Минина, Л. С. Файнзильберг // Вестник новых медицинских технологий. – 2014. – Т. 21–3. – С. – 22–27.
17. Файнзильберг Л. С. Исследование диагностической ценности угла ориентации фазового портрета одноканальной ЭКГ как индикатора функционального состояния миокарда / Л. С. Файнзильберг, Е. Н. Минина // Клиническая информатика и телемедицина. – 2013. – Т. 9, № 10. – С. 33–42.
18. Файнзильберг Л. С. Оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы по величине разброса фазовых траекторий одноканальной ЭКГ / Л. С. Файнзильберг, Е. Н. Минина // Кибернетика и вычислительная техника. – 2014. – № 1. – С. 5–19.
19. Минина Е. Н. Анализ функционального состояния сердечно-сосудистой системы по совокупности признаков фазового портрета одноканальной ЭКГ // Е. Н. Минина, Л. С. Файнзильберг // Российский кардиологический журнал. – 2015. – Т. 12 (128). – С. 7–13.
20. Минина Е. Н. Фазовый портрет одноканальной ЭКГ в оценке функциональных резервов сердечно-сосудистой системы // Е. Н. Минина, Л. С. Файнзильберг // Вестник новых медицинских технологий. – 2014. – Т. 21, №3. – С. 22–26.

### PHYSIOLOGICAL OBJECTIFICATION OF THE REFERENCE CARDIAC CYCLE OF A SINGLE-CHANNEL ECG's PARAMETERS USING THE ALGEBRAIC MODEL OF CONSTRUCTIVE LOGIC

*Minina E. N.*

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation  
E-mail: cere-el@yandex.ru*

Identify the level of functional reserves of the myocardium and quantitative assessment has important diagnostic value in the timely prevention of heart disease, with optimal dosing of physical exercise, sports tensions and determining the effectiveness of rehabilitation measures. The indicators of the reference cardiac cycle can be used as a estimation criterion of the functional reserves of the myocardium and efficiency of correction influences, and the construction of a mathematical model using algebraic models of constructive logic (AMCL) is an effective method of change markers verification.

Multivariate analysis, including algebraic model of constructive logic, is often used in medical practice and biological research. To carry out such studies, it is necessary a array of source information (analyzed cases) and purpose, which is most often selected one of the values of the factors. At the same time, in the practice of analytical calculations there are cases when the target value cannot be set explicitly. The proposed method is based on counting the number of instances of each value of each factor and their share in the total number of cases. The product of the assessed values of each involved factor, compared with the set of the threshold value, determines a value corresponding to the achievement of the goal. To confirm the proposed method on the array of 7440 indicators, the authors built a mathematical model using algebraic model of constructive logic. Evaluation of a mathematical model confirmed the performance of the proposed method of calculating the target value, since the simulation results are most consistent with known estimates obtained by other methods.

At the same time, the presented analytical calculation is an analysis technique and, as the initial data accumulates, allows us to refine the results. The values of the factors identified in the bands can be considered as the criterion of deviation from the optimal functioning, and the indicators adopted in this analysis as factors, characterized as a decrease in indicators of functional reserves cardiohemodynamics regulation among students of 10–16 years old. The indicator of the RMS  $\beta_T$  of the phase portrait of the single-channel ECG, the parameters of the reference cardiac cycle – T / R (unit), ST offset (ms), duration of the T wave of the reference cardiac cycle and heart rate variability CV (%) can be considered as informative indicators of increased the risk of cardiohemodynamic functioning's pathology.

**Keywords:** reference cardiocycle, algebraic model of constructive logic, cardiorespiratory system, the range of physiological functioning.

