

УДК 681.513.8

## **ВЫДЕЛЕНИЕ КЛАСТЕРОВ И ПОСТРОЕНИЕ КЛАССИФИКАТОРОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА**

Е.А.Настенко, А.Л.Бойко, В.А.Павлов, А.О.Коновал, В.В.Рыбачук, Ю.И.Шемберко

*Национальный технический университет Украины  
Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского*

*nastenko@inbox.ru, vpavlo@bk.ru, anna\_anna2612@mail.ru,  
alexandra.konoval@gmail.com, eclipsepantherx@gmail.com, princesoft@mail.ru*

В роботі проведено виділення кластерів функціонального стану серцево-судинної системи на вибірці молодих людей віку 17-20 років. Розроблено дискримінантні функції для областей простору станів, що було виділено. Для побудови класифікаторів застосовано алгоритми методу групового урахування аргументів.

*Ключові слова: функціональний стан, серцево-судинна система, класифікація, моделювання, дискримінантний аналіз, методи групового урахування аргументів (МГУА).*

In the work was constructed the functional state of the cardiovascular system clusters on a sample of young people aged 17-10 years. It was obtained the discriminant functions for areas of state space that has been allocated. The Method of Data Handling algorithms have been used to construct classifiers.

*Keywords: functional status, cardiovascular system, classification, modeling, discriminant analysis., Group Method of Data Handling (GMDH)*

В работе проведено выделение кластеров функционального состояния сердечно-сосудистой системы на выборке молодых людей возраста 17-20 лет. Разработаны дискриминантные функции для выделенных областей пространства состояний. Для построения классификаторов применены алгоритмы метода группового учета аргументов.

*Ключевые слова: функциональное состояние, сердечно-сосудистая система, классификация, моделирование, дискриминантный анализ, методы группового учета аргументов (МГУА).*

### **Введение.**

По данным ВОЗ сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются основной причиной смерти человека. При этом за последние десятилетия в Украине наблюдается выраженное смещение проявления ССЗ во все более молодом возрасте. В связи с этим стала актуальной задача исследования структуры вероятных областей функционального состояния ССС молодых людей в Украине.

Вопрос классификации функциональных состояний (ФС) систем организма в настоящее время, как правило, решается путем установления пределов или интервалов значений измеряемых индикаторных показателей и интерпре-

тацией полученных "континуумов" [1], как некоторых одно- или многомерных областей пространства состояний.

Характерными примерами такого подхода есть классификация функциональных состояний по нагрузочным тест-пробам Мартинэ, Новакки, Купера, Руфье [2], классификация психоэмоциональной устойчивости на основе факторной структуры показателей variability сердечного ритма [3]. Не отрицая очевидную полезность создания различных вариантов классификаций для анализа состояний сложных систем, отметим, что такой подход в первую очередь отражает субъективную точку зрения авторов методик на количественный состав, а также качественную интерпретацию выделяемых подмножеств функциональных состояний. При этом игнорируются объективно существующие распределения, характеристики плотностей данных в классах в пространстве параметров, характеризующих объекты. В то же время, учет именно данных характеристик должен позволить выделять объективно существующие подмножества состояний и интерпретация именно этих подмножеств (с учетом опыта ранее созданных классификаций) должна позволить создать вариант классификации объективно существующих классов функциональных состояний. При выделении кластеров необходимо корректно решить вопросы выбора состава переменных пространства состояния анализируемой системы, метода выделения кластеров состояний, мер близости и качества группировки, что в итоге и определит точку зрения на степень общности полученных результатов классификации.

### **Постановка задачи.**

Целью работы является выделение, исследование и построение классификаторов устойчивых (типичных) функциональных состояний ССС в пространстве тройки переменных: систолическое давление, диастолическое давление, пульс ( $P_s$ ,  $P_d$ , PULS) при стандартных нагрузочных характеристиках - 20 приседаний. Характеристики  $P_s$ ,  $P_d$ , PULS для каждого объекта измерялись до нагрузки, сразу после нагрузки и затем 4 измерения последовательно через минуту. Таким образом формируется пространство переменных размерности  $3 \times 6 = 18$  измерений. Выбор указанных переменных определен высокой информативностью реакции на нагрузку в пространстве давление-пульс для характеристики функционального состояния ССС человека [2].

Тест проводился для групп молодых людей возраста 17-20 лет предварительно прошедших медицинское обследование при приеме в ВУЗ. Величина выборки: юноши - 798 испытуемых, девушки - 618 испытуемых.

В настоящей работе предлагается аппроксимация областей функционального состояния сердечно-сосудистой системы человека сферическими формами, что позволяет применить для выделения кластеров состояния метод "k-средних". Затем построим классификаторы выделенных классов функционального состояния, что позволит в дальнейшем соотносить объекты с своей областью и определять его попадание в группы риска заболеваний ССС. Продолже-

ние исследований авторов будут направлены на определение целесообразных форм воздействия на объекты с целью оптимизации их функционального состояния.

