



ISSN 2071-2898 (Print)  
ISSN 2071-2901 (Online)

**Б.М. Гавриков, М.Б. Гавриков,**  
**Н.В. Пестрякова**

Об устойчивости  
статистического  
классификатора состояний  
систем организма человека к  
искажениям в вырожденных  
случаях

**Рекомендуемая форма библиографической ссылки:** Гавриков Б. М., Гавриков М.Б., Пестрякова Н.В. Об устойчивости статистического классификатора состояний систем организма человека к искажениям в вырожденных случаях // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2020. № 49. 26 с. <https://doi.org/10.20948/prepr-2020-49>  
<https://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2020-49>

**Ордена Ленина  
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ  
имени М.В.Келдыша  
Российской академии наук**

**Б.М. Гавриков, М.Б. Гавриков, Н.В. Пестрякова**

**Об устойчивости статистического  
классификатора состояний систем  
организма человека к искажениям  
в вырожденных случаях**

**Москва — 2020**

**Б.М. Гавриков, М.Б. Гавриков, Н.В. Пестрякова**

**Об устойчивости статистического классификатора состояний систем организма человека к искажениям в вырожденных случаях**

Описываются методика и результаты анализа свойств разработанного авторами классификатора, предназначенного для оценивания состояния здоровья человека по результатам лабораторного анализа периферической крови. В основе лежит нелинейный метод статистической классификации, использующий полиномиально-регрессионный подход и имеющий вероятностные оценки. Проводится исследование устойчивости метода к искажениям и его экстраполяционным возможностям. Рассматриваются признаки, принимающие постоянное значение для одного из классов здоровья.

**Ключевые слова:** состояние здоровья человека, система организма, периферическая кровь, классификация, полиномиальная регрессия

***Boris Mikhailovich Gavrikov, Mikhail Borisovich Gavrikov, Nadejda Vladimirovna Pestryakova***

**On the stability of the statistical classifier of states of human body systems to distortions in degenerate cases**

The methodology and the results of the analysis of the properties of the classifier developed by the authors are described, which are intended for assessing the state of human health according to the results of laboratory analysis of peripheral blood. It is based on the non-linear method of statistical classification, using the polynomial-regression approach and having probabilistic estimates. A study is made of the stability of the method to distortion and of its extrapolation capabilities. Signs that are of constant importance for one of the health classes are considered.

**Key words:** human health, body system, peripheral blood, classification, polynomial regression

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 18-29-26009.

## **Оглавление**

Введение.....	3
Метод классификации .....	4
Численное моделирование искажений.....	5
Лимфоциты LYMPH [L <sup>-1</sup> ] .....	7
Гранулоциты GRAN [L <sup>-1</sup> ] .....	11
Гранулоциты GRAN [%].....	15
Заключение .....	18
Библиографический список .....	26

## Введение

Представление о состоянии здоровья человека (СЗЧ) непосредственно связано с понятием гомеостаза, характеризующего относительное динамическое постоянство внутренней среды (крови, лимфы, тканевой жидкости) и устойчивости основных физиологических функций организма (кровообращения, дыхания, терморегулирования, обмена веществ). Многие заболевания человека вносят изменения в состав его крови. При оценке гомеостаза и его динамики гематологи предлагают использовать не менее пяти показателей периферической крови, то есть взятой из пальца [1].

Родоначальником направления по применению численного подхода к решению проблемы оценивания СЗЧ по параметрам периферической крови является Роман Владимирович Ставицкий. Он же стал идейным вдохновителем наших исследований по использованию статистического метода с этой целью.

Настоящая работа является очередной в цикле публикаций, относящихся к разработке, описанию и исследованию свойств статистического классификатора, предназначенного для вычисления оценки СЗЧ по параметрам лабораторного анализа периферической крови [2-5].

В разработанном нами классификаторе, основанном на полиномиальной регрессии и генерирующем вероятностные оценки, по восьми параметрам крови производится деление на четыре класса (здоровые, начальные и выраженные отклонения состояния здоровья, тяжелое заболевание). Мужчины и женщины рассматривались по отдельности [2-5]. Была получена высокая точность классификации обучающего множества.

В работе [5] рассмотрена математическая модель, предназначенная для численного исследования динамики характеристик распознавания множеств, полученных из обучающих при их заданном нарастающем искажении. Каждый признак (параметр крови) изучался по отдельности. Предложен и реализован способ описания экстраполяционных свойств метода распознавания. Также разработан подход к анализу динамики генерируемых методом оценок распознавания на объектах, полученных при модификации обучающего множества.

В [5] рассмотрены пять признаков, для которых элементы базы собраны «правильно», и в каждом из четырех рассмотренных классов значение признака принадлежит некоторому конечному отрезку ненулевой длины.

Однако по классу здоровых людей три признака принимают константные значения. Следует заметить, что отсутствие статистических данных по показателям крови здоровых людей в практическом отношении несущественно, поскольку для них известны все диапазоны допустимых вариаций соответствующих параметров. Тем не менее, представляется важным определить, как именно будет вести себя классификатор, построенный с

обучением на таких базах. Результаты исследования в этих трех вырожденных случаях изложены в данной работе.

## Метод классификации

Используются восемь показателей крови, имеющие следующие обозначения и размерность: RBC [L<sup>-1</sup>] – эритроциты, HGB [gL<sup>-1</sup>] – гемоглобин, PLT [L<sup>-1</sup>] – тромбоциты, WBC [L<sup>-1</sup>] – лейкоциты, LIMPH [L<sup>-1</sup>], [%] – лимфоциты, GRAN [L<sup>-1</sup>], [%] – гранулоциты (GRAN=NEUT+EOS+BASO, где NEUT[L<sup>-1</sup>],[%] – нейтрофилы, EOS[L<sup>-1</sup>],[%] – эозинофилы, BASO[L<sup>-1</sup>],[%] – базофилы).

Вводим вектор  $\mathbf{v} \in \mathbf{R}^N$ ,  $i$ -я компонента которого – отнормированная на отрезок [0,1] величина  $i$ -го показателя крови, причем  $N=8$ . Отождествляем  $k$ -й элемент множества градаций СЗЧ с базисным вектором  $\mathbf{e}_k=(0\dots 1\dots 0)$  (здесь 1 находится на  $k$ -м месте,  $1 \leq k \leq K$ , причем  $K=4$ ) из  $\mathbf{R}^K$ . Обозначаем  $Y=\{\mathbf{e}_1, \dots, \mathbf{e}_K\}$ .

Пусть существует  $p_k(\mathbf{v})$  – вероятность того, что набор отнормированных показателей крови соответствует  $k$ -му элементу СЗЧ, где  $1 \leq k \leq K$ . Искомый элемент СЗЧ будет иметь порядковый номер  $r$ , получивший максимальное значение вероятности:

$$p_r(\mathbf{v}) = \max_k \{p_k(\mathbf{v})\}, \quad 1 \leq k \leq K. \quad (1)$$

Приближенные значения  $p_1(\mathbf{v}), \dots, p_K(\mathbf{v})$  представляются в виде конечных многочленов от координат  $\mathbf{v}=(v_1, \dots, v_N)$  и определяются выбором базисных мономов:

$$p_k(\mathbf{v}) \cong c_0^{(k)} + \sum_{i=1}^N c_i^{(k)} v_i + \sum_{i,j=1}^N c_{i,j}^{(k)} v_i v_j + \dots, \quad 1 \leq k \leq K. \quad (2)$$

Представим упорядоченные базисные мономы из (2) в виде вектора размерности  $L$ :

$$\mathbf{x}(\mathbf{v}) = (1, v_1, \dots, v_N, \dots)^T.$$

Тогда (2) можно записать в векторном виде:

$$\mathbf{p}(\mathbf{v}) = (p_1(\mathbf{v}), \dots, p_K(\mathbf{v}))^T \cong A^T \mathbf{x}(\mathbf{v}), \quad (3)$$

где  $A$  – матрица размера  $L \times K$ , столбцами которой являются векторы  $\mathbf{a}^{(1)}, \dots, \mathbf{a}^{(K)}$ . Каждый такой вектор составлен из коэффициентов при мономах соответствующей строки (2) (с совпадающим верхним индексом), упорядоченных так же, как в векторе  $\mathbf{x}(\mathbf{v})$ .

Приближенное вычисление  $A$  производится при обучении на конечной последовательности:  $[\mathbf{v}^{(1)}, \mathbf{y}^{(1)}], \dots, [\mathbf{v}^{(J)}, \mathbf{y}^{(J)}]$ . Здесь  $\mathbf{v}^{(j)}$  – набор параметров крови, соответствующий элементу СЗЧ с номером  $k$  ( $1 \leq k \leq K$ ),  $\mathbf{y}^{(j)} = (0\dots 1\dots 0)$  – его базисный вектор, где 1 стоит на  $k$ -м месте,  $1 \leq j \leq J$ :

$$A \cong \left( \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \mathbf{x}^{(j)} (\mathbf{x}^{(j)})^T \right)^{-1} \left( \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \mathbf{x}^{(j)} (\mathbf{y}^{(j)})^T \right). \quad (4)$$

Правую часть (4) получаем посредством рекуррентной процедуры [6].

В данной работе рассмотрена пищеварительная система для мужчин. В этом случае использовались модификации вектора  $\mathbf{x}(\mathbf{v})$  следующего вида:

$$\mathbf{x} = (1, \{v_i\}, \{v_i v_j\}, \{v_i v_j v_k\}, \{v_i v_j v_k v_l\}), \quad (5)$$

$$1 \leq i \leq 8, i \leq j \leq 8, j \leq k \leq 8, k \leq l \leq 8.$$

В (5) выражения в фигурных скобках соответствуют цепочкам элементов вектора, вычисляемым по всем показателям крови из имеющегося набора. Длина полинома 495. Имеются мономы первого, второго, третьего и четвертого порядка. Перекрестные произведения используются для мономов второго, третьего и четвертого порядка.

Обучающее множество рассматриваемой СО имеет 109 элементов: классы здоровья К1 и К4 содержат по 33 набора крови, а классы К2 и К3 включают соответственно 17 и 26 элементов.

Разработанный и обученный классификатор обеспечил 99,2% правильной классификации на обучающем множестве, а именно, имеется по одной ошибке на элементах К2 и К3.

### Численное моделирование искажений

Далее при нумерации классов К1, К2, К3, К4 используется символ  $c, 1 \leq c \leq 4$ , а число элементов обозначено  $|K1|, |K2|, |K3|, |K4|$ . Признаки П1, ..., П8 перенумерованы посредством символа  $b, 1 \leq b \leq 8$ .

