

## ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССОВ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ И ДЕФОСФОРАЦИИ Fe-C СПЛАВА

Mourad Aouati

### 1. Введение

Рассматривая металлургические процессы как объекты исследования, необходимо отметить, что по природе описания они могут быть отнесены к категории химико-технологических процессов. В пользу этого говорит тот факт, что такие процессы, реализуемые в промышленных печах, описываются гетерогенными окислительно-восстановительными реакциями, протекающими в среде «расплав – шлак – атмосфера». Характер данных процессов влияет на функционирование плавильных технологических систем и предопределяет выбор управляющих воздействий. С учетом многомерности данных объектов и их инерционности, основные направления научных исследований в этой области ориентированы на создание информационных систем поддержки принятия решений [1, 2]. А также ориентированы на разработку математического обеспечения таких информационных систем [3, 4]. При этом приоритетными для адекватного описания и последующего информационного сопровождения систем управления, являются процессы десульфурации и дефосфорации выплавляемого сплава. Несоответствие качества управления данными процессами приводит к формированию красноломкости сплава по причине завышенных концентраций в нем серы и хладноломкости по причине завышенных концентраций в нем фосфора. Согласно системному описанию процессов десульфурации и дефосфорации, представленному в работе [5], могут быть выделены основные направления реализации данных процессов. Так, сера образует с некоторыми металлами сульфиды, причем они могут иметь как неограниченную растворимость в железе, так и не растворяться в нем практически совсем. С железом сера образует сульфид  $FeS$ , имеющий неограниченную растворимость в железе. Целью десульфурации является выведение серы из расплава в шлак. Это достигается за счет перехода серы из активной формы (растворимой в расплаве) в пассивную (мало- и нерастворимую). При избытке окиси кальция и высокой температуре идет следующая реакция с сульфидом железа:  $FeS + CaO = CaS + FeO$ . Сульфид кальция совершенно нерастворим в металле и выделяется полностью в шлак. При плавке стали данная реакция не может пройти полностью, так как в шлаке присутствует в значительном количестве закись железа, которая вступает в реакцию с сульфидом кальция, как только его содержание в шлаке увеличивается. Поэтому при высоком содержании в шлаке закиси железа в нем может находиться только немного сульфида кальция. Содержание этого соединения в шлаке возрастает по мере увеличения основности шлака. Углерод, кремний и алюминий в значительной степени уменьшают растворимость серы в железе, повышая, таким образом, активность серы к десульфурации. Десульфурацию чугуна можно осуществлять

и марганцем, который также повышает активность серы к десульфурации ( $FeS \rightarrow MnS$ ). Сульфид марганца при этом переходит в шлак. Развитие этой реакции в жидкой стали ограничено в силу того, что в сталях активность серы гораздо ниже, чем в чугунах. Поэтому применение марганца для процесса десульфурации стали эффективно только в высокомарганцевых сталях.

Способом повышения эффективности процесса десульфурации стали является диффузионное раскисление при обработке белых шлаков порошками кокса и ферросилиция или введением в расплав плавикового шпата ( $CaF_2$ ) [5].

Фосфор в стали находится в виде фосфида железа, окисление которого проходит по реакции:  $2Fe_3P + 5FeO = P_2O_5 + 11Fe$ . Образующееся в результате этой реакции соединение  $P_2O_5$  нерастворимо в стали и переходит в шлак. Если в шлаке имеется в избытке свободная окись кальция, то в нем протекает реакция:  $P_2O_5 + 4CaO = Ca_4P_2O_9$ . Образующееся в результате этой реакции соединение  $Ca_4P_2O_9$  является очень прочным и удаляется путем скачивания шлака. Если в шлаке содержится много окиси кремния, то закись железа и окись кальция соединяются с ней как с более сильным кислотным окислом, а пятиокись фосфора остается в шлаке в свободном состоянии.

При повышенной температуре пятиокись фосфора  $P_2O_5$  восстанавливается углеродом, растворенном в стали, а образующийся в результате этого свободный фосфор вновь переходит в сталь:  $P_2O_5 + 5C = 2P + 5CO$  [5].

Таким образом, зная принципы протекания окислительно-восстановительных реакций, возможна разработка алгоритмов управления процессами десульфурации и дефосфорации. Такие алгоритмы должны базироваться на системе классифицирующих правил «если, ..., то» и допускать их возможность использования в системах поддержки принятия решений о выборе управления процессами плавки. Если же плавка проводится не в одной печи, а в двух – дуплекс-процессом – возникает еще одна актуальная задача. Она связана со следующим обстоятельством. Если в конечном продукте – сплаве – концентрация серы и/или фосфора выше допустимого предела, необходимо определить, какой из последовательно включенных агрегатов технологической системы «несет ответственность» за полученный брак конечного продукта.