### **Основная часть.**

#### **Выделение кластеров состояния ФС ССС.**

В предположении о допустимости сферической аппроксимации областей ФС ССС и задании их количества, задачу выделения кластеров состояний может успешно решать метод "k-средних". Ответ на ключевой вопрос о количестве кластеров может быть решен с помощью задания меры допустимого отличия центроидов кластеров  $\mu$  в итерационной процедуре сходимости k-средних. Задав значение относительной меры отличия  $\mu = \hat{\mu} \%$  и решая последовательно процедуру выделения кластеров, начиная с их количества  $k$ , при котором существуют кластеры с мерой отличия центроидов  $\mu \leq \hat{\mu} \%$ , получим искомое решение при первом  $k$ , для которого существуют только кластеры с мерой отличия  $\mu > \hat{\mu} \%$ . В настоящей работе предложен итерационный алгоритм сферической аппроксимации областей функционального состояния реакции на нагрузку сердечно-сосудистой системы человека с использованием метода "k-средних" с процедурой Болла-Холла. При задании меры отличия  $\mu = 5 \%$  для выборки юношей было выделено 7 кластеров состояния, для выборки девушек - 8 кластеров состояния.

#### **Построение классификаторов кластеров ФС ССС**

Стандартный подход для решения задач классификации для  $M > 2$  классов предполагает построение дискриминантных функций для каждого класса или разделяющих  $M$  границ по принципу "один против всех". Ниже мы рассмотрим данный подход, однако анализ расположения средних "АДС", "пульс" в состояниях "покой", "нагрузка", "первая мин. отдыха", ..., "четвертая мин. отдыха" позволяет предполагать наличие более эффективной структуры классифицирующей системы - см. рис.1 и рис.2 .

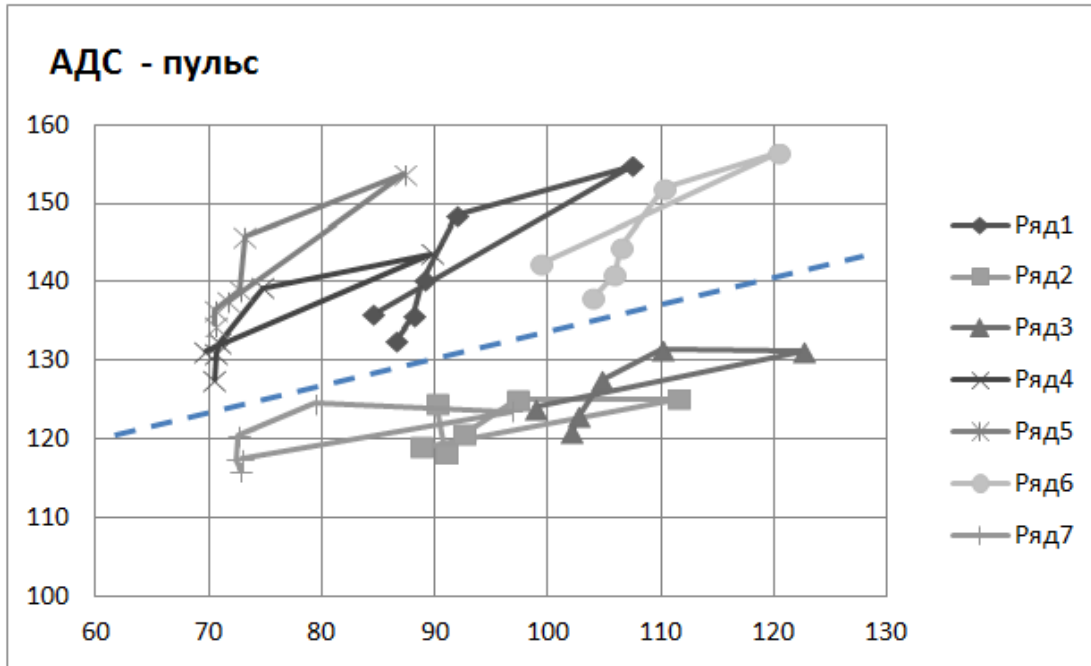


Рис. 1. Распределение центров "АДС", "пульс" кластеров 6-ти моментов измерения (М)