В таблице 1 для К1, К2, К3, К4, приведены диапазоны, которым принадлежат используемые первичные признаки П1, ..., П8 ( $D_b^c \equiv [l_b^c, r_b^c], 1 \leq c \leq 4, 1 \leq b \leq 8$ ). Также для каждого признака указан соответствующий отрезок по совокупности четырех классов ( $D_b \equiv \bigcup_{1 \leq c \leq 4} D_b^c \equiv [l_b, r_b]$ ). Особенность К1 заключается в том, что пятый, седьмой и восьмой признаки являются константами (вырожденные случаи).

Таблица 1

#### Интервалы признаков по классам здоровья системы организма

<i>N</i> <i>признака</i>	<i>Класс «1»</i>	<i>Класс «2»</i>	<i>Класс «3»</i>	<i>Класс «4»</i>	<i>Классы «1-2-3-4»</i>
1	[437,548]	[369,574]	[330,573]	[304,586]	[304,586]
2	[170,336]	[102,217]	[61,517]	[134,504]	[61,517]

3	[439,900]	[390,1750]	[220,1380]	[467,2167]	[220,2167]
4	[1310,1630]	[1080,1770]	[860,1680]	[910,1690]	[860,1770]
5	186	[110,450]	[80,310]	[50,380]	[50,450]
6	[208,393]	[171,887]	[184,963]	[51,403]	[51,963]
7	2900	[2300,11700]	[1300,10500]	[2840,19640]	[1300,19640]
8	658	[492,763]	[437,766]	[480,906]	[437,906]

Рассмотрим один из классов ( $c_0$ ). Будем исследовать объекты, полученные из элементов этого класса, входящих в обучающее множество, при модификации признака с номером  $b_0$ . На  $t$ -м шаге

$$v_{b_0} \rightarrow v_{b_0} + h_{b_0} \cdot t, h_{b_0} = (r_{b_0} - l_{b_0})/10, t = 1, \dots, 9.$$

На рисунках с литерой «а» для каждого из рассматриваемых классов по отдельности показано, как нарастает число модифицированных элементов, у которых значение фиксированного признака П1, ..., П8 вышло за границы отрезка, определяемого этими номерами класса и признака ( $D_b^c, 1 \leq c \leq 4, 1 \leq b \leq 8$ ), а именно, за правый его конец (число элементов  $N_{b+}^c$ ) при увеличении признака (Ряд1) или за левый ( $N_{b-}^c$ ) при его уменьшении (Ряд3). Также показано, как при этом изменяется количество ошибок распознавания  $Ne$  (Ряд2 и Ряд4 соответственно).

Будем оценивать *экстраполяционные свойства* метода следующим образом. Если на каком-то интервале изменения  $t$  имеем:  $Ne < N_{b+}^c$  ( $Ne < N_{b-}^c$ ), то считаем это признаком *хорошей экстраполяции*, напротив, при выполнении  $Ne > N_{b+}^c$  ( $Ne > N_{b-}^c$ ) *экстраполяция плохая*. Равенство соответствующих величин означает посредственное качество.

Пусть при распознавании модифицированных элементов данного класса ( $c_0$ ) на шаге  $t$  некоторое их количество отнесено классификатором к рассматриваемому классу (правильное распознавание), тогда  $E_w$  суть среднее арифметическое их оценок; если ряд таких объектов отошел к другим классам (неправильное распознавание), то  $E_e$  вычисляется как среднее арифметическое оценок альтернативы, соответствующей классу  $c_0$ . Если вычисление средней оценки не зависит от правильности распознавания, то получаем  $E_m$ ; как нетрудно догадаться, эта величина является оценкой центра масс рассматриваемого класса с учетом его искажения.

Рисунки с литерой «б» демонстрируют динамику оценки центра масс  $E_m$  (Ряд1), а также средних оценок: правильного распознавания  $E_w$  (Ряд2) и неправильного  $E_e$  (Ряд3) при росте значения признака П1, ..., П8, а с литерой «в» – аналогичные величины при его падении.

При анализе поведения оценок будут рассмотрены следующие аспекты. Выполнение условий  $E_e = 255$  или  $E_e < \approx 255$  соответствует фатальному нарушению оценок. Если на некотором отрезке изменения  $t$  выполняется

$\min_{[t_0, t_1]} E_w \leq \max_{[t_0, t_1]} E_e$ , то разделение оценок по диапазонам отсутствует. Уменьшение величины  $(E_w - E_e)$  говорит об ухудшении разделения оценок.

Используемое в литературе свойство монотонности оценок (уменьшение количества ошибок при повышении оценки, представляющее интерес в области высоких оценок) обозначим *e-monotony*.

Ограничимся рассмотрением признаков П5, П7, П8, относящихся к вырожденным случаям по классу К1, поскольку при обучении использовались данные с их постоянными значениями.

## Лимфоциты LYMPH [L<sup>-1</sup>]

### Класс 1

Очевидно, что с первого шага изменения этого признака  $N_{5-}^1$  и  $N_{5+}^1$  устанавливаются на максимуме  $|K1|=33$  (рис.1а).

Однако при увеличении П5 ошибки появляются только с предпоследнего шага ( $N_e=2$ ), и при наибольшем искажении их число повышается до  $N_e=9$ .  $E_m$  и  $E_w$  от высокой исходной величины (252) нарастают и уже с первого шага стабилизируются на 255 (рис.1б). Существующая на последнем отрезке интервала искажения  $E_e$  имеет максимальное значение, т.е. нарушается *e-monotony*, оценки становятся неадекватными. Заметим, что в обширной зоне устойчивого безошибочного распознавания нет проблем ни с экстраполяцией, ни с оценками.

При уменьшении П5 на первом шаге  $N_e=23$ , что свидетельствует о *хорошей экстраполяции* ( $N_e < N_{5-}^1$ ), а дальше количество ошибок устанавливается на 33. При этом  $E_m$  понижается к третьему шагу до 23 и стабилизируется на этом значении. Имеющаяся только на начальном отрезке  $E_w$  падает от 252 до 124. На первом шаге  $E_e=65$ , к третьему шагу уменьшается до 23 и сохраняется на этом уровне далее (рис.1в). Диапазоны оценок разделены:

$$\max_{[1,9]} E_e < \min_{[0,1]} E_w.$$

Итак, для класса К1 параметр П5 в обучающей базе постоянный, это вырожденный случай. При повышении П5 ошибки появляются только на предпоследнем шаге, и на наибольшем искажении их число увеличивается незначительно – при этом  $E_m$  уже на первом шаге достигает максимума; приведенные данные свидетельствуют об отсутствии проблем с экстраполяцией, а также и с оценками (за исключением двух последних шагов, где нарушается *e-monotony*:  $E_e=255$ ). При понижении П5 наблюдается *хорошая экстраполяция* только на первом шаге, а на втором  $N_e$  достигает максимума и устанавливается на этом значении, что сопровождается падением, а затем стабилизацией  $E_m$  на низком уровне; оценки адекватные: на первом шаге появляются ошибки, далее  $E_e$  уменьшается, причем диапазоны оценок разделены.



## Класс 2

Увеличение П5 характеризуется тем, что с первого до третьего шага  $N_{5+}^2 \equiv 1$ , на четвертом и пятом шагах  $N_{5+}^2 \equiv 2$ ; далее эта величина быстро нарастает до наивысшего значения  $|K2|=17$  на последнем шаге (рис.2а). На начальных отрезках  $Ne$  резко увеличивается ( $E_m$  существенно понижается); с третьего шага  $Ne$  устанавливается на максимуме 17 (падение  $E_m$  существенно замедляется, при  $E_m \equiv E_e$ , а после четвертого шага  $E_m$  повышается). Поскольку  $Ne \gg N_{5+}^2$ , *экстраполяция плохая*. Оценка  $E_w$  от начального значения 169 монотонно нарастает ко второму шагу до 230 (рис.2б).  $E_e$  к четвертому шагу падает от начального значения 72 до 37. Далее число ошибок остается максимальным ( $Ne \equiv 17$ ), а  $E_e$  нарастает (исключая отрезки локальной стабилизации) до 149 в конце интервала искажения, что свидетельствует об ухудшении *e-monotony* оценок. Следовательно, хотя  $\max_{[0,9]} E_e < \min_{[0,2]} E_w$ , адекватность оценок сомнительна.

Уменьшение П5 сопровождается стремительным увеличением  $N_{5-}^2$ , уже на третьем и четвертом шагах эта величина сохраняет значение 15, с пятого шага устанавливается на 16, а на последнем шаге достигает максимума 17 (рис.2а). Темп роста  $Ne$  также велик – с пятого шага  $Ne$  стабилизируется на 17. *Экстраполяция плохая*, поскольку  $Ne > N_{5-}^2$  (кроме третьего шага, где неравенство противоположное, но различие величин небольшое).  $E_m$  понижается (исключением является небольшая немонотонность на начальном участке установления  $Ne$ ). Оценка  $E_w$  нарастает от начального значения 169 до 240 на третьем шаге, а на следующем шаге падает до 222.  $E_e$  на первом отрезке резко повышается от исходного значения 72 до 121, что сопутствует стремительному увеличению  $Ne$ , а затем, после этапа монотонного убывания, с пятого шага (соответствующего выходу на установление  $Ne$  на максимальном уровне) совпадает с динамикой  $E_m$ , поскольку  $E_m \equiv E_e$ . Оценки адекватные, причем выполняется неравенство:  $\max_{[0,9]} E_e < \min_{[0,4]} E_w$ .

Итак, при модификации класса К2 сначала  $N_{5+}^2$  стабилизируется на низком уровне, а затем быстро нарастает до наивысшей величины  $|K2|=17$ ; напротив,  $N_{5-}^2$  после стремительного увеличения устанавливается почти на максимуме, а на последнем шаге достигает его. В каждом направлении динамики П5 количество ошибок  $Ne$  быстро нарастает до максимального значения с превышением  $N_{5+}^2$  и (в целом)  $N_{5-}^2$  (*плохая экстраполяция*), при этом  $E_m$  уменьшается. При обоих способах изменения П5 диапазоны оценок разделены. На этапе стабилизации числа ошибок на максимальном уровне  $E_m \equiv E_e$ , причем при повышении П5 эти величины увеличиваются (ухудшение *e-monotony* оценок), а при понижении этого признака  $E_m$  и  $E_e$  после незначительного локального максимума опять уменьшаются (оценки адекватные).

### Класс 3

Для рассматриваемых двух направлений изменения П5 мало различающиеся между собой  $N_{5-}^3$  и  $N_{5+}^3$  увеличиваются и с шестого шага устанавливаются на максимальном значении  $|K3|=26$  (рис.3а).