### References

1. *Yong people's health in context*. Health behavior in school aged Children BSC) study: international report from 2001/2002 survey/ [Ed / Candace Currie et al.], 270 (Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2007).
2. Gajdashev A. HE., Sahnou YU. F., Reshetnikov I. S. Vozmozhnosti, znachenie i rol' skringingovyh issledovanij v Centrah Zdorov'ya dlya snizheniya urovnya prezhddevremennoj zabolevaemosti i smertnosti ot kardiovaskulyarnyh zabolevanij, *Funkcional'naya diagnostika*, **3**, 1 (2010).
3. Agadzhanyan N. A., Baeuskij P. M., Berseneva A. P. *Ocenka adaptacionnyh vozmozhnostej organizma i risk razvitiya zabolevanij*, 284 (M.: Izd-vo RUDN, 2006).
4. Fajnzil'berg L. S. *Komp'yuternaya diagnostika po fazovomu portretu ehlektrokardiogrammy*, 190 (K. Osvita Ukrainy, 2013).
5. Hromushin V. A., Buchel' V. F., Dzasohov A. S., Hromushin O. V. Optimizaciya algebraicheskoy modeli konstruktivnoj logiki, *Vestnik novyh medicinskih tekhnologij*. EHlektronnoe izdanie, 2014, **1**. Publikaciya 1-1. URL: <http://www.medsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/4710.pdf> (Data obrashcheniya: 15.07.2017). DOI: 10.12737/2691
6. Hromushin V. A., Buchel' V. F., Zherebcova V. A., Chestnova T. V. Programma postroeniya algebraicheskikh modelej konstruktivnoj logiki v biofizike, biologii i medicine, *Vestnik novyh medicinskih tekhnologij*, **4**, 173 (2008).
7. Hromushin V. A., Hromushin O. V., Minakov E. I. Algoritm i programma analiza rezul'tiruyushchih implikant algebraicheskoy modeli konstruktivnoj logiki, *XXXXVI nauchno-prakticheskaya konferenciya professorsko-prepodavatel'skogo sostava TulGU «Obshchestvennoe zdorov'e i zdavoohranenie: profilakticheskaya i klinicheskaya medicina»*, 138 (Sbornik statej. Tula, 2010).
8. Hromushin V. A. *Metodologiya obrabotki informacii medicinskih registrov*, 120 (Tula. 2005).
9. Hromushin V. A., Chereshnev A. V., Chestnova T. V. *Informatizaciya zdavoohraneniya*, 207 (Uch.pos.Tula: Izd-vo TulGU, 2007).
10. Minina E. N. Optimizaciya skringing-ocenki kardiogemodinamiki s ispol'zovaniem algebraicheskoy modeli konstruktivnoj logiki», pod red. prof. A. A. Hadarceva, V. A. Hromushina, 144 (Moskva : RUSAJNS, 2017).
11. Kitanina K. YU., Hromushin V. A., Litvyak O. I., Ovsyannikova E. N. Razrabotka metodiki uglublennogo mnogofaktornogo analiza pervichnoj invalidnosti, s ispol'zovaniem usovershenstvovannoj metodiki obobshchennoj ocenki pokazatelej zdavoohraneniya i algebraicheskoy modeli konstruktivnoj logiki, *Mediko-social'nye problemy invalidnosti*, **4**, 40 (2012).
12. Ranneva L. K., Hadarceva K. A., Kitanina K. YU., Hromushin V. A. Algoritm obobshchennoj ocenki otklonenij ot znacheniya medicinskih faktorov v norme, *Vestnik novyh medicinskih tekhnologij*. EHlektronnoe izdanie, **3**, 2016. Publikaciya 1-4. URL: <http://www.medsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2016-3/1-4.pdf> (data obrashcheniya: 24.08.2016). DOI:10.12737/ 21276.

13. Ranneva L. K., Hadarceva K. A., Kitanina K. YU., Hromushin V. A. Algoritm i programma raschyota obobshchyonnoj ocenki otklonenij ot znacheniya faktorov v norme, *Innovacii v nauke: sb. st. po mater. LVIII mezhdunar. nauch.-prakt. konf.*, **6(55)**, 58 (Novosibirsk: SibAK, 2016).
14. Ranneva L. K., Hadarceva K. A., Kitanina K. YU., Hromushin V. A. Sposob sravnitel'nogo mnogofaktornogo analiza v medicine s ispol'zovaniem algebraicheskoj modeli konstruktivnoj logiki, *Vestnik novyh medicinskih tekhnologij. EHlektronnoe izdanie*, **2**, 2016. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2016-2/1-4.pdf>.
15. Minina E.N. Analiz volny T EHKG v fazovom prostranstve v opredelenii funkcional'nyh rezervov miokarda, *Uchenye zapiski Tavricheskogo nacional'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo*, 26 (65), **2**, 148 (2013).
16. Minina E. N., Fajnzil'berg L. S. Fazovyy portret odnokanal'noj EHKG v ocenke funkcional'nyh rezervov serdechno-sosudistoj sistemy, *Vestnik novyh medicinskih tekhnologij*, **21-3**, 22 (2014).
17. Fajnzil'berg L. S., Minina E. N. Issledovanie diagnosticheskoy cennosti ugla orientacii fazovogo portreta odnokanal'noj EHKG kak indikatora funkcional'nogo sostoyaniya miokarda, *Klinicheskaya informatika i telemedicina.*, 9, **10**, 33 (2013).
18. Fajnzil'berg L. S., Minina E. N. Ocenka funkcional'nogo sostoyaniya serdechno-sosudistoj sistemy po velichine razbrosa fazovyh traektorij odnokanal'noj EHKG, *Kibernetika i vychislitel'naya tekhnika*, **1**, 5 (2014).
19. Minina E. N., Fajnzil'berg L. S. Analiz funkcional'nogo sostoyaniya serdechno-sosudistoj sistemy po sovokupnosti priznakov fazovogo portreta odnokanal'noj EHKG, *Rossijskij kardiologicheskij zhurnal.*, **12** (128), 7 (2015).
20. Minina E. N., Fajnzil'berg L. S. Fazovyy portret odnokanal'noj EHKG v ocenke funkcional'nyh rezervov serdechno-sosudistoj sistemy, *Vestnik novyh medicinskih tekhnologij.*, **21-3**, 22 (2014).