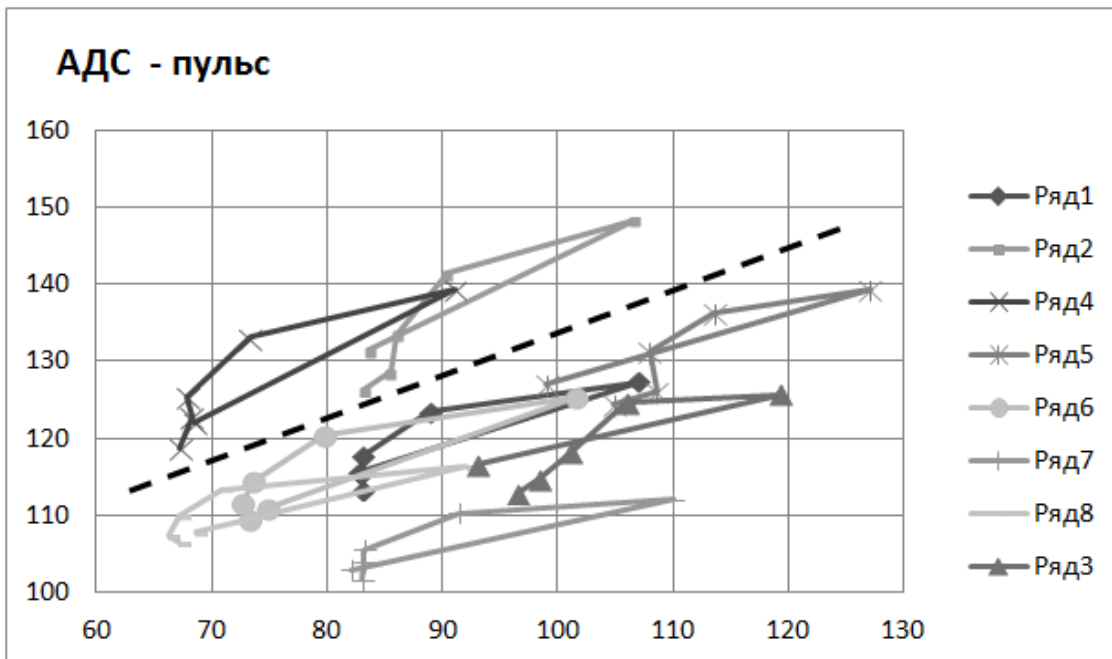


Рис. 2. Распределение центров "АДС", "пульс" кластеров 6-ти моментов измерения (Ж)

Действительно, расположение указанных 6-ти средних позволяет предложить вариант структуры классификатора с предварительным групповым делением для кластеров 2,3,7/1,4,5,6 для мужчин и для кластеров 2,4 /1,3,5,6,7,8 для женщин. Ниже проведено сравнение для указанных структурных решений и выбран более эффективный вариант.

Используемые обозначения переменных:

- Ps0 - систолическое давление в состоянии покоя,
- Pd0 - диастолическое давление в состоянии покоя,
- PULS0 - частота сердечных сокращений в состоянии покоя,
- Ps1 - систолическое давление во время нагрузки,
- Pd1 - диастолическое давление во время нагрузки,
- PULS1 - частота сердечных сокращений во время нагрузки,
- Ps2 - систолическое давление через 1 мин. после нагрузки,
- Pd2 - диастолическое давление через 1 мин. после нагрузки,
- PULS2 - частота сердечных сокращений через 1 мин. после нагрузки,
- Ps3 - систолическое давление через 2 мин. после нагрузки,
- Pd3 - диастолическое давление через 2 мин. после нагрузки,
- PULS3 - частота сердечных сокращений через 2 мин. после нагрузки,
- Ps4 - систолическое давление через 3 мин. после нагрузки,
- Pd4 - диастолическое давление через 3 мин. после нагрузки,
- PULS4 - частота сердечных сокращений через 3 мин. после нагрузки,
- Ps5 - систолическое давление через 4 мин. после нагрузки,
- Pd5 - диастолическое давление через 4 мин. после нагрузки,
- PULS5 - частота сердечных сокращений через 4 мин. после нагрузки

Кроме того, линейное признаковое пространство расширено нелинейными переменными квадрат ( $\_Sqr$ ), единица делённая на переменную( $\_inv$ ), единица делённая на переменную в квадрате( $\_inv\_sqr$ ) и их произведениями.

Построение классификаторов проводилось нормальным дискриминантным анализом и методом группового учета аргументов МГУА[4] - версией COMBI пакета GMDH SHELL [5]. Расчеты проведены для структур классифицирующей систем "один против всех" и с предварительным делением на группы кластеров (рис.3 и 4).

Показатели качества классификации полученные дискриминантным анализом оказались существенно ниже показателей, полученных пакетом GMDH SHELL, поэтому далее обсуждаются решения, полученные в последнем случае. Ниже приведены таблицы 1 и 2 сравнения качества решений, полученных на всей выборке данных для структур классифицирующей системы "один против всех" и с предварительным делением кластеров на подгруппы. Под сложностью классификатора понимается количество аргументов модели.

Таблица. 1.

Точность и сложность методов классификации без разделения и с разделением по группам (М)

Без разделения	Класс	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
	Точность, %	81,3	78,6	88,3	83,5	86,1	91,4	86,6
	Сложность	10	11	10	12	11	12	14
С разделением	Класс	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>			

Группа 1					
	Точность, %	78,4	85,7	79,9	90,7
	Сложность	7	10	12	11
Группа 2	Класс	2	3	7	
	Точность, %	68,2	84,1	84,4	
	Сложность	6	11	6	

Таблица. 2.