При повышении П5 вплоть до четвертого шага  $N_e$  стремительно нарастает, причем выполняется  $N_e > N_{5+}^3$  (*плохая экстраполяция*), а  $E_m$  уменьшается от 203 до 67. Далее приведенное неравенство меняется на противоположное:  $N_e < N_{5+}^3$ , а участкам стабилизации  $N_e$ , между которыми наблюдается небольшой рост этой величины (с итоговым повышением до 25) сопутствует немонотонное поведение  $E_m$  с достижением локального максимума 84 на седьмом шаге, а затем понижением до 29. Оценка  $E_w$  сначала падает от исходного значения 209 к 193, а затем нарастает и с четвертого шага устанавливается на 255 (рис.3б).  $E_e$  в общем падает от исходного значения 56 до 20 в конце интервала искажения, при этом имеет два локальных максимума: поднимается к 78 на втором шаге, а также (аналогично  $E_m$ ) нарастает до 77 на седьмом шаге. Прослеживается корреляция между динамикой, с одной стороны  $N_e$ , а с другой стороны,  $E_w$  и  $E_e$ . А именно, резкое нарастание  $N_e$  на первом отрезке приводит к локальному минимуму  $E_w$  и максимуму  $E_e$ . Подъем  $E_e$  на шестом и седьмом шагах определяется увеличением  $N_e$  перед выходом на установление.

При понижении П5  $N_e$  незначительно нарастает на первом шаге, где  $N_e = N_{5-}^3$ , а далее соблюдается условие  $N_e \ll N_{5-}^3$  (*хорошая экстраполяция*),  $N_e$  колеблется в диапазоне 3-6; при этом  $E_m$  в общем постепенно увеличивается от 203 до 244. Оценка  $E_w$  монотонно растет и стабилизируется на 255 с четвертого шага (рис.3в).  $E_e$  в целом повышается от начального значения 56 до 184 на последнем шаге, совершая колебания значительной амплитуды, что соответствует немонотонному изменению  $N_e$  при низком уровне этой величины.

В обоих рассмотренных способах искажения К3 выполняется неравенство:  $\max_{[0,9]} E_e < \min_{[0,9]} E_w$ , но при повышении П5 оценки адекватные, а при понижении этого признака максимальное значение  $E_e$  на восьмом шаге (189) вызывает опасение ввиду ухудшения *e-monotony*.

Итак, мало различающиеся  $N_{5-}^3$  и  $N_{5+}^3$  на шестом шаге достигают максимума  $|K3|$ . При повышении П5 сначала  $N_e$  стремительно нарастает, выполняется  $N_e > N_{5+}^3$  (*плохая экстраполяция*), при этом  $E_m$  уменьшается; далее неравенство меняется на противоположное:  $N_e < N_{5+}^3$ ,  $N_e$  увеличивается медленно, а в конце стабилизируется, что для  $E_m$  сопровождается появлением локального максимума, но в целом уровень  $E_m$  опускается. При понижении П5  $N_e$  незначительно нарастает на первом шаге, где  $N_e = N_{5-}^3$ , а затем колеблется в диапазоне 3-6, соблюдается условие  $N_e \ll N_{5-}^3$  (*хорошая экстраполяция*);  $E_m$

постепенно увеличивается (с затуханием в конце). Для обоих направлений искажения выполняется неравенство:  $\max_{[0,9]} E_e < \min_{[0,9]} E_w$ , при увеличении П5

оценки адекватны, что следует поставить под сомнение при уменьшении этого признака, поскольку  $E_e$  достигает большого значения,  $e$ -monotony ухудшается.

#### Класс 4

Для класса К4 изменение П5 в обоих направлениях приводит к увеличению  $N_{5-}^4$  и  $N_{5+}^4$  до максимального значения  $|K4|=33$  на последнем шаге, причем  $N_{5-}^4 > N_{5+}^4$  с первого по седьмой шаг включительно, а на остальных шагах эти величины равны (рис.4а).

При повышении П5 сначала  $N_e$  увеличивается, а  $E_m$  уменьшается; после второго шага  $E_m$  начинает увеличиваться, тогда как рост  $N_e$  замедляется, и на третьем шаге  $N_e$  достигает значения 24, а далее падает до 15 в конце интервала искажения. До пятого шага  $N_e > N_{5+}^4$  (*плохая экстраполяция*), а затем это неравенство меняется на противоположное. Оценка  $E_w$  на первом шаге понижается от исходного значения 224 до 215 (ввиду начального резкого увеличения  $N_e$ ), но уже со второго шага устанавливается на 255 (рис.4б).  $E_e$  с первого по четвертый шаг почти линейно повышается от 84 до 201, далее к седьмому шагу с незначительными колебаниями понижается до 182, а затем поднимается к 238 в конце. Диапазоны оценок не разделены, хотя в каждой точке интервала искажений выполняется неравенство:  $E_e < E_w$ ; однако различие этих величин мало при максимальном увеличении П5, что говорит о неадекватности оценок, а высокий уровень  $E_e$  свидетельствует об ухудшении  $e$ -monotony.

При понижении П5  $N_e$  нарастает монотонно, но неравномерно, а на основной части диапазона очень медленно, достигая 22 в конце, при этом  $E_m$  незначительно колеблется в диапазоне 219-232. На всем интервале искажения  $N_e < N_{5-}^4$  (*хорошая экстраполяция*). Оценка  $E_w$  нарастает и с четвертого шага принимает постоянное значение 255 (рис.4в). Оценка  $E_e$  в целом увеличивается от 99 на первом шаге до 220 на последнем, при этом совершает небольшие колебания. Выполняется неравенство:  $\max_{[1,9]} E_e < \min_{[0,9]} E_w$ , но различие между левой и правой частями неравенства незначительное; кроме того,  $E_w - E_e$  уменьшается в конце интервала искажения, а высокий уровень  $E_e$  в этой точке свидетельствует об ухудшении  $e$ -monotony.

Итак,  $N_{5+}^4$  и  $N_{5-}^4$ , при их среднем различии, на последнем шаге достигают максимума  $|K4|=33$ . До пятого шага  $N_e > N_{5+}^4$  (*плохая экстраполяция*), а далее неравенство меняется на противоположное; на всем интервале искажения  $N_e < N_{5-}^4$  (*хорошая экстраполяция*). При повышении П5 увеличение  $N_e$  на начальном этапе сопровождается уменьшением  $E_m$ ; далее замедлению роста и последующему падению  $N_e$  сопутствует увеличение  $E_m$ . При понижении П5 неравномерное и в целом небольшое нарастание  $N_e$ , в основном части

диапазона очень медленное, сопровождается колебаниями  $E_m$  в диапазоне 219-232. В обоих вариантах изменения П5 оценки неадекватные: вызывает опасение небольшая разница величин  $E_w$  и  $E_e$  в конце интервала искажения, а высокий уровень  $E_e$  в этой точке свидетельствует об ухудшении *e-monotony*.

## Гранулоциты GRAN [L<sup>-1</sup>]

### Класс 1

С первого шага изменения П7 на максимуме  $|K1|=33$  устанавливаются  $N_{7-}^1$  и  $N_{7+}^1$  (рис.5а). При увеличении этого признака наблюдается аналогичная картина стабилизации для  $N_e$ , однако следует заметить, что дополнительное дробление начального отрезка искажения на 10 равных частей показало (рис.5г,д), что  $N_e$  постепенно увеличивается до значения 33 (*хорошая экстраполяция на малом интервале*). При уменьшении П7 ошибки не появляются вообще (*отличная экстраполяция*). В отсутствие искажения  $E_m=E_w=252$ . С первого шага понижения П7  $E_m \equiv E_w \equiv 255$  (рис.5в). При увеличении П7  $E_m \equiv E_e$  с первого шага, на котором эти величины равны 17, на двух следующих отрезках их значения падают до нуля, а далее сначала медленно, а на двух последних отрезках стремительно нарастают до 221 (рис.5б); высокий уровень  $E_e$  говорит об ухудшении *e-monotony* оценок.

Итак, для класса K1 в обучающей базе П7 постоянен, это вырожденный случай. С первого шага изменения этого параметра  $N_{7-}^1$  и  $N_{7+}^1$  устанавливаются на максимуме  $|K1|=33$ . При повышении П7 с первого шага число ошибок неизменно равно 33, но дополнительное дробление начального отрезка показало, что  $N_e$  постепенно увеличивается до максимума (*хорошая экстраполяция на малом интервале*). С ростом П7  $E_m$  от исходного значения 252 падает до нуля, затем медленно повышается, а в конце резко нарастает до 221; высокий уровень  $E_e$  говорит об ухудшении *e-monotony* оценок. При понижении П7 ошибки не появляются вообще, с первого шага  $E_m \equiv E_w \equiv 255$  – *исключительная экстраполяция* с максимальными оценками.

### Класс 2

Увеличение П7 в классе K2 характеризуется тем, что на первом и втором шагах  $N_{7+}^2=1$ , после чего эта величина ускоренно нарастает до максимального значения  $|K2|=17$  на шестом шаге.  $N_e$  повышается неравномерно: наблюдается локальная стабилизация на втором отрезке ( $N_e=5$ ), а также на двух последних ( $N_e=16$ ), что сопровождается увеличением  $E_m$  от первоначального значения 163, с колебаниями со второго по четвертый шаг на уровне 249-250 и последующим уменьшением до 210 (рис.6а,б). До четвертого шага  $N_e > N_{7+}^2$  (*плохая экстраполяция*), а затем знак в неравенстве меняется на противоположный. Оценка  $E_w$  ко второму шагу увеличивается от исходного значения 169 до 255 и далее не меняется.  $E_e$  сначала повышается от неискаженного значения 72 до 247 на четвертом шаге, а далее постепенно понижается до 207. Диапазоны оценок не разделены; везде выполняется  $E_w > E_e$ , но наблюдающаяся небольшая разница

между ними на четвертом шаге вызывает сомнение в правильности оценок. Кроме того, имевшееся до этого шага нарастание  $E_e$  говорит об ухудшении *e-monotony* оценок, поскольку появляются ошибочные распознавания с высокими оценками.

Уменьшение П7 сразу вызывает стремительный рост  $N_{7-}^2$ , но с третьего до пятого шага эта величина устанавливается на 16, а далее принимает максимальное значение 17 (рис.6а). Вначале  $N_e$  быстро повышается: на первом и втором шагах достигает значения 16 и 17 (с уменьшением  $E_m$  от исходного значения 163 до 58 и 55 соответственно), далее  $N_e$  до шестого шага устанавливается на 17 (сопровождается колебанием  $E_m$  с большой амплитудой, при имеющейся в целом тенденции к нарастанию), а затем  $N_e$  понижается и в конце интервала искажения имеет значение 13 (при этом  $E_m$  увеличивается до 195). До пятого шага  $N_e > N_{7-}^2$  (*плохая экстраполяция*), на шестом шаге эти величины равны 17, а на двух последних отрезках приведенное неравенство меняет знак на противоположный (при небольшом различии величин). Оценка  $E_w$  существует на отрезках [0,1] и [7,9]: на двух начальных шагах уменьшается от 169 до 152, а на трех последних – стабилизируется на уровне 255 (рис.6в). Оценка  $E_e$  сначала падает от неискаженного значения 72 до 52, а далее в целом повышается к последнему шагу до 176, но имеет колебания большой амплитуды. Диапазоны оценок не разделены, но выполняются неравенства:  $\max_{[0,1]} E_e < \min_{[0,1]} E_w$ ,  $\max_{[0,9]} E_e < \min_{[7,9]} E_w$ . Появление больших значений  $E_e$  на четвертом и девятом шагах означает ухудшение *e-monotony* оценок.