## 2. Объект исследования и его технологический аудит

Объектом исследования являлся дуплекс-процесс плавки чугуна «вагранка – электродуговая печь», реализуемый в литейном цехе машиностроительного предприятия. В вагранке – шахтной печи непрерывного действия, работающей по принципу противотока, происходит расплавление твердой шихты, загружаемой сверху, газами, выделяющимися при горении твердого топлива – кокса, или газообразного топлива. Расплавленный чугун стекает через летку в копильник, просачиваясь сквозь слой кокса. При плохом его качестве, определяемом, в первую очередь, наличием серы, расплав интенсивно насыщается серой. Наличие некачественной шихты с повышенным содержанием фосфора и практическая сложность его удаления непосредственно в процессе расплавления в ва-

гранке, приводит к тому что расплав имеет высокое содержание серы и фосфора, в том числе превышающие допустимые.

Второй агрегат – электродуговая печь – позволяет провести процессы десульфурации и дефосфорации, доведя содержание серы и фосфора до заданных пределов. Целью технологического аудита являлось исследование качества процессов десульфурации и дефосфорации в реальных условиях цеха. Это в прогнозе дает возможность построения классифицирующих правил, позволяющих провести идентификацию участка технологического процесса, на котором сформировался брак по повышенному содержанию серы и/или фосфора в готовом сплаве.

Функциональные схемы автоматизации обоих агрегатов соответствуют типовым [6] и представлены на рис. 1, 2.