Точность и сложность методов классификации без разделения и с разделением по группам (Ж)

Без разделения	Класс	1	2	3	4	5	6	7	8
	Точность, %	75,9	89	84,8	90,9	93,7	81,2	84,3	93,5
	Сложность	20	9	8	22	12	16	10	29
С разделением									
Группа 1	Класс	1	3	5	6	7	8		
	Точность, %	76,1	90,1	90,5	75,9	88,4	85,8		
	Сложность	15	18	19	17	20	12		
Группа 2	Класс	2	4						
	Точность, %	92,7	92,7						
	Сложность	5	5						

Анализ результатов табл. 1 и 2 не позволяет принять однозначное решение в пользу одной из структур. Приведем аналогичную сравнительную таблицу рассчитанную только для экзаменационной выборки - таблицы 3 и 4.

Таблица. 3.

Точность и сложность методов классификации без разделения и с разделением по группам на экзаменационной выборке (М)

Без разделения	Класс	1	2	3	4	5	6	7
	Точность, %	80	81	85	84	87	91	82
	Сложность	10	11	10	12	11	12	14
С разделением								
Группа 1	Класс	1	4	5	6			
	Точность, %	80,5	82,4	85,2	92,9			
	Сложность	7	10	12	11			
Группа 2	Класс	2	3	7				
	Точность, %	76,5	90,6	88,7				
	Сложность	6	11	6				

Таблица. 4.

Точность и сложность методов классификации без разделения и с разделением по группам на экзаменационной выборке (Ж)

Без разделения	Класс	1	2	3	4	5	6	7	8
	Точность, %	71,8	92,7	85,5	92,7	91,1	79	85,5	94,4
	Сложность	20	9	8	22	12	16	10	29
С разделением Группа 1	Класс	1	3	5	6	7	8		
	Точность, %	79	92	84,4	79	87	83,6		
	Сложность	15	18	19	17	20	12		
Группа 2	Класс	2	4						
	Точность, %	93,8	93,8						
	Сложность	5	5						

При близких суммарных показателях качества классификации обеих структур некоторое преимущество на экзамене демонстрирует структура с делением кластеров на подгруппы. Кроме того разбиение на подгруппы позволило получить более простые классификаторы, обладающие лучшей обобщающей способностью. Структуры систем классификации приведены на рис. 3 и 4. Как альтернативы, возможно рассматривать комбинированные структуры, использующие механизмы принятия решения по схемам "голосования" классификаторов, либо отдавая предпочтения решению той структуры для которой результаты классификации на данном классе по предистории выше.

Ниже (рис.3) приведена система классификации ФС ССС человека (мужчины) с предварительным делением кластеров на подгруппы.

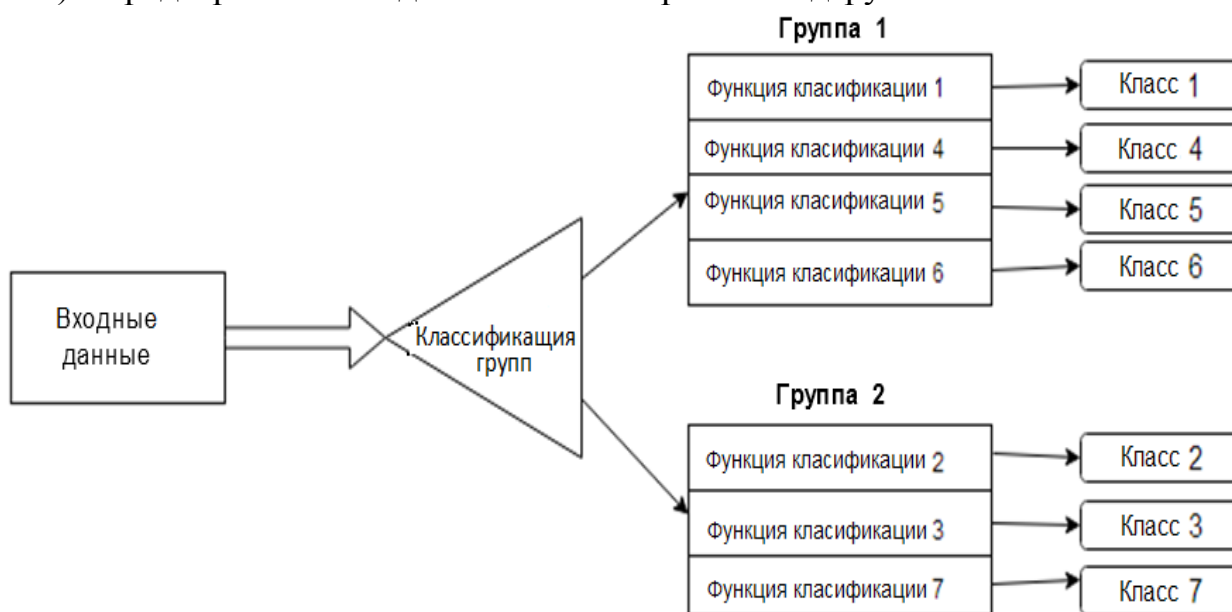


Рис.3. Структура классифицирующей системы с делением на подгруппы кластеров (м)