Итак, в классе К2 с ростом П7 количество ошибок  $N_e$  повышается и стабилизируется на двух последних отрезках ( $N_e=16$  при  $|K2|=17$ ), что сопровождается увеличением  $E_m$  от первоначального значения 163, установлением на уровне 249-250 и последующим уменьшением до 210. До четвертого шага  $N_e > N_{7+}^2$ , что говорит о *плохой экстраполяции*; далее знак в неравенстве меняется на противоположный. При падении П7 вначале  $N_e$  быстро повышается (с уменьшением  $E_m$  до 55), далее  $N_e$  до шестого шага устанавливается на 17 (сопровождается колебанием  $E_m$  с большой амплитудой, при имеющейся в целом тенденции к нарастанию), а затем  $N_e$  понижается до 13 в конце интервала искажения (при этом  $E_m$  увеличивается до 195). До пятого шага  $N_e > N_{7-}^2$  (*плохая экстраполяция*), на шестом шаге эти величины равны 17, а на двух последних отрезках приведенное неравенство меняет знак на противоположный. В обоих направлениях изменения П7 диапазоны оценок не разделены, появление больших значений  $E_e$  связано с ухудшением *e-monotony*.

### Класс 3

Для класса К3 увеличение П7 характеризуется тем, что  $N_{7+}^3$  достигает значения  $|K3|=26$  на шестом шаге, причем темп роста этой величины резко изменяется от низкого к высокому (рис.7а).  $N_e$  быстро нарастает к третьему шагу до 25, не меняется до пятого шага (здесь везде  $E_m$  понижается); с шестого

шага  $N_e$  устанавливается на 26 ( $E_m$  совершает резкие колебания большой амплитуды). Поскольку до четвертого шага  $N_e \gg N_{7+}^3$ , *экстраполяция плохая*; с пятого шага  $N_e \equiv N_{7+}^3$ . Оценка  $E_w$  от исходного значения 209 нарастает к третьему шагу до 255 и остается такой же до пятого шага (рис.7б).  $E_e$  ведет себя немонотонно: на первом шаге увеличивается от начального значения 56 до 113 (при появлении большого количества новых ошибок сверх имевшейся в отсутствие искажения), далее совершает небольшие колебания до пятого шага, а затем (при  $N_e \equiv 26$  и  $E_e \equiv E_m$ ) их амплитуда резко увеличивается, так что  $E_e$  достигает и низшее значение 0, и высшее 208; последнее свидетельствует об ухудшении *e-monotony*.

Уменьшение П7 сопровождается стремительным увеличением  $N_{7-}^3$ , но уже на четвертом и пятом шагах эта величина равна 25, а с шестого шага устанавливается на максимуме 26 (рис.7а). Темп роста количества ошибок еще выше – на третьем шаге  $N_e$  стабилизируется на 26; этому сопутствует падение  $E_m$ , до четвертого шага быстрое, затем медленное, а с шестого шага  $E_m \equiv 0$ . Поскольку  $N_e > N_{7-}^3$ , *экстраполяция плохая*. На двух отрезках существования  $E_w$  нарастает, причем на первом шаге ничтожно мало, а на втором - до 255 (рис.7в).  $E_e$  на начальном отрезке увеличивается от 56 до 139 (появление множества ошибок сверх единственной в исходном состоянии), затем уменьшается и устанавливается на нуле, причем с третьего шага  $E_e \equiv E_m$ .

При повышении П7  $\max_{[0,9]} E_e < \min_{[0,5]} E_w$ , однако следует принять во внимание, что различие между правой и левой частями этого неравенства незначительно из-за появления высоких оценок  $E_e$  при больших искажениях, что говорит о нарушении *e-monotony*. При понижении П7  $\max_{[0,9]} E_e < \min_{[0,2]} E_w$ , проблем с оценками нет.

Итак, для класса К3 при изменении П7  $N_{7+}^3$  и  $N_{7-}^3$  достигают значения 25 на пятом шаге, а с шестого шага устанавливаются на максимуме  $|K3|=26$ , причем темп роста  $N_{7+}^3$  сначала низкий, затем высокий, а для  $N_{7-}^3$  наоборот. В обоих направлениях искажения *экстраполяция плохая*, поскольку  $N_e$  быстро достигает 26, в целом с превышением  $N_{7+}^3$  и  $N_{7-}^3$ . При увеличении П7 нарастание  $N_e$  сопровождается понижением  $E_m$ , а с установлением  $N_e$  на максимуме  $E_m$  совершает колебания большой амплитуды. При уменьшении П7 сначала  $E_m$  стремительно падает, а затем стабилизируется на нуле. В обоих случаях искажения диапазонов оценок разделены, однако при значительном повышении П7 большое значение  $E_e$  говорит об ухудшении *e-monotony*, а при понижении этого признака оценки адекватны.

#### Класс 4

Для класса К4 увеличение П7 характеризуется тем, что  $N_{7+}^4$  к шестому шагу медленно повышается до 3, затем резко нарастает до 32 на последнем шаге (максимальное значение  $|K4|=33$ ) (рис.8а).  $N_e$  поднимается до 8 на втором

шаге, а далее медленно опускается до 2 в конце интервала искажения; при этом  $E_m$  на первом отрезке повышается от 224 до 244, а после незначительного понижения к последнему шагу поднимается до 247 (рис.8б). До шестого шага  $Ne > N_{7+}^4$  (плохая экстраполяция), а далее  $Ne < N_{7+}^4$ . Оценка  $E_w$  поднимается от исходного значения 224 и со второго шага стабилизируется на уровне 255 (рис.8б).  $E_e$  в целом падает от 210 на первом шаге до 128 в конце интервала искажения; заметное нарушение гладкости  $E_e$  на четвертом шаге, а также локальный максимум на седьмом шаге вызваны изменением  $Ne$  при низком уровне этой величины.

При уменьшении П7 сначала  $N_{7-}^4$  стремительно растет и на третьем шаге достигает значения 30; далее медленно повышается до 32 на шестом шаге и стабилизируется на этом уровне.  $Ne$  быстро увеличивается до 29 на втором шаге (сопровождается понижением  $E_m$  от 224 до 70 со схожими темпами), при этом  $Ne > N_{7-}^4$  (плохая экстраполяция); далее  $Ne < N_{7-}^4$ , причем  $Ne \equiv 29$  до шестого шага, затем число ошибок нарастает до 32 при максимальном искажении (чему сопутствует колебательная динамика  $E_m$  с имеющимся в целом понижением до диапазона 41-64 в конце.  $E_w$  на первом отрезке падает от исходного значения 224 до 206, затем поднимается и с третьего шага устанавливается на 255 (рис.8в).  $E_e$  в целом очень незначительно понижается от 67 на первом шаге до 58 на последнем, при этом совершает небольшие колебания.

В каждом из указанных способов изменения П7 выполняется условие разделения диапазонов оценок:  $\max_{[1,9]} E_e < \min_{[0,9]} E_w$ , однако при увеличении П7 разница между частями неравенства мала, поскольку для появляющихся на первом шаге ошибок  $E_e=210$  это высокое значение говорит об ухудшении  $e$ -monotony.

Итак, для К4 при росте П7 количество ошибок  $Ne$  невелико, причем изменяется немонотонно: сначала поднимается до 8, а далее опускается до 2 (при этом  $E_m$  повышается до довольно высокого уровня 244-247 и плавно колеблется вблизи него).  $N_{7+}^4$  к шестому шагу медленно увеличивается до 3, после чего резко нарастает до 32 в конце. До шестого шага  $Ne > N_{7+}^4$  (плохая экстраполяция), а далее  $Ne < N_{7+}^4$ . Понижению П7 на первых двух шагах сопутствует резкий рост  $Ne$  и аналогичное по темпу падение  $E_m$ , при этом  $Ne > N_{7-}^4$  (плохая экстраполяция); при дальнейшем изменении П7  $Ne < N_{7-}^4$ , а увеличение  $Ne$  и уменьшение  $E_m$  значительно замедляются. При обоих способах искажения К4 выполнено условие разделения диапазонов оценок, но при понижении П7 оценки адекватные, а при повышении этого признака появление больших значений  $E_e$  говорит об ухудшении  $e$ -monotony.

## Гранулоциты GRAN [%]

### Класс 1

С первого шага изменения П8  $N_{8-}^1$  и  $N_{8+}^1$  устанавливаются на максимуме  $|K1|=33$ .

При увеличении П8 поведение исследуемых величин полностью совпадает с имевшимся при уменьшении П7 (рис.5а,в; 9а,б): ошибки не появляются вообще (*отличная экстраполяция*); для неискаженных значений  $E_m=E_w=252$ , а начиная с первого шага  $E_m \equiv E_w \equiv 255$  – нет проблем с оценками.

При понижении П8 некоторые зависимости схожи с наблюдаемыми при аналогичном изменении П5 (рис.9а,в; 1а,в). Так, на первом шаге  $Ne=8$ , что свидетельствует о *хорошей экстраполяции* ( $Ne < N_{8-}^1$ ), а дальше количество ошибок устанавливается на 33. Также имеющаяся только на начальном отрезке  $E_w$  падает от 252 до 131. Кроме того, в обоих случаях  $E_m \equiv E_e$  на [2,9]. Однако на указанном отрезке динамика этих величин различна при рассмотрении П8 и П5. А именно, к пятому шагу уменьшения П8 их значения убывают до 7, а к концу интервала искажения нарастают до 114. Диапазоны оценок разделены:  $\max_{[1,9]} E_e < \min_{[0,1]} E_w$ , но различие между левой и правой частью этого неравенства небольшое, что вызывает опасение в адекватности оценок.

### Класс 2

В классе К2  $Ne$  увеличивается в обоих направлениях изменения П8 (рис.10а), причем при повышении этого признака с третьего шага наблюдается стабилизация:  $Ne \equiv |K2|=17$ , а при понижении П8 на максимальном искажении  $Ne$  лишь приближается к числу элементов  $|K2|$  ( $Ne=15$ ). Нарастание  $Ne$  сопровождается в целом уменьшением  $E_m$  (исключением являются локальные максимумы – незначительный на третьем шаге при повышении П8, а также на втором шаге при понижении данного признака). Поскольку при увеличении П8 выполняется:  $Ne > N_{8+}^2$  то *экстраполяция плохая*; аналогично при уменьшении П8 до третьего шага  $Ne > N_{8-}^2$ , а далее знак в неравенстве меняется на противоположный. Различие между  $N_{8+}^2$  и  $N_{8-}^2$  небольшое; а с шестого шага  $N_{8+}^2 \equiv N_{8-}^2 = 17$ .