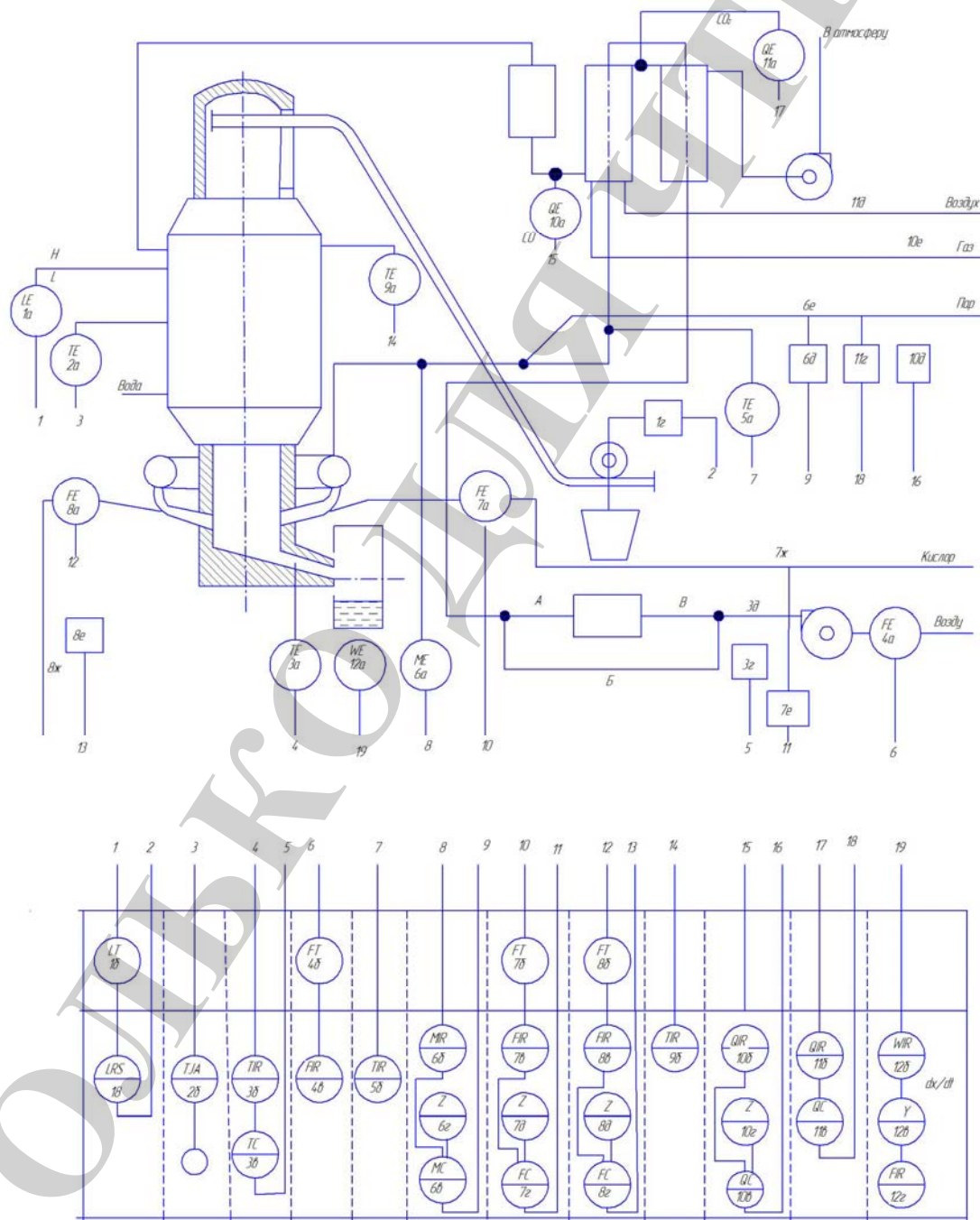


Рис. 1. Функциональная схема автоматизации процесса ваграночной плавки



1	2	3	4	5
4	0,094	0,077	0,084	0,078
5	0,13	0,073	0,075	0,093
6	0,077	0,083	0,06	0,076
7	0,095	0,094	0,064	0,07
8	0,099	0,089	0,062	0,084
9	0,099	0,087	0,057	0,069
10	0,093	0,064	0,071	0,079
11	0,096	0,064	0,07	0,082
12	0,11	0,064	0,078	0,085
13	0,096	0,062	0,076	0,086
14	0,141	0,075	0,065	0,085
15	0,184	0,078	0,066	0,084
16	0,117	0,101	0,084	0,085
17	0,148	0,091	0,083	0,083
18	0,172	0,065	0,053	0,081
19	0,106	0,065	0,061	0,084
20	0,117	0,069	0,059	0,088
21	0,108	0,07	0,053	0,09
22	0,106	0,064	0,083	0,075
23	0,128	0,091	0,068	0,072
24	0,111	0,09	0,062	0,087
25	0,117	0,086	0,068	0,08
26	0,114	0,09	0,07	0,071
27	0,113	0,08	0,068	0,096
28	0,112	0,078	0,07	0,09
29	0,093	0,078	0,087	0,072
30	0,077	0,086	0,086	0,078
31	0,101	0,075	0,08	0,089
32	0,104	0,078	0,084	0,112
33	0,116	0,07	0,089	0,09
34	0,111	0,08	0,092	0,085
35	0,114	0,08	0,071	0,093

Визуальная оценка полученных экспериментальных данных позволяет увидеть, что чугун, выплавленный в электродуговой печи, имеет меньшие концентрации серы и фосфора. Этот факт не противоречит известному мнению о том, что чугун ваграночной плавки обладает повышенными содержаниями серы и фосфора. Причиной этого является насыщение данными элементами расплава при просачивании через кокс.

### **3. Цель и задачи исследования**

Цель исследования состояла в построении классифицирующего правила, позволяющего идентифицировать агрегат технологической системы, процесс в котором привел к отклонению по содержанию серы и фосфора.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи.

1. Провести статистическую обработку экспериментальных данных и на ее основе выбрать метод распознавания образов.
2. Оценить точность реализации выбранного алгоритма построения классифицирующего правила.

### **4. Исследование существующих решений проблемы**

Известны результаты эффективного применения байесовской статистики для решения прикладных задач управления качеством в химико-технологических и металлургических процессах, а также в материаловедении [7–10]. Целью применения такого подхода являлось:

- определение участка технологической цепочки, на котором формируется параметрический отказ технологической системы [7];
- идентификация сплава с точки зрения его принадлежности определенной марке [8, 9];
- определение мест локализации дефектов макроструктуры материалов [10].

Очевидным недостатком данных работ является отсутствие подтверждающих обоснований допустимой точности полученных классифицирующих правил.

Современные подходы к повышению точности классификации некоторые авторы связывают с использованием нейронных сетей [11–13], причем акцент делается на качестве обучения нейронной сети. Так, в работе [12] предложено использовать для системы нейросетевого распознавания образов экспертные решения. На их основе по статистическим данным наблюдений строятся обучающие выборки. Результатом применения предложенного авторами алгоритма являются повышение относительной доли правильных экспертных оценок в среднем на 20 % и снижение относительной доли ложных на 50 %. Данная работа, однако, обладает тем недостатком, что в ней не представлены ограничения на использование предложенного метода.

В данных работах отмечено также, что при создании универсальных систем распознавания образов невозможно обойтись лишь одной из моделей обучения. И это особо проявляется при попытках построения универсальных систем для широкого круга приложений.

В работах [11–13] может быть отмечен еще один общий недостаток – в них не учитываются ситуации, когда компоненты векторов-образов не подлежат измерению с достаточной степенью точности. Неопределенность в оценке параметров векторов-образов приводит к необходимости их нечеткого описания, способы которого описаны, например, в работах [14, 15]. Все описанные результаты представляют интерес в теоретической плоскости и могут быть использованы для решения практических задач. Однако иногда для разработки систем поддержки принятия решений в промышленности удается эффективно использовать классические параметрические методы.

## 5. Методы исследования

Основным методом исследования выбраны параметрические методы распознавания образов [16, 17]. Их задача состоит в том, чтобы на основе использования теоремы Байеса об условной вероятности принадлежности  $j$ -го объекта к классу  $A$  и  $B$ :

$$\begin{aligned} P(A|x^j) &= \frac{P(A) p_A(x^j)}{P(A) p_A(x^j) + P(B) p_B(x^j)}, \\ P(B|x^j) &= \frac{P(B) p_B(x^j)}{P(A) p_A(x^j) + P(B) p_B(x^j)}, \end{aligned} \quad (1)$$

построить классификационное правило, позволяющее относить объект к одному из классов. При этом, если математические ожидания вектора  $X$  для классов  $A$  и  $B$  обозначить через  $m_A$  и  $m_B$  соответственно, и принять, что ковариационные матрицы распределения вектора  $X$  для классов  $A$  и  $B$  примерно равны, плотности распределения вероятностей  $p_A(X)$  и  $p_B(X)$  представляются в виде:

$$\begin{aligned} p_A(X) &= k e^{\left(-\frac{1}{2}(x-m^A)' \text{cov}^{-1}(x)(x-m^A)\right)}, \\ p_B(X) &= k e^{\left(-\frac{1}{2}(x-m^B)' \text{cov}^{-1}(x)(x-m^B)\right)}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $k$  – постоянный множитель.