Выражение классификатора предварительной группировки имеет вид

$$Y_0 = 4.98916 + \sqrt[3]{Ps0} \times \sqrt[3]{Ps4} \times (-0.062979) + \sqrt[3]{PULS2}^2 \times \sqrt[3]{Pd2} \times (0.0297421) + \sqrt[3]{Pd1} \times \sqrt[3]{Pd4} \times (-0.107428) + \sqrt[3]{Ps2} \times \sqrt[3]{Ps4} \times (-0.0618837) + \sqrt[3]{PULS0} \times \sqrt[3]{PULS1} \times (0.0417754) + \sqrt[3]{Ps1} \times \sqrt[3]{Pd3} \times (-0.0505942) + \sqrt[3]{Pd0} \times \sqrt[3]{Ps3} \times -0.0440317 + \sqrt[3]{Pd1} \times \sqrt[3]{Pd3} \times (0.0470297) + \sqrt[3]{Ps2} \times \sqrt[3]{Pd3} \times (0.0301854) + \sqrt[3]{PULS4} \times \sqrt[3]{PULS5} \times (-0.014689) + \sqrt[3]{PULS3} \times \sqrt[3]{Ps5} \times (0.00939008) + \sqrt[3]{PULS0} \times \sqrt[3]{Pd2} \times (-0.0152999)$$

Процент правильного распознавания группы 237 :  $P_{237} = 90,7\%$

Процент правильного распознавания группы 1456 :  $P_{1456} = 94,4\%$

Выражения классификаторов в группе кластеров 237 имеют вид

$$Y_2 = -17919.7 + PULS3 \times 1845.73 + PULS3 \times \sqrt[3]{PULS3} \times (-160.812) + PULS3^2 \times 0.571008 + \sqrt[3]{PULS3} \times 20246.4 + \sqrt[3]{PULS3}^2 \times (-8897.75)$$

$$Y_3 = 2.37737 + \sqrt[3]{Pd2} \times \sqrt[3]{PULS2} \times 0.135584 + PULS0 \times PULS3 \times (-0.0000563237) + \sqrt[3]{PULS0} \times \sqrt[3]{PULS3} \times 0.0926492 + Pd3 \times PULS5 \times 0.000753389 + Pd0 \times PULS0 \times 0.000171742 + \sqrt[3]{Pd3} \times \sqrt[3]{PULS5} \times (-0.688311) + PULS1 \times Pd3 \times (-0.000245262) + \sqrt[3]{PULS1} \times \sqrt[3]{Pd3} \times 0.275201 + \sqrt[3]{Pd0} \times \sqrt[3]{PULS0} \times (-0.132315) + \sqrt[3]{PULS2} \times \sqrt[3]{Pd5} \times (-0.00991845)$$

$$Y_7 = 3.0001 + PULS3 \times (-0.0127858) + PULS2 \times (-0.00581896) + Pd4 \times (-0.00945972) + PULS0 \times (-0.00506432) + Pd0 \times 0.00213738$$

Показатели качества распознавания в группе 237 (без учета предварительного деления на группы) кластеров 2,3 и 7 соответственно равны

$$P_2=75,2\% \quad P_3=92,7\% \quad P_7=93\%$$

Выражения классификаторов в группе кластеров 1456 имеют вид

$$Y_1 = 20.1046 + Pd1 \times 0.00709713 + PULS1^{-2} \times (-3050.98) + PULS4^2 \times (-0.000566445) + PULS4^{-1} \times (-1918.51) + PULS4^{-2} \times (49366.8)$$

$$Y_4 = -0.582611 + Pd5 \times (-0.0156679) + PULS4^{-1} \times 30.5209 + Ps1 \times (-0.00338686) + PULS1 \times (-0.013506) + Pd0^{-1} \times 205.4 + PULS0^{-1} \times 28.2518 + PULS1^{-1} \times (-70.3957) + Pd1 \times (-0.00480251) + Pd0 \times 0.0223952$$

$$Y_5 = 22.935 + Pd0^{-1} \times (-552.983) + PULS4 \times (-0.0452673) + PULS4^{-1} \times (-224.702) + Pd5^{-1} \times (-239.922) + Pd5 \times (-0.0295188) + PULS1^{-1} \times 46.7574 + Pd4 \times 0.00910013 + Pd2^{-1} \times 37.0229 + PULS3 \times (-0.00325721) + Pd0 \times (-0.0651269) + Ps1 \times 0.00134974$$



$$Y_6 = 10.2049 + PULS4 \times Pd5 \times 0.00008627 \cdot 26 + PULS2 \times PULS5 \times (-0.000294 \cdot 756) + \\ \sqrt[3]{Pd0} \times \sqrt[3]{PULS1} \times 0.0346836 + \sqrt[3]{PULS5} \times (-3.96372) + PULS5 \times \sqrt[3]{PULS2} \times 0.0217552 + \\ Pd2 \times PULS4 \times 0.00006244 \cdot 17 + Pd2 \times PULS3 \times (-0.000011 \cdot 3083) + Pd4 \times \sqrt[3]{Pd0} \times 0.0018325 + \\ Pd2 \times \sqrt[3]{Pd3} \times (-0.001058 \cdot 64) + Pd4 \times \sqrt[3]{Pd5} \times (-0.00120 \cdot 934)$$