При повышении П8 оценка  $E_w$  на двух отрезках существования немного понижается (от 169 до 163, а  $E_e$  в целом уменьшается от исходного значения 72 до 35-45, причем с заметными колебаниями; имеет место неравенство  $\max_{[0,9]} E_e < \min_{[0,2]} E_w$ . При понижении П8 к третьему шагу  $E_w$  поднимается до 255 и практически устанавливается на максимуме, а  $E_e$  в общем уменьшается от исходного значения 72 до 14-25 с ощутимыми колебаниями; также выполняется  $\max_{[0,9]} E_e < \min_{[0,9]} E_w$  (рис.10б,в). В обоих способах изменения П8 оценки адекватные.

Итак, для К2 на первой трети интервала искажения П8 наблюдается *плохая экстраполяция* –  $Ne$  нарастает быстрее, чем  $N_{8+}^2$  и  $N_{8-}^2$ , которые



достигают максимума  $|K2|=17$  на шестом шаге. Уже с третьего шага  $N_e=|K2|$  при повышении П8, а при его понижении  $N_e$  лишь в конце достигает 15.  $E_m$  в целом опускается, причем в случае уменьшения П8 до более низкого уровня, чем при увеличении этого признака. Диапазоны оценок разделены, и оценки адекватны в обоих направлениях изменения П8.

### Класс 3

В классе К3 мало различающиеся между собой  $N_{8-}^3$  и  $N_{8+}^3$  увеличиваются и достигают значения  $|K3|=26$  соответственно на седьмом и восьмом шаге (рис.11а). При повышении П8  $N_e$  нарастает до третьего шага стремительно ( $E_m$  резко падает от 203 до 64); далее  $N_e$  увеличивается замедленно, с участками локальной стабилизации (при этом до шестого шага  $E_m$  незначительно меняется в диапазоне 54-70); на трех последних шагах  $N_e \equiv 25$ , а  $E_m$  колеблется в диапазоне от 116 до 166. До шестого шага  $N_e > N_{8+}^3$  (*плохая экстраполяция*); на седьмом шаге  $N_e = N_{8+}^3$ , а затем  $N_e < N_{8+}^3$ . Оценка  $E_w$  сначала падает от исходного значения 209 к 197, а затем нарастает и с третьего шага практически устанавливается на 255 (рис.11б).  $E_e$  в общем повторяет динамику  $E_m$ , при этом  $E_e < E_m$ , но различие между ними уменьшается с ростом  $N_e$ ; исключением является локальный максимум  $E_e$  на первом шаге, вызванный, как и локальный минимум  $E_w$ , резким увеличением  $N_e$ .

При понижении П8  $N_e$  нарастает ко второму шагу до 4 и не меняется на одном отрезке (аналогично  $N_e \equiv 4$  с седьмого по девятый шаг), а в центральной части интервала искажения сохраняет значение 5; при этом  $E_m$  в общем постепенно увеличивается от 203 до 233, совершая колебания, противоположные динамике  $N_e$ , за исключением начального участка, где существенно влияние имевшейся начальной ошибки. С первого шага искажения  $N_e < N_{8-}^3$  (*хорошая экстраполяция*). Оценка  $E_w$  практически монотонно растет и достигает 244 на последнем шаге (рис.11в).  $E_e$  в целом повышается от исходного значения 56 до 172 на последнем шаге, но при этом совершает колебания с большой амплитудой, что соответствует немонотонному изменению  $N_e$  при ее низком уровне.

В обоих рассмотренных способах искажения К3 выполняется неравенство:  $\max_{[0,9]} E_e < \min_{[0,9]} E_w$ . Тем не менее,  $E_e=162$  на восьмом шаге повышения П8, аналогично  $E_e=172$  на последнем шаге понижения этого признака означают ухудшение *e-monotony*.

Итак, мало различающиеся  $N_{8-}^3$  и  $N_{8+}^3$  соответственно на седьмом и восьмом шаге достигают максимума  $|K3|=26$ . При повышении П8 сначала  $N_e$  стремительно нарастает, выполняется  $N_e > N_{8+}^3$  (*плохая экстраполяция*), при этом  $E_m$  уменьшается; далее это неравенство меняется на противоположное:  $N_e < N_{8+}^3$ , при этом  $N_e$  увеличивается медленно, а в конце стабилизируется, что для  $E_m$  сопровождается появлением локального максимума, и в целом уровень  $E_m$  поднимается. При понижении П8  $N_e$  нарастает на втором шаге до 4, а затем

поднимается в середине интервала искажения до 5 и опускается до 4 к концу.  $E_m$  в целом постепенно увеличивается от 203 до 233, совершая колебания, противоположные динамике  $N_e$ , за исключением начального участка, где существенно влияние имевшейся начальной ошибки. Везде соблюдается условие  $N_e < N_{8-}^3$  (*хорошая экстраполяция*). Для обоих направлений искажения диапазоны оценок разделены, однако появление высоких значений  $E_e$  означает ухудшение *e-monotony*.

#### Класс 4

В классе K4 для обоих направлений изменения П8 мало различающиеся между собой  $N_{8-}^4$  и  $N_{8+}^4$  увеличиваются и на девятом шаге достигают значения 32 ( $|K4|=33$ ) (рис.12а).

При повышении П8  $N_e$  нарастает до 20 к концу интервала искажения, причем до третьего шага  $N_e = N_{8+}^4$  (*посредственная экстраполяция*), а далее  $N_e < N_{8+}^4$  (*хорошая экстраполяция*); при этом  $E_m$  на первом шаге увеличивается от 224 до 243, а далее колеблется в этом небольшом диапазоне. Оценка  $E_w$  почти монотонно нарастает и устанавливается на 255 с третьего шага (рис.12б).  $E_e$  повышается от 147 на первом шаге до 230 в конце. Условие разделения оценок не выполняется, но на каждом шаге  $E_e < E_w$ ; максимальное значение  $E_e$  на девятом шаге (230) вызывает опасение ввиду ухудшения *e-monotony*.

При понижении П8 до четвертого шага  $N_e$  нарастает стремительно, а затем замедленно ( $E_m$  уменьшается с аналогичными темпами); на последнем отрезке  $N_e \equiv 32$ , чему сопутствует небольшое увеличение  $E_m$ . Внутри интервала искажения  $N_e > N_{8-}^4$  (*плохая экстраполяция*). Оценка  $E_w$  сначала падает от исходного значения 224 к 188, колеблется на этом уровне, а затем резко нарастает и с шестого шага устанавливается на 255 (рис.12в).  $E_e$  в общем падает от исходного значения 78 до 54 в конце интервала искажения, совершая колебания и опускаясь до более низкого уровня (34). Выполняется неравенство:

$$\max_{[0,9]} E_e < \min_{[0,9]} E_w, \text{ оценки адекватные.}$$

Итак, мало различающиеся  $N_{8-}^4$  и  $N_{8+}^3$  на девятом шаге достигают максимума  $|K4|=33$ . При увеличении П8 целом среднее повышение  $N_e$  до 20 приводит к незначительным колебаниям  $E_m$ ; на начальных шагах  $N_e = N_{8+}^3$  (*посредственная экстраполяция*), а далее  $N_e < N_{8+}^3$  (*хорошая экстраполяция*). Напротив, при уменьшении П8 нарастание  $N_e$  до 32 вызывает существенное падение  $E_m$ ; внутри интервала искажения  $N_e > N_{8-}^4$  (*плохая экстраполяция*). При повышении П8  $E_e$  достигает большого значения, что свидетельствует об ухудшении *e-monotony*, кроме того, разделения оценок нет, в отличие от понижения П8, при котором оценки адекватные.

## Заключение

Результаты, полученные для классов К2, К3, К4 по признакам П5, П7 и П8, принципиально не отличаются от тех, что наблюдались при рассмотрении признаков П1, П2, П3, П4 и П6 [5], поскольку данные в обучающих базах распределены на конечном отрезке каждого из признаков в обеих группах, то есть имеют одинаковую структуру, вырождение отсутствует.

По классу К1 общим для П5, П7 и П8 является то, что при изменении соответствующего признака  $N_{5-}^1$  и  $N_{5+}^1$ ,  $N_{7-}^1$  и  $N_{7+}^1$ ,  $N_{8-}^1$  и  $N_{8+}^1$  устанавливаются на максимуме  $|K1|=33$ .

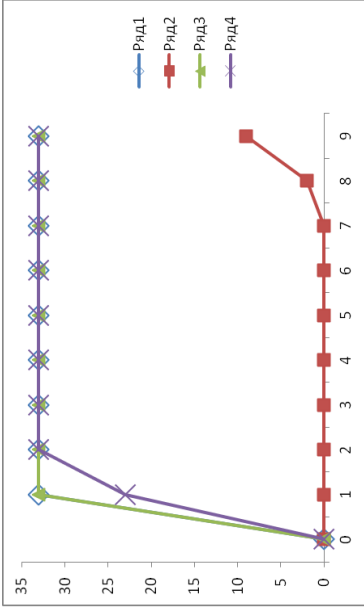
Закономерности, наблюдающиеся в К1 для признаков П1, П2, П3, П4 и П6, сохраняются для П5, П7 и П8, а именно,  $N_e$  остается ниже стремительно нарастающих  $N_{b+}^1$  и  $N_{b-}^1$  вплоть до достижения двумя последними указанными величинами значения  $|K1|$  и установления на нем (*хорошая экстраполяция, в ряде случаев на малом интервале*).

Более того, при увеличении П5 имеется значительная область, где сохраняется распознавание без ошибок; при понижении П7 и повышении П8 это распространяется на весь исследуемый диапазон. В указанных случаях оценки с первого шага стабилизируются на максимуме, то есть проблемы с экстраполяцией и с оценками отсутствуют.

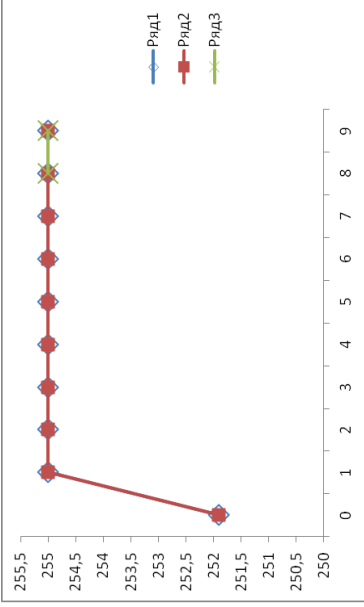
Тем самым показано, что отсутствие в К1 данных по каждому из этих признаков компенсируется их наличием по остальным классам.