В аналитических описаниях (1), (2)  $\text{cov}(X)$  – ковариационная матрица,  $P(A)$ ,  $P(B)$  – априорные вероятности классов,  $p_A(X)$  и  $p_B(X)$  – плотности распределения вероятностей, имеющие вид:

$$\begin{aligned} p_A(X) &= d \exp\left(-\frac{1}{2}(x-m_A)^T \text{cov}^{-1}(x)(x-m_A)\right), \\ p_B(X) &= d \exp\left(-\frac{1}{2}(x-m_B)^T \text{cov}^{-1}(x)(x-m_B)\right), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $d$  – постоянный множитель,  $\text{cov}(x) = \frac{1}{N} X^T X - m^T m$  – ковариационная матрица,  $\text{cov}^{-1}(x)$  – матрица, обратная ковариационной.

В этом случае объект  $x^j$  может быть отнесен к тому классу, которому соответствует большая условная вероятность:

$$\begin{aligned}
 x^j \in A \text{ если } P(A|x^j) &\geq P(B|x^j), \\
 x^j \in B \text{ если } P(A|x^j) &< P(B|x^j).
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Классифицирующее правило с использованием отношения правдоподобия  $l(x^j)$  может быть представлено в виде:

$$L(x^j) = \frac{P(A) p_A(x^j)}{P(B) p_B(x^j)} = \frac{P(A)}{P(B)} l(x^j).
 \tag{5}$$

Дискриминантная функция в этом случае имеет вид:

$$y = f(x) = x' \text{cov}^{-1}(x)(m_A - m_B).
 \tag{6}$$

Пороговое значение дискриминантной функции, позволяющее произвести сравнение для принятия решения о принадлежности объекта к конкретному классу, рассчитывается на основе уравнения:

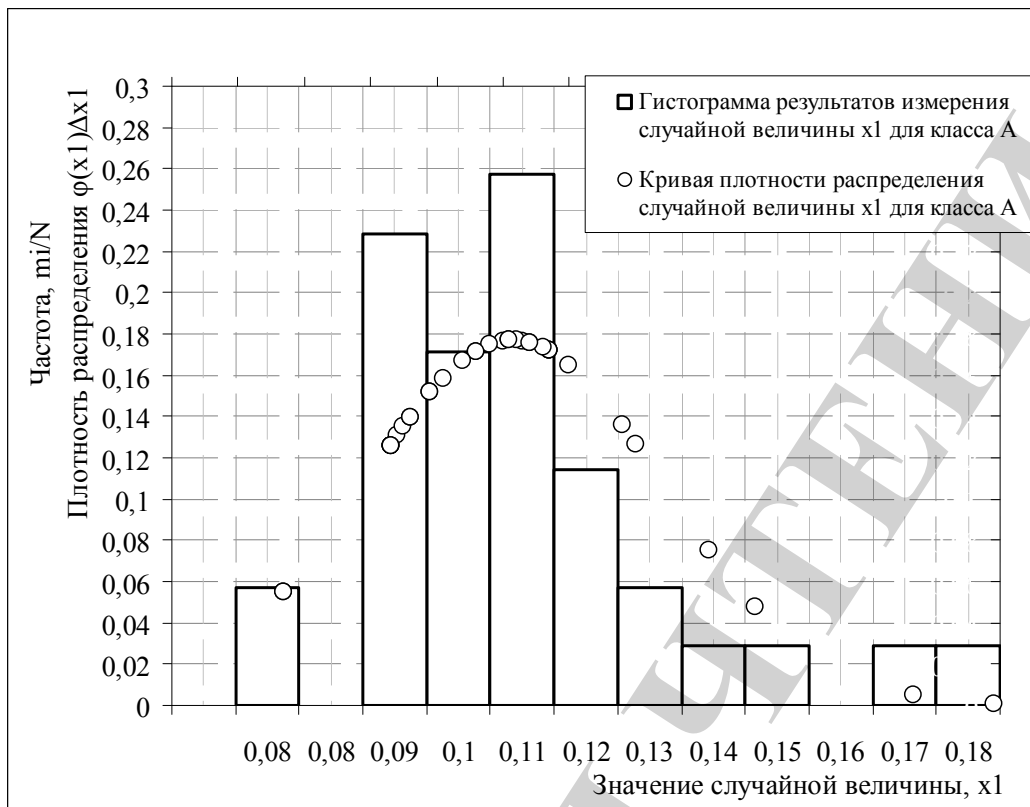
$$y_0 = \frac{1}{2}(m_A + m_B)' \text{cov}^{-1}(x)(m_A - m_B) - \ln \frac{P(A)}{P(B)}.
 \tag{7}$$

Описание (7) позволяет при известных вероятностях классов проводить оценку принадлежности объекта классу А или В с использованием линейной дискриминантной функции.