Показатели качества распознавания в группе 1456 (без учета предварительного деления на группы) кластеров 1,4,5 и 6 соответственно равны

$$P_1=83\% \quad P_4=90,8\% \quad P_5=84,6\% \quad P_6=96,1\%$$

Окончательные показатели качества классификации с учетом качества предварительного классификатора приведены в таблице 1.

Система классификации функционального состояния сердечно-сосудистой системы человека (женщины) приведена на рис.4

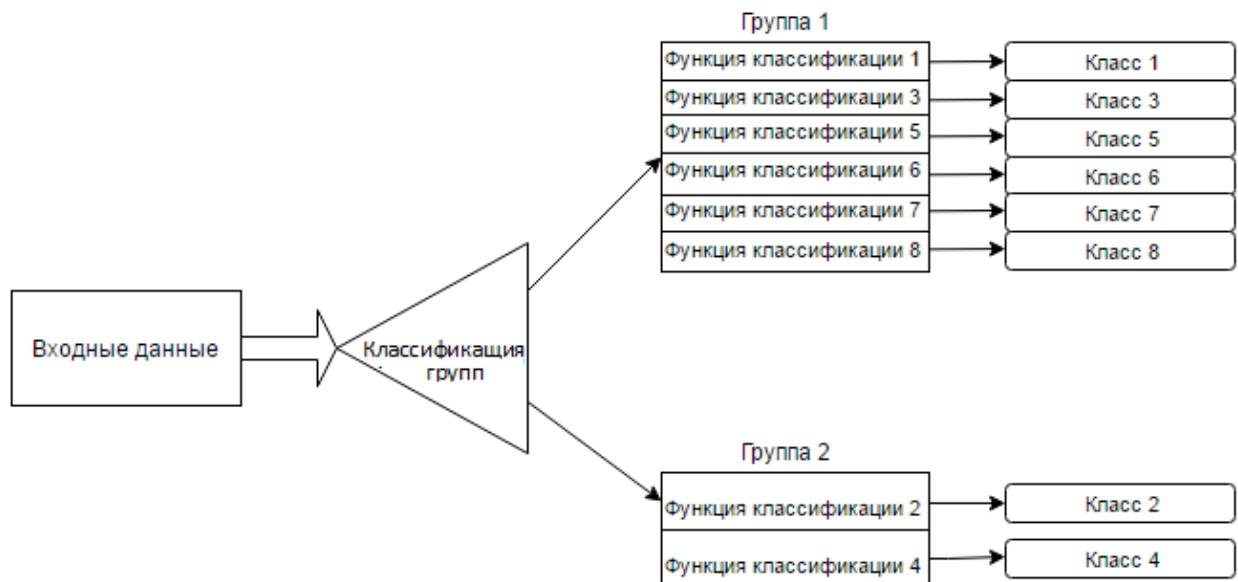


Рис.4. Структура классифицирующей системы с делением на подгруппы кластеров (ж)

Выражение классификаторов предварительной группировки кластеров имеет вид:

$$Y_0 = -3.45697 + Pd0 \times Ps1 \times 6.73593e^{-05} + PULS1 \times PULS5 \times (-0.000467 \cdot 265) + Pd2 \times Ps3 \\ \times 0.00005530 \cdot 29 + Pd5 \times 0.0660001 + Ps0 \times Ps2 \times 0.00002891 \cdot 74 + PULS1 \times Pd5 \times (-0.000552 \cdot 107) \\ + PULS1^2 \times 0.00033821 \cdot 5 + PULS5^2 \times 0.00046934 + PULS4 \times PULS5 \times (-0.000281 \cdot 115) \\ + PULS4 \times 0.0188646 + PULS5 \times (-0.010373 \cdot 2) + Ps4 \times Pd4 \times (-0,000007 \cdot 46336)$$

Процент правильного распознавания группы 135678 :  $P_{135678}=95,5\%$

Процент правильного распознавания группы 24 :  $P_{24}=93,9\%$

Выражения классификаторов в группе кластеров 24 имеют вид

$$Y_2 = 4.69301 + \sqrt[3]{PULS1} \times \sqrt[3]{PULS4} \times (-2.48697) + \sqrt[3]{PULS1}^2 \times 1.1564 + \sqrt[3]{PULS2} \times \sqrt[3]{PULS5} \times (-0.173837) + \sqrt[3]{PULS4}^2 \times 1.30955$$

$$Y_4 = -3.69301 + \sqrt[3]{PULS1} \times \sqrt[3]{PULS4} \times 2.48697 + \sqrt[3]{PULS1}^2 \times (-1.1564) + \sqrt[3]{PULS2} \times PULS5 \times 0.173837 + \sqrt[3]{PULS4}^2 \times (-1.30955)$$