В возникшей сложной ситуации, обусловленной эпидемией коронавируса COVID-19, в некоторых клиниках РФ были сделаны первые шаги по бесконтактному оцениванию состояния здоровья пациентов, чтобы минимизировать риск заражения врачей и частично уменьшить нагрузку на них. А именно, ряд измеряемых у больных параметров медицины могут увидеть дистанционно, без посещения палаты.

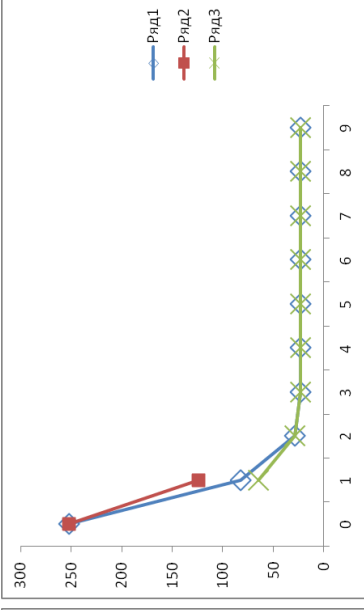
Предложенный нами подход пригоден для использования не только показателей крови, поскольку врач изучает данные различных анализов и проводит некое деление на классы. Собрав всю эту информацию, вполне реально провести обучение статистического классификатора с целью его дальнейшего автоматического использования.



а) П5+:( $N_{5+}^1 - Ne$ ), П5-:( $N_{5-}^1 - Ne$ )

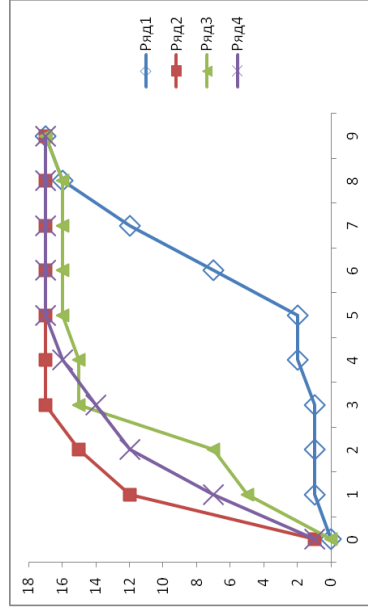


б) П5+:( $E_m, E_w, E_e$ )

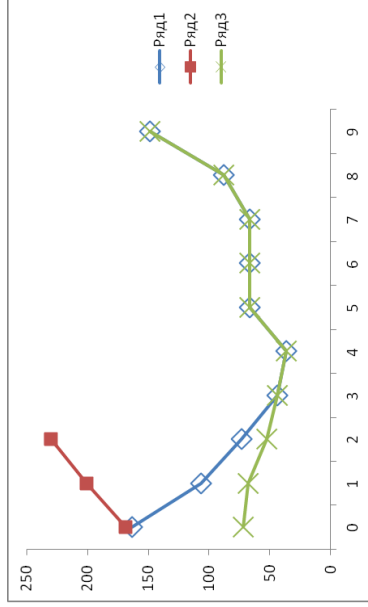


в) П5-:( $E_m, E_w, E_e$ )

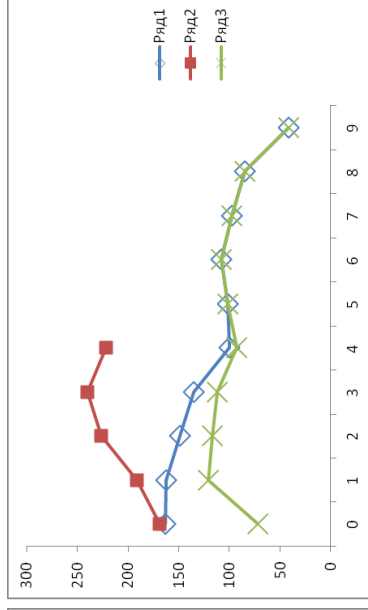
Рис. 1. Признак 5, класс 1



а) П5+:( $N_{5+}^2 - Ne$ ), П5-:( $N_{5-}^2 - Ne$ )

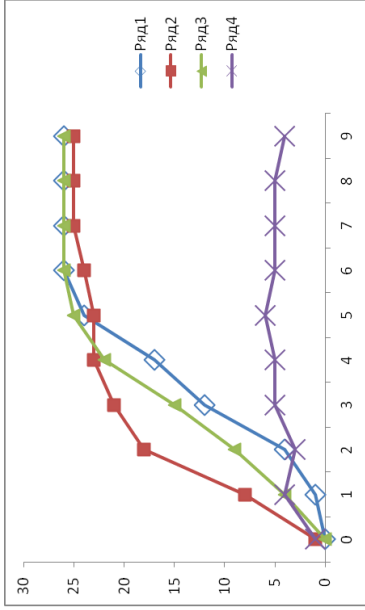


б) П5+:( $E_m, E_w, E_e$ )

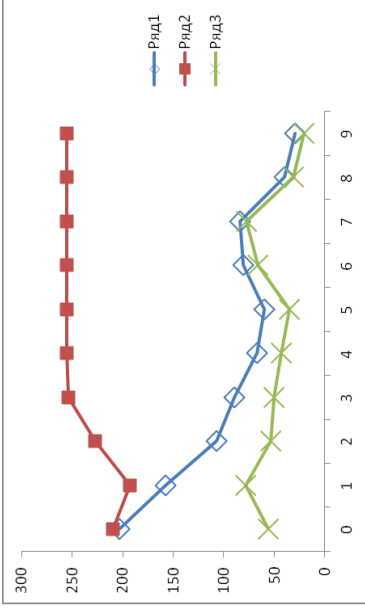


в) П5-:( $E_m, E_w, E_e$ )

Рис. 2. Признак 5, класс 2

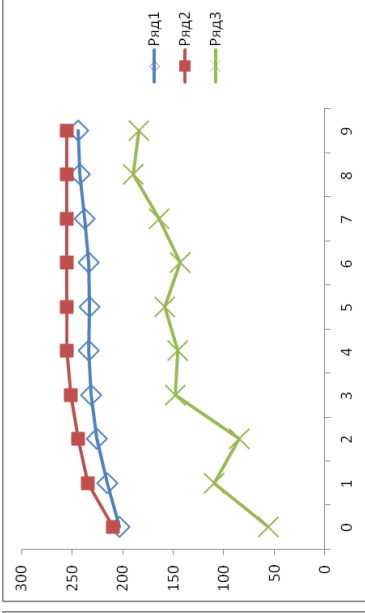


а) П5+:( $N_{5+}^3 - Ne$ ), П5-:( $N_{5-}^3 - Ne$ )

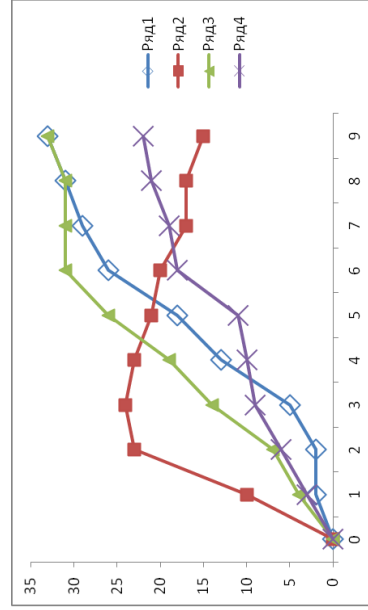


б) П5+:( $E_m, E_w, E_e$ )

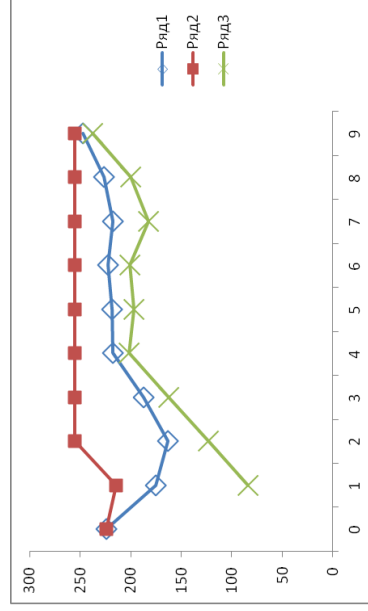
Рис. 3. Признак 5, класс 3



е) П5-:( $E_m, E_w, E_e$ )

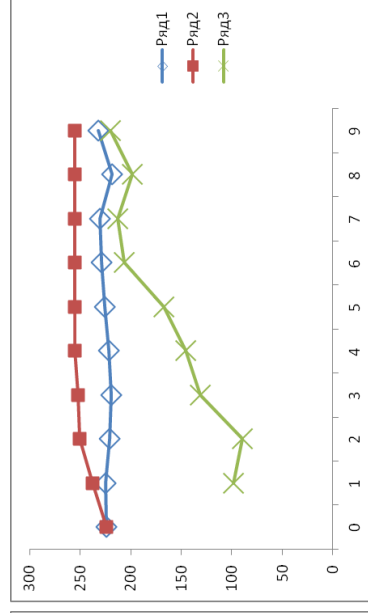


а) П5+:( $N_{5+}^4 - Ne$ ), П5-:( $N_{5-}^4 - Ne$ )

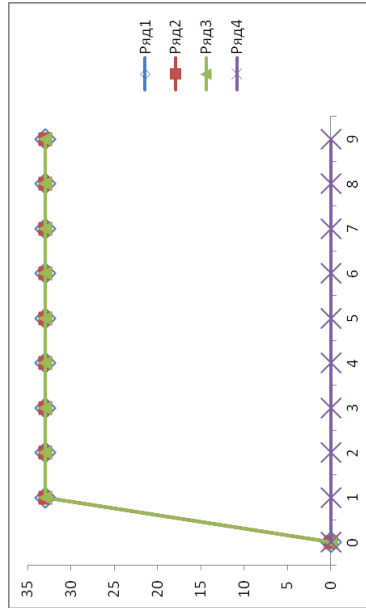


б) П5+:( $E_m, E_w, E_e$ )

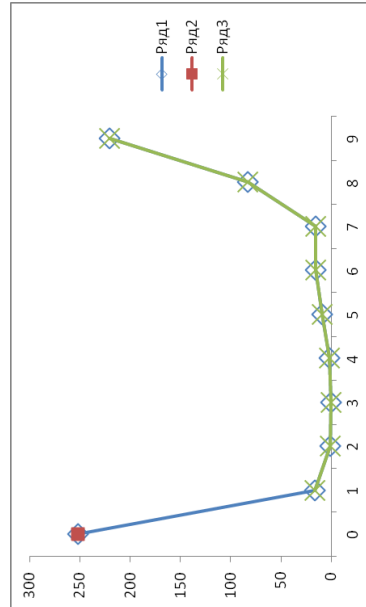
Рис. 4. Признак 5, класс 4



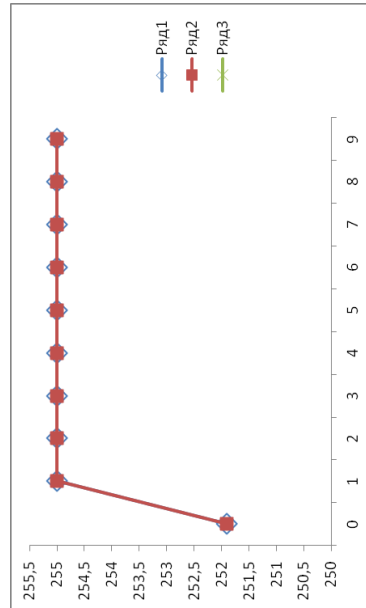
е) П5-:( $E_m, E_w, E_e$ )