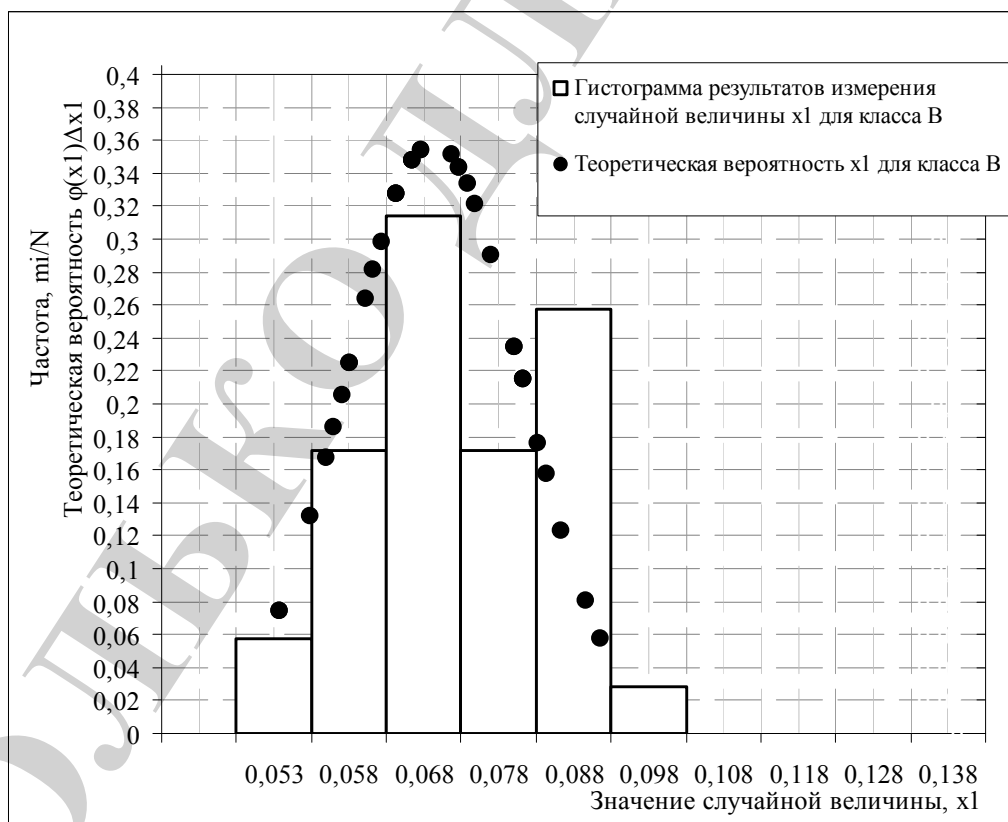
## 6. Результаты исследований

На рис. 3, 4 приведен результаты статистической обработки экспериментальных данных (табл. 1) в виде гистограмм и плотности распределения содержания серы в сплаве, полученном из вагранки и электродуговой печи соответственно. На рис. 5, 6 представлены результаты статистической обработки экспериментальных данных (табл. 1) в виде гистограмм и плотности распределения содержания фосфора в сплаве, полученном из вагранки и электродуговой печи соответственно. Принято, что класс А соответствует данным, полученным в процессе ваграночной плавки, класс В соответствует данным, полученным в процессе электродуговой плавки.