Показатели качества распознавания в группе 24 ( без учета предварительного деления на группы ) кластеров 2,и 4 соответственно равны

$$P_2=98,8\% \quad P_4=98,8\%$$

Выражения классификаторов в группе кластеров 135678 имеют вид

$$Y_1 = -84.2987 + \sqrt[3]{Pd3} \times \sqrt[3]{Pd5} \times 0.137465 + \sqrt[3]{PULS1} \times \sqrt[3]{PULS4} \times (-2.06759) + \sqrt[3]{Ps4} \times \sqrt[3]{Pd4} \times 0.0847837 + \sqrt[3]{PULS3} \times \sqrt[3]{Pd4} \times (-0.0813386) + \sqrt[3]{Ps1} \times \sqrt[3]{Pd4} \times 0.0758892 + \sqrt[3]{PULS4} \times 22.6396 + \sqrt[3]{PULS1} \times 13.3947 + \sqrt[3]{PULS4}^2 \times (-1.48995) + \sqrt[3]{PULS1}^2 \times (-0.492267) + \sqrt[3]{PULS0} \times \sqrt[3]{Ps3} \times 0.0736156 + \sqrt[3]{Pd2} \times \sqrt[3]{Ps5} \times (-0.0539469) + \sqrt[3]{Pd0} \times \sqrt[3]{Pd2} \times 0.033389 + \sqrt[3]{Pd5} \times \sqrt[3]{PULS5} \times (0.00792865) + \sqrt[3]{Ps2} \times \sqrt[3]{Pd4} \times (-0.00928874)$$

$$Y_3 = 22.0542 + \sqrt[3]{PULS2} \times \sqrt[3]{PULS3} \times 0.108173 + \sqrt[3]{Ps2} \times \sqrt[3]{PULS4} \times 1.17602 + \sqrt[3]{Ps0} \times \sqrt[3]{Pd2} \times 0.5688 + \sqrt[3]{Ps1} \times \sqrt[3]{Ps5} \times 0.416762 + \sqrt[3]{Pd1} \times \sqrt[3]{PULS1} \times 0.335992 + \sqrt[3]{Ps0} \times (Pd4) \times (-0.521999) + \sqrt[3]{Pd3} \times \sqrt[3]{Ps5} \times (-0.532971) + \sqrt[3]{Pd2} \times (-0.011521) + \sqrt[3]{Pd3} \times \sqrt[3]{Pd4} \times 0.62263 + \sqrt[3]{Ps1} \times \sqrt[3]{Pd2} \times (-0.50425) + \sqrt[3]{Pd0} \times \sqrt[3]{Pd1} \times (-0.368739) + \sqrt[3]{PULS1} \times \sqrt[3]{Ps2} \times (-1.27672) + \sqrt[3]{Pd0} \times \sqrt[3]{Ps2} \times 0.300144 + \sqrt[3]{PULS3} \times \sqrt[3]{Pd5} \times 0.0228286 + \sqrt[3]{PULS4}^2 \times 0.785616 + \sqrt[3]{PULS4} \times (-12.238) + \sqrt[3]{PULS1}^2 \times 0.530258$$

$$Y_5 = -0.474954 + Ps1 \times Ps4 \times 0.00016721 + Ps2 \times Pd2 \times (-0.00126608) + Ps1 \times Pd1 \times (-0.000503154) + Pd1 \times PULS5 \times (-0.000351545) + PULS0 \times Ps1 \times (-0.000691358) + Pd1 \times Ps2 \times 0.000914695 + Ps1 \times Pd2 \times 0.00109038 + PULS0 \times Ps2 \times 0.000399064 + Pd2 \times PULS5 \times 0.000268758 + Pd3 \times PULS4 \times (-0.0000882123) + Pd1 \times PULS3 \times (-0.000368817) + PULS0 \times PULS1 \times 0.000297114 + PULS4 \times Ps5 \times 0.0000206365 + PULS2 \times Ps4 \times (-0.000135134) + Pd1 \times PULS2 \times 0.000196825 + PULS3 \times Pd5 \times 0.000551856 + PULS1 \times Pd5 \times (-0.000403344) + PULS3 \times Ps4 \times (-0.0000577141)$$