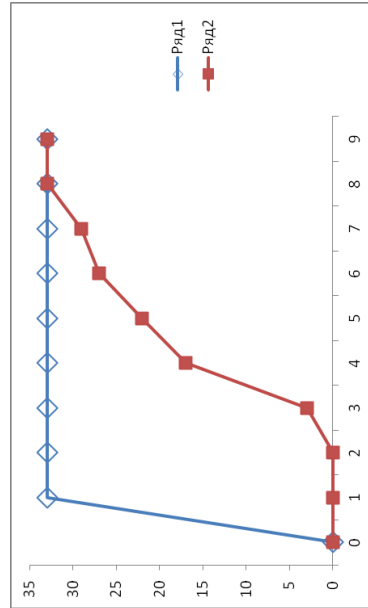
а) П7+:( $N_{7+}^1 - Ne$ ), П7-:( $N_{7-}^1 - Ne$ )



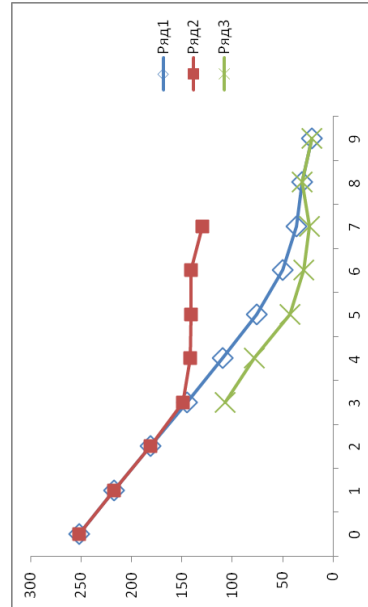
б) П7+:( $E_m, E_w, E_e$ )



в) П7-:( $E_m, E_w, E_e$ )

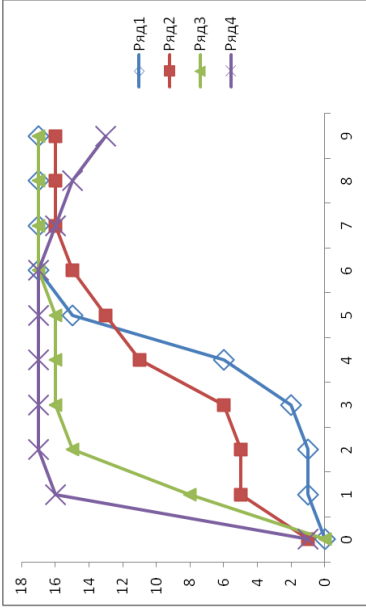


з) П7+:( $N_{7+}^1 - Ne$ ) на [0,1)

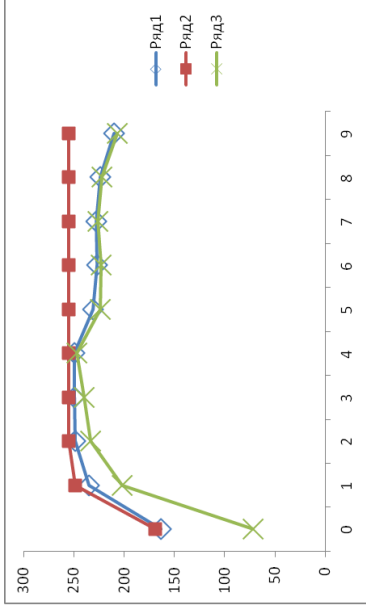


д) П7+:( $E_m, E_w, E_e$ ) на [0,1)

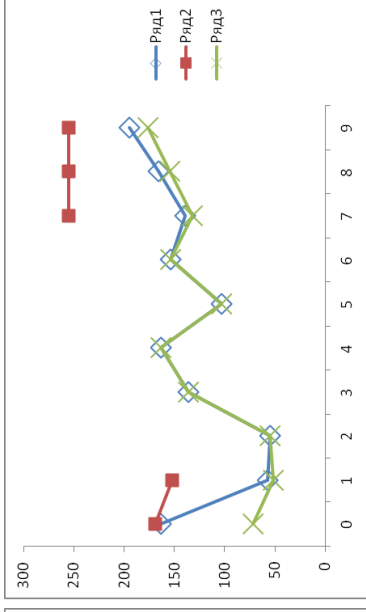
Рис. 5. Признак 7, класс 1



а) П7+:( $N_{7+}^2 - Ne$ ), П7-:( $N_{7-}^2 - Ne$ )

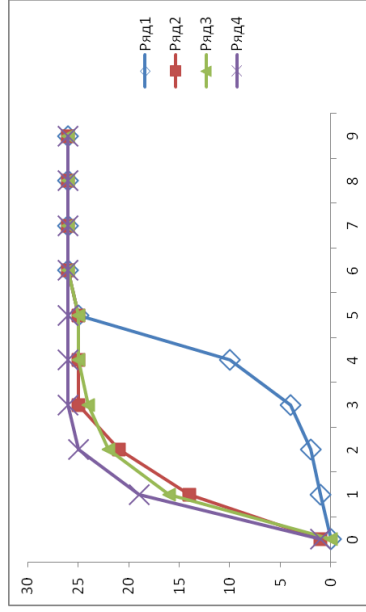


б) П7+:( $E_m, E_w, E_e$ )

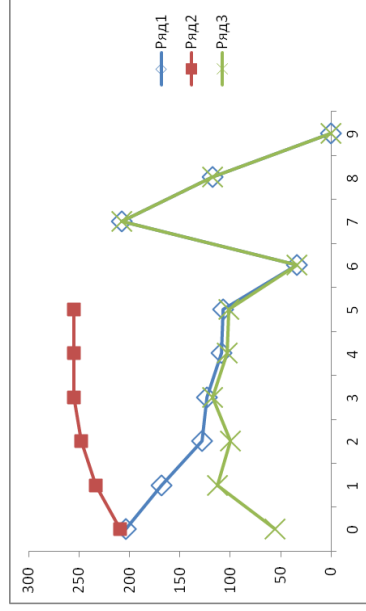


в) П7-:( $E_m, E_w, E_e$ )

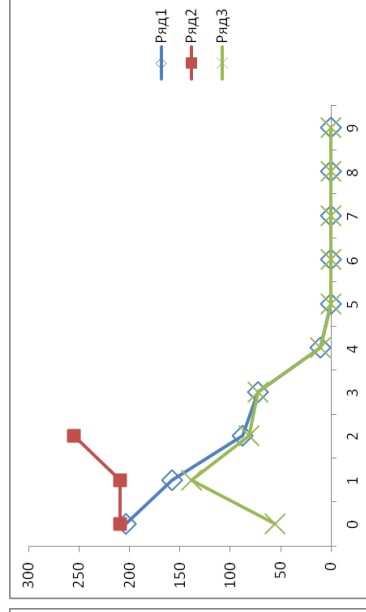
Рис. 6. Признак 7, класс 2



а) П7+:( $N_{7+}^3 - Ne$ ), П7-:( $N_{7-}^3 - Ne$ )

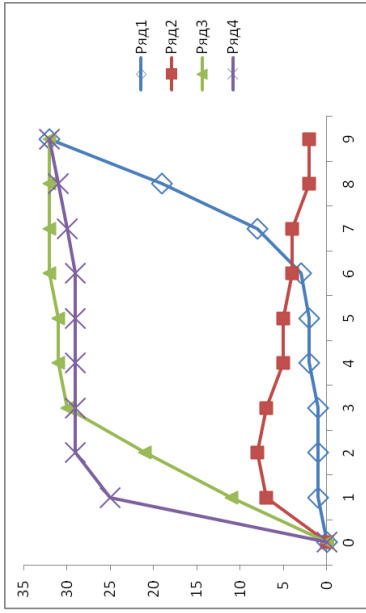


б) П7+:( $E_m, E_w, E_e$ )

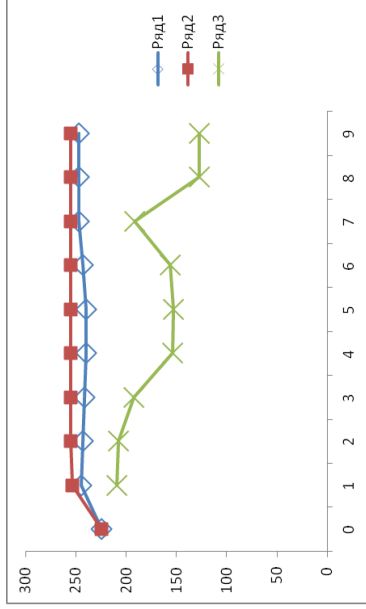


в) П7-:( $E_m, E_w, E_e$ )

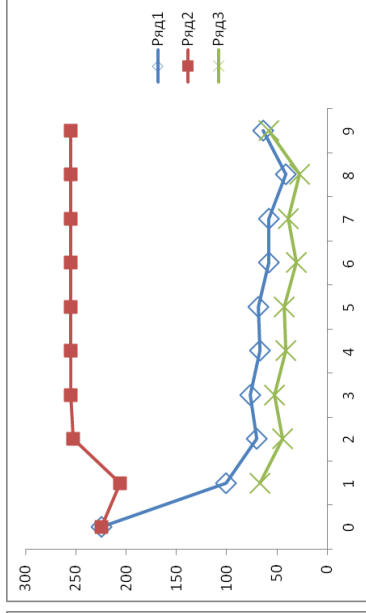
Рис. 7. Признак 7, класс 3



а) П7+:( $N_{7+}^4 - Ne$ ), П7-:( $N_{7-}^4 - Ne$ )

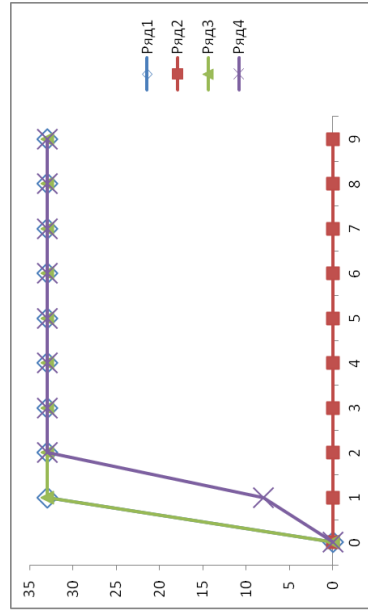


б) П7+:( $E_m, E_w, E_e$ )