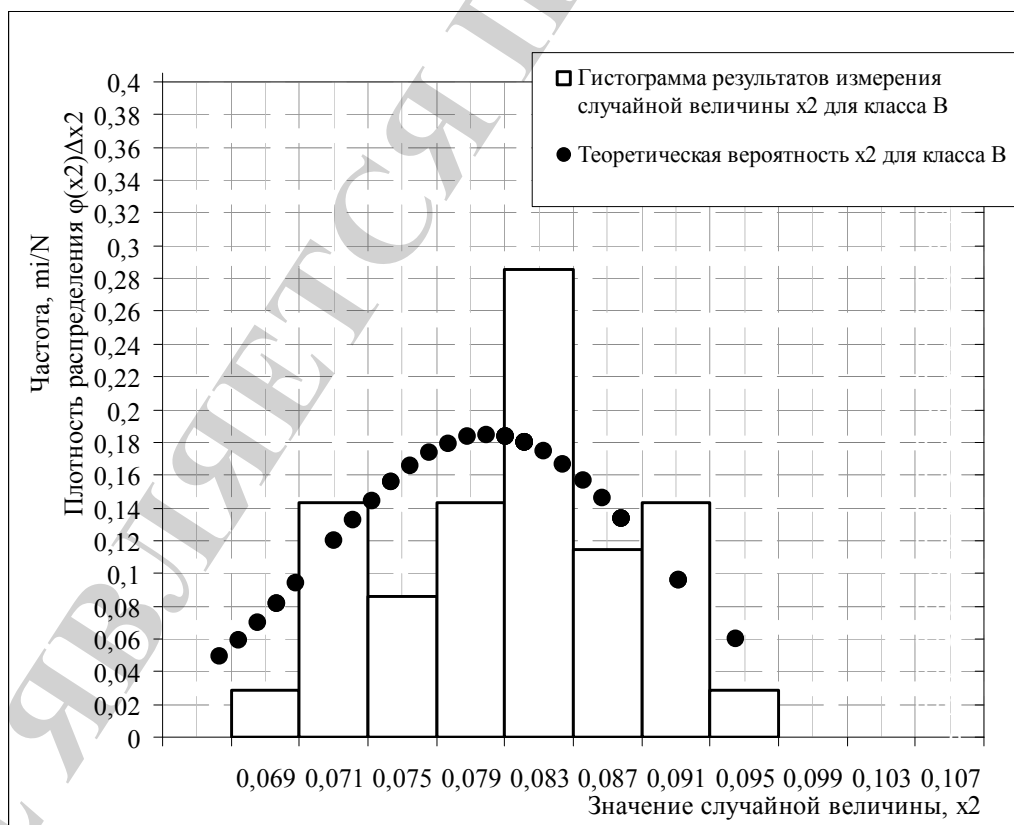
**Рис. 3.** Гистограмма распределения содержания серы в сплаве, полученном из вагранки:  $x_1=S$ , %,  $\varphi(x_1)$  – плотность распределения



**Рис. 4.** Гистограмма распределения содержания серы в сплаве, полученном из электродуговой печи:  $x_1=S$ , %,  $\varphi(x_1)$  – плотность распределения



**Рис. 5.** Гистограмма распределения содержания фосфора в сплаве, полученном из вагранки:  $x_2=P$ , %,  $\phi(x_2)$  – плотность распределения



**Рис. 6.** Гистограмма распределения содержания фосфора в сплаве, полученном из электродуговой печи:  $x_2=P$ , %,  $\phi(x_2)$  – плотность распределения

Из рис. 3–6 видно, что без проверки гипотезы о нормальном законе распределения не корректно утверждать о выполнении этого закона. Вероятно наличие систематической ошибки, которая должна быть устранена. Однако есть основания считать, что закон распределения соответствует нормальному, базируясь на известном экспертном опыте. Устранение систематической погрешности и проверка соответствующей гипотезы могут это подтвердить.

Использованием алгоритма (1)–(7) на основе экспериментальных данных, приведенных в табл. 1, получено классифицирующее правило вида:

$$\begin{aligned} x^j \in A \text{ если } 329,0798x_1 - 99,9363x_2 &\geq 22,27076, \\ x^j \in B \text{ если } 329,0798x_1 - 99,9363x_2 &< 22,27076. \end{aligned} \quad (8)$$

На рис. 7 представлено распределение экспериментальных точек и показана разделяющая прямая, описываемое дискриминантной функцией вида:

$$329,0798x_1 - 99,9363x_2 = 22,27076. \quad (9)$$

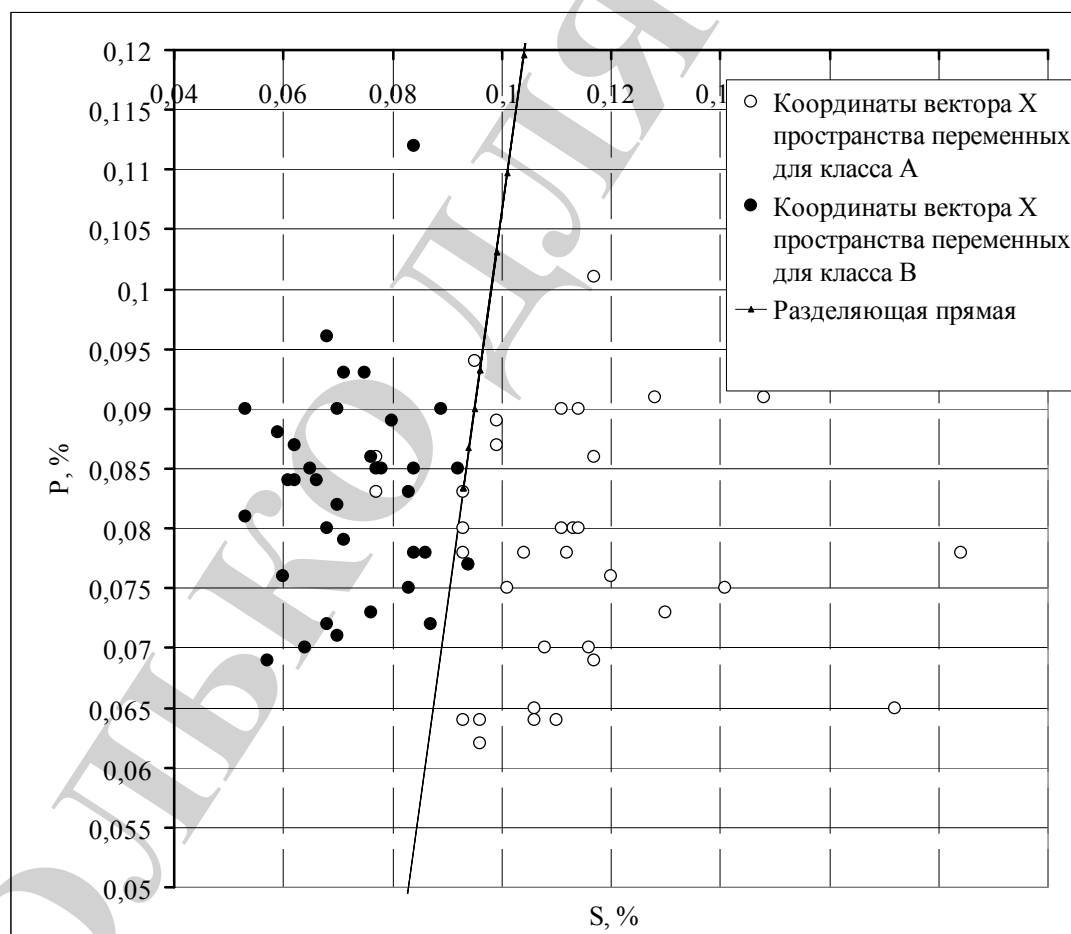


Рис. 7. Распределение экспериментальных точек и разделяющая прямая

Точность правильной классификации определяется количеством правильно классифицированных объектов и в данном случае она составляет:  $P(A)=0,914$ ,

$P(B)=0,971$ . Это говорит о высоком качестве построения классификационного правила, причем, несмотря на кажущееся отклонение закона распределения переменных состояния от нормального. Для повышения качества классификации может быть выбран оптимальным образом диапазон значений переменных состояния. При этом под оптимальным следует понимать возможность выбора значений переменных состояния, при котором дисперсионные матрицы классов окажутся равными между собой [18].

## 7. SWOT-анализ результатов исследований

*Strengths.* Среди сильных сторон данного исследования необходимо отметить получение классифицирующего правила с достаточно высокой точности. Это означает, что применение такого правила может дать возможность правильной идентификации участка технологического процесса, обладающего более низким показателем параметрической надежности. В свою очередь, это открывает возможность повышения качества управления процессами десульфурации и дефосфорации за счет правильного выбора управляющих воздействий. В результате затраты от некачественного готового продукта – сплава – минимизируются.

*Weaknesses.* Слабые стороны данного исследования связаны с тем, что проанализирована небольшая выборка данных, вследствие чего полученная точность классификации не является исчерпывающей. При большой выборке данных следует провести пересчет коэффициентов в аналитическом описании классифицирующего правила, при этом может оказаться, что, либо точность классификации станет ниже, либо разделяющая кривая перестанет быть прямой. Понижение точности классификации при этом может привести к ошибочно принятому решению по управлению процессами десульфурации и дефосфорации и, как следствие, к повышению брака готового продукта.

*Opportunities.* Дополнительные возможности при использовании приведенных результатов в промышленных условиях связаны с использованием полученного классифицирующего правила в информационных системах поддержки принятия решений. Однако это требует интеграции соответствующего математического описания в информационно-управляющую систему (ИУС), что, очевидно, влечет за собой необходимость дополнительного инвестирования в техническое обеспечение технологического процесса плавки.

*Threats.* Очевидные риски при использовании полученных результатов связаны со следующим обстоятельством. Использование полученного классифицирующего правила как основы для ИУС должно быть обосновано с точки зрения сопоставления затрат на модернизацию оборудования или системы управления и затрат на приобретение готовых решений для SCADA-систем. Если точность классифицирующего правила при проведении дополнительных исследований по большей выборке данных окажется недостаточной, то принятие решений по модернизации существующей ИУС окажется отложенным по времени. В этом случае предварительно необходимо будет получить более точное математическое описание.

## 8. Выводы

1. На основе статистической обработки данных установлено, что для построения классифицирующего правила, позволяющего провести идентификацию участка технологического процесса, обладающего более низким показателем параметрической надежности, может быть применен алгоритм параметрических методов распознавания образов. Показано, что при этом оказывается достаточным построение линейной дискриминантной функции.

2. Показано, что полученное классифицирующее правило обеспечивает высокие показатели распознавания –  $P(A)=0,914$ ,  $P(B)=0,971$  – для классов А и В соответственно. Это позволяет его рекомендовать для систем поддержки принятия решений по управлению процессами десульфурации и дефосфорации в дулекс-процессе плавки.

