

*Должиков В. В., *Куберский С. В., Крестин Р. В.*
 Донбасский государственный технический университет
 *E-mail: Skuberskiy@yandex.ru

О МЕТОДИКЕ СОЗДАНИЯ ПРОГНОЗНЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДОМЕННОГО ПРОЦЕССА

Рассмотрены вопросы моделирования доменного процесса. Для прогнозирования по ходу процесса изменений одного (нескольких) важнейших показателей с целью их регулирования выбраны статистические модели. Рассмотрены этапы регрессионного прогнозирования. Показана важность подготовки исходных данных. На основании статистического анализа и профессиональных сведений в области доменного производства для создания модели прогнозирования производительности доменной печи выбраны 6 технологических факторов, характеризующих влияние на этот параметр шихтовых условий, дутьевого режима и газодинамики процесса. Была рассчитана линейная регрессионная модель. Эффективность модели проверяли путем расчета прогноза производительности печи по реальным данным. Показано, что для условий стабильной работы ошибка прогноза не превышает 2–3 %.

Ключевые слова: доменная печь, производительность, прогнозирование, статистика, модель, подготовка данных, выборка, регрессия, корреляция, базовый период.

Доменное производство — совокупность процессов переработки значительных объемов подготовленного сырья в агрегатах большой вместимости, что определяет трудности контроля и управления технологическими параметрами и прогнозирования результатов работы доменной печи (ДП).

Моделирование доменного процесса является сложной задачей, так как требует увязать в единый комплекс описание физико-химических превращений, теплообменных процессов, а также газодинамики встречных потоков шихты и газов. Один из основных подходов к моделированию работы ДП основан на физических законах и балансовых соотношениях, которые описывают основные механизмы и процессы доменного производства [1, 2]. Эти методы способствуют лучшему пониманию и анализу результатов моделирования, однако для повышения точности прогнозирования нуждаются в более подробной и точной информации о режиме работы ДП.

Активный эксперимент на ДП является эффективным средством моделирования. Однако проведение специальных опытных плавков сопряжено с риском значительных

финансовых потерь — особенно на больших печах — из-за ухудшения технико-экономических показателей их работы.

Другой подход к моделированию работы ДП заключается в применении различных числовых алгоритмов (статистических, машинного обучения, ИИ, математического моделирования и др.) [3–9], обладающих достаточной точностью и быстротой расчета, а также позволяющих устанавливать характеристики процесса при ограниченных сведениях о его физической структуре. Но пока все они могут использоваться только в режиме «советчик мастера».

Основными целями создаваемых математических моделей являются:

- оценка влияния различных факторов на технико-экономические показатели процесса [3];
- прогнозирование по ходу процесса изменений одного или нескольких важнейших показателей с целью их регулирования.

В настоящей работе рассматривается регрессионное прогнозирование одного из важнейших технико-экономических показателей — производительности доменной печи (ПЧ). Область применения регресси-

онного прогнозирования — краткосрочный прогноз в реальном времени процесса с небольшими колебаниями входных показателей в интервале порядка $\pm 2 \cdot \sigma$ (где σ — стандартное отклонение).

Задача оценивания в моделях регрессии разбивается на две составляющие — оценивание структуры модели и оценивание параметров при заданной структуре. В модели структура — объект нечисловой природы. Задача ее оценивания сложна, в то время как для численных параметров при заданной структуре хорошо изучена и разработаны эффективные (в смысле прикладной математической статистики) методы [10].

Цель настоящей работы предусматривала определение основных концептуальных подходов к созданию прогнозных статистических моделей доменного процесса.

Объект исследования — доменный процесс.

Предмет исследования — производительность ДП.

Задачи исследования:

- предварительная подготовка исходных данных;
- определение структуры модели;
- создание линейных регрессионных моделей;
- проверка адекватности моделей (прогнозирование ПЧ ДП).

Методика исследования. В работе использованы современные представления о закономерностях доменного процесса, методы математической статистики: регрессионный и корреляционный анализ.

При создании статистической модели предварительная обработка данных является важным этапом, так как от этого зависит корректность результата. Доменный процесс отличается инерционностью, а также наличием нестабильных периодов работы (текущие ремонты, остановки, «тихий ход»). Статистические данные о работе доменной печи представляют собой большой массив информации с разной частотой поступления данных, в которых присутствуют шумы и выбросы. Поэтому,

как правило, осуществляется предварительная обработка данных.

На этом этапе необходимо решить следующие задачи:

- выбор объема требуемой для исследований информации;
- определение единичного периода времени (т. е. за какой период времени произвести усреднение значений параметров процесса);
- определение и удаление «сомнительных» данных (выбросов) для уменьшения их влияния на результат.

Решение поставленных задач диктуется необходимостью выполнения ряда предпосылок для проведения процедур статистического анализа. Нарушение предпосылок (допущений) может сделать результаты анализа не только неточными, но и полностью неверными и вводящими в заблуждение. Но выполнение их в полном объеме часто оказывается невозможным. Эти вопросы до сих пор обсуждаются специалистами [11, 12].

Для создания статистической модели были проанализированы технологические данные о работе ДП за 4 года. На печи выплавляли передельный чугун. В шихте использовали агломерат и окатыши, иногда добавляли в небольших количествах марганцевую и железную руду, а также конвертерный шлак. Топливо — кокс и природный газ. Данные содержали сведения об основных технологических параметрах доменной плавки и были агрегированы посуточно. Распределение суточной производительности печи за анализируемый период показано на рисунке 1.

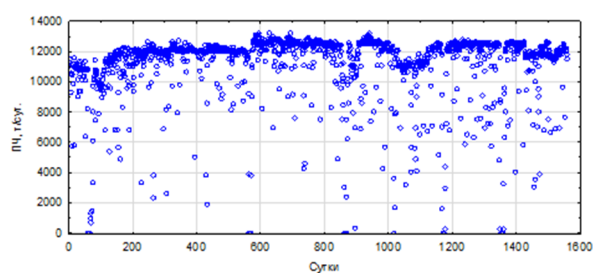


Рисунок 1 — Динамика суточной ПЧ ДП в анализируемом периоде

Исходные данные были «засорены» пропусками (остановки печи), сведениями в нестабильные периоды работы («тихий» ход, краткосрочные остановки), выбросами, др.

По поводу выбросов обозначился следующий подход. Если установлено, что полученное значение какого-либо параметра «резко» отличается от соседних по выборке, необходимо провести анализ возможных причин. Например, произошло одновременное изменение нескольких параметров. В этом случае решение об использовании выброса принимает исследователь. Если таких обоснований нет — выброс должен быть удален.

Влияние выбросов на оценку корреляции и регрессию можно проиллюстрировать рисунком 2.

На рисунке 2, а вверху слева