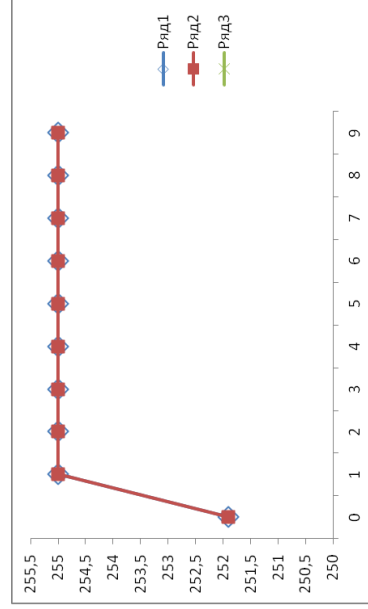


в) П7-:( $E_m, E_w, E_e$ )

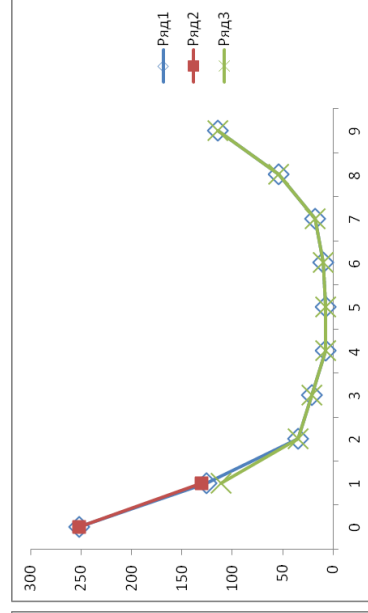
Рис. 8. Признак 7, класс 4



а) П8+:( $N_{8+}^1 - Ne$ ), П8-:( $N_{8-}^1 - Ne$ )



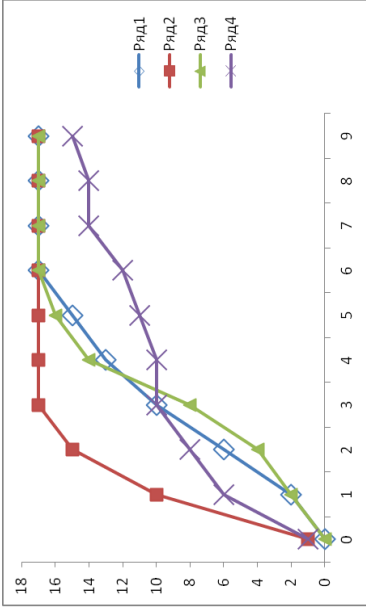
б) П8+:( $E_m, E_w, E_e$ )



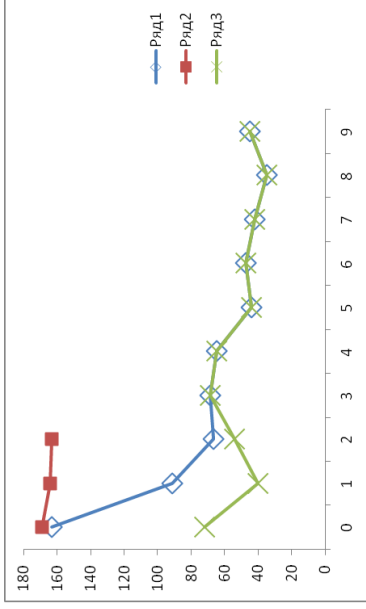
в) П8-:( $E_m, E_w, E_e$ )

Рис. 9. Признак 8, класс 1

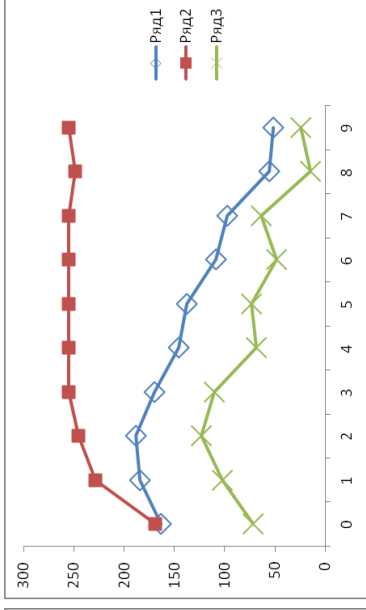




а) П8+:( $N_{8+}^2 - Ne$ ), П8-:( $N_{8-}^2 - Ne$ )

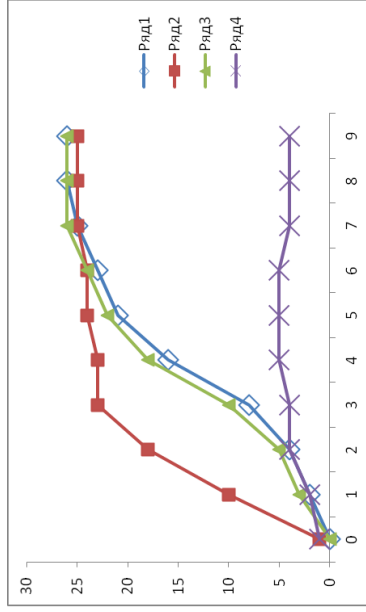


б) П8+:( $E_m, E_w, E_e$ )

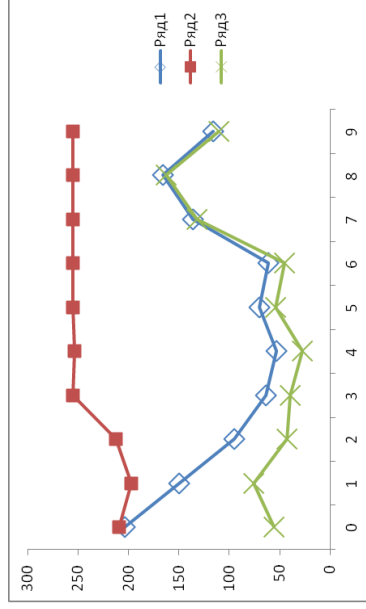


е) П8-:( $E_m, E_w, E_e$ )

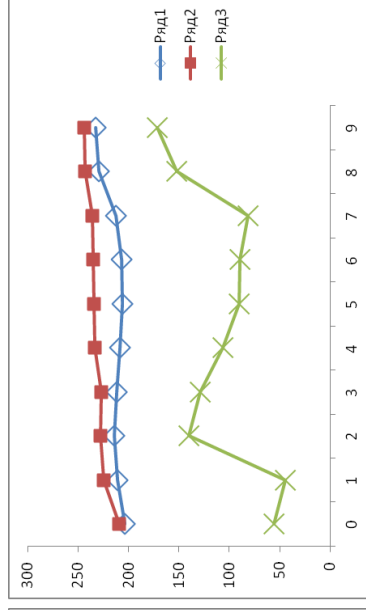
Рис. 10. Признак 8, класс 2



а) П8+:( $N_{8+}^3 - Ne$ ), П8-:( $N_{8-}^4 - Ne$ )

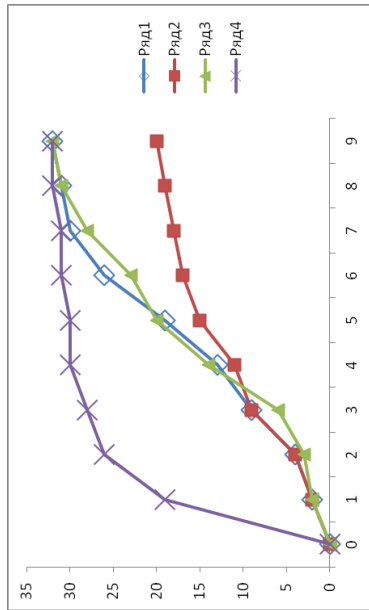


б) П8+:( $E_m, E_w, E_e$ )

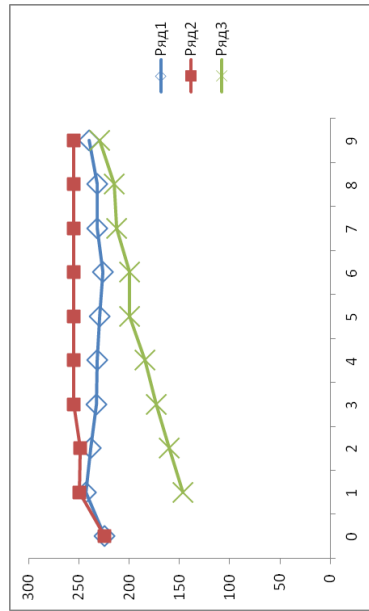


е) П8-:( $E_m, E_w, E_e$ )

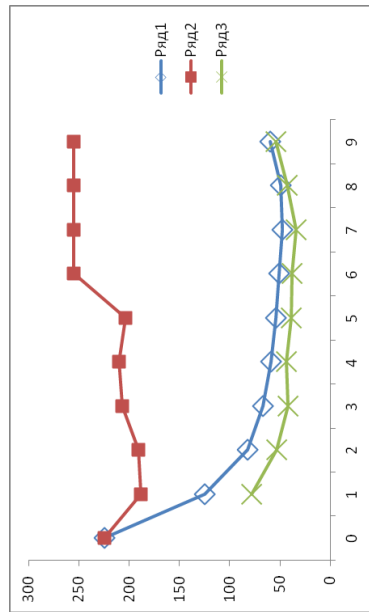
Рис. 11. Признак 8, класс 3



а) П8+:( $N_{8+}^4 - Ne$ ), П8-:( $N_{3-}^4 - Ne$ )



б) П8+:( $E_m, E_w, E_e$ )



в) П8-:( $E_m, E_w, E_e$ )

Рис. 12. Признак 8, класс 4

## Библиографический список

1. Количественная оценка гомеостатической активности здоровых и больных людей / Ставицкий Р.В. [и др.]. М.: ГАРТ. 2013. 131 с.
2. Гавриков Б.М., Гавриков М.Б., Пестрякова Н.В. Статистический метод распознавания на основе нелинейной регрессии // Математическое моделирование. 2020. Т.32. №4. С.116-130.
3. Гавриков Б.М., Гавриков М.Б., Пестрякова Н.В. О структуре базы обучения классификатора для оценивания состояния здоровья человека // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2018. № 126. 18 с.
4. Гавриков Б.М., Гавриков М.Б., Пестрякова Н.В. Структура базы обучения статистического классификатора состояний систем организма человека // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2018. № 255. 40 с.
5. Гавриков Б.М., Гавриков М.Б., Пестрякова Н.В. Об устойчивости статистического классификатора состояний систем организма человека к искажениям // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2020. № 32. 40 с.
6. Schürmann J. Pattern Classification. — New York: John Wiley&Sons, Inc., 1996.