## Литература

1. Trufanov, I. Scientific bases of the permission of innovative problems identifications in processes automation systems of electrometallurgy of the steel and alloys [Text] / I. Trufanov, A. Liutyi, K. Chumakov, I. Andriias, T. Kazanskaia, V. Dzhioev // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2010. – № 3/10 (45). – P. 8–23. – Available at: \www/URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/2898>

2. Razzhivin, A. Informatsionnoe obespechenie sistemy avtomaticheskogo upravleniia dugovoi staleplavil'noi pech'iu po temperature metalla [Text] / A. Razzhivin, I. Sagaida // Visnik SUDU. – 2000. – № 3 (25). – P. 215–220.

3. Demin, D. Mathematical description typification in the problems of synthesis of optimal controller of foundry technological parameters [Text] / D. Demin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2014. – № 1/4 (67). – P. 43–56. doi:10.15587/1729-4061.2014.21203

4. Trufanov, I. Obshcheteoreticheskie aspekty razrabotki stohasticheskoi sistemy avtomatizirovannoi ekspertnoi otsenki dinamicheskogo kachestva proizvodstvennykh situatsii elektrostaleplavleniia [Text] / I. Trufanov, K. Chumakov, A. Bondarenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2005. – № 6/2 (18). – P. 52–58.

5. Demin, D. Quality Control at foundries technological aspects in selection of optimal strategies for technical reequipment [Text] / D. Demin // Bulletin of NTU «KhPI». Series: New desicions of modern technologies. – 2014. – № 7 (1050). – P. 42–52.

6. Dembovskii, V. Avtomatizatsiia liteinykh protsessov [Text]: Handbook / V. Dembovskii. – Leningrad: Mashinostroenie, 1989. – 264 p.

7. Demin, D. Priniatie reshenii v protsesse upravleniia elektroplavkoi s uchetom faktorov nestabil'nosti tehnologicheskogo protsessa [Text] / D. Demin // Bulletin of NTU «KhPI». Series: New desicions of modern technologies. – 2010. – № 17. – P. 67–72.

8. Vasenko, Yu. Technology for improved wear iron [Text] / Yu. Vasenko // Technology Audit and Production Reserves. – 2012. – № 1/1 (3). – P. 17–21. doi:10.15587/2312-8372.2012.4870

9. Demin, D. Identifikatsiia chuguna dlia opredeleniia ratsional'nyh rezhimov legirovaniia [Text] / D. Demin, A. Bozhko, A. Zraichenko, A. Nekrasov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2006. – № 4/1 (22). – P. 29–32.
10. Ponomarenko, O. Computer modeling of crystallization processes as a reserve of improving the quality of pistons of ICE [Text] / O. Ponomarenko, N. Trenev // Technology Audit and Production Reserves. – 2013. – № 6/2 (14). – P. 36–40. doi:10.15587/2312-8372.2013.19529
11. Manikaeva, O. Development of the decision support subsystem in the systems of neural network pattern recognition by statistical information [Text] / O. Manikaeva, E. Arsirii, O. Vasilevskaja // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – № 6/4 (78). – P. 4–12. doi:10.15587/1729-4061.2015.56429
12. Frazе-Frazenko, A. Algorithm of study neural network for image recognition [Text] / A. Frazе-Frazenko // Technology Audit and Production Reserves. – 2012. – № 4/1 (6). – P. 33–34. doi:10.15587/2312-8372.2012.4781
13. Unglert, K. Principal component analysis vs. self-organizing maps combined with hierarchical clustering for pattern recognition in volcano seismic spectra [Text] / K. Unglert, V. Radić, A. M. Jellinek // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 2016. – Vol. 320. – P. 58–74. doi:10.1016/j.jvolgeores.2016.04.014
14. Fakhar, K. Fuzzy pattern recognition-based approach to biometric score fusion problem [Text] / K. Fakhar, M. el Aroussi, M. N. Saidi, D. Aboutajdine // Fuzzy Sets and Systems. – 2016. – Vol. 305. – P. 149–159. doi:10.1016/j.fss.2016.05.005
15. Demin, D. A. Mathematical modeling in the problem of selecting optimal control of obtaining alloys for machine parts in uncertainty conditions [Text] / D. A. Demin // Problems Of Mechanical Engineering. – 2013. – Vol. 16, № 6. – P. 15–23. – Available at: \www/URL: <http://journals.uran.ua/jme/article/view/21309>
16. Hartmann, K. Statistische Versuchsplanung und-auswertung in der Stoffwirtschaft [Text] / K. Hartmann, E. Lezki, W. Schafer. – Leipzig, 1974. – 552 p.
17. Anderson, W. K. Computer-assisted studies of chemical structure and biological function (Stuper, Andrew J.; Brugger, William E.; Jurs, Peter C.) [Text] / W. K. Anderson // Journal of Chemical Education. – 1979. – Vol. 56, № 12. – P. A380. doi:10.1021/ed056pa380.4
18. Aouati, M. Localization of vectors–patterns in the problems of parametric classification with the purpose of increasing its accuracy [Text] / M. Aouati // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – No 4/4 (82). – P. 10–20. doi:10.15587/1729-4061.2016.76171