$$Y_6 = -128.934 + Pd4 \times (-0.0132733) + PULS2 \times (-0.0949544) + \sqrt[3]{PULS2} \times 5.32039 + \sqrt[3]{Ps1} \times 10.7992 + Ps1 \times (-0.137072) + \sqrt[3]{Pd3} \times (-0.555648) + PULS4 \times (-0.0394407) + \sqrt[3]{PULS4} \times 1.78174 + \sqrt[3]{PULS0} \times 2.00417 + PULS0 \times (-0.0345576) + \sqrt[3]{Ps2} \times 18.4436 + Ps2 \times (-0.249998) + Pd2 \times (-0.0758917) + \sqrt[3]{Pd2} \times 3.30818 + \sqrt[3]{Pd1} \times 0.0899528 + \sqrt[3]{Ps3} \times 0.111333$$

$$\begin{aligned}
 Y_7 = & -68.1879 + \sqrt[3]{Ps3} \times \sqrt[3]{Pd5} \times (-0.130008) + \sqrt[3]{Ps0} \times Pd1 \times 1.17756 + \sqrt[3]{PULS4} \times \sqrt[3]{PULS5} \times 0.127668 \\
 & + \sqrt[3]{Ps0} \times Pd4 \times 0.285573 + \sqrt[3]{PULS3} \times Ps4 \times (-0.0707465) + \sqrt[3]{PULS2} \times 25.748 + \sqrt[3]{PULS2}^2 \times (-0.7587) \\
 & + \sqrt[3]{PULS2}^2 \times (-0.758786) + \sqrt[3]{PULS1} \times \sqrt[3]{Ps4} \times 0.0268201 + \sqrt[3]{Ps5} \times \sqrt[3]{PULS5} \times (-0.0478709) + \sqrt[3]{Pd0} \\
 & \times \sqrt[3]{PULS2} \times 1.80659 + \sqrt[3]{Pd0}^2 \times (-0.447176) + \sqrt[3]{PULS0} \times \sqrt[3]{Ps3} \times (-0.0200589) + \sqrt[3]{Pd0} \times (-4.71758) + \\
 & + \sqrt[3]{PULS2} \times Pd4 \times (-3.37571) + \sqrt[3]{Ps0} \times PULS2 \times (-1.47397) + \sqrt[3]{Pd1} \times PULS2 \times (-1.34641) + \\
 & + \sqrt[3]{Pd4} \times 13.0989 + \sqrt[3]{Pd2} \times Pd5 \times 0.0550017 + \sqrt[3]{Ps2} \times \sqrt[3]{Pd3} \times (-0.0205566)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_8 = & 10.3778 + Ps1 \times PULS2 \times 0.000435189 + \sqrt[3]{PULS3} \times \sqrt[3]{Ps4} \times (-0.375712) + Pd1 \\
 & \times PULS2 \times 0.000141454 + PULS0 \times \sqrt[3]{PULS1} \times (-0.000683578) + Ps1 \times Ps2 \\
 & \times (-0.000372102) + \sqrt[3]{PULS0} \times \sqrt[3]{PULS2} \times (-1.01729) + \sqrt[3]{PULS0} \times \sqrt[3]{Ps2} \\
 & \times 0.729411 + Pd1 \times \sqrt[3]{PULS4} \times (-0.00224222) + PULS0 \times PULS3 \times 0.000341994 \\
 & + PULS0 \times PULS2 \times (-0.000210382) + PULS2 \times Ps4 \times 0.000183836
 \end{aligned}$$

Показатели качества распознавания в группе 135678 ( без учета предварительного деления на группы ) кластеров 1,3,5,6,7,и 8 соответственно равны  
 $P_1=79,7\%$   $P_3=94,4\%$   $P_5=94,8\%$   $P_6=79,5\%$   $P_7=92,6\%$   $P_8=89,9\%$

Окончательные показатели качества классификации с учетом качества предварительного классификатора приведены в таблице 2.

### **Выводы.**

В работы выделены области ФС ССС человека (возраст 17-20 лет) при условии 5-ти процентного ограничения на близость центроидов кластеров. Анализ средних для параметров области состояний позволил предложить эффективную структуру системы классификаторов. Налучшие классификаторы получены одним из алгоритмов МГУА пакета GMDH SHELL. Полученные результаты позволяют продолжить исследования с целью определения возможных воздействий для оптимизации прогноза ФС ССС человека.

### **Литература**

1. Медведев В.И. Классификация поведенческой адаптации // Физиология человека. 1982. Т. 8. N. 3. С. 347-362.
2. Граевская Н.Д., Долматова Т.И. Спортивная медицина. Курс лекций и практические занятия. Учебное пособие.-М.: Советский спорт, 2004. -304 с: ил.
3. *Машин В.А., Машина М.Н.* Классификация функциональных состояний и диагностика психоэмоциональной устойчивости на основе факторной структуры показателей variability сердечного ритма // Росс. физиол. ж. им. И. М. Сеченова. 2004. Т. 90. № 12. С. 1508–1521.
4. Ивахненко А, Степашко В. Помехоустойчивость моделирования. // Киев: Наук. думка. 1985 - 216 с.
5. Интернет-ресурс <https://www.gmdhshell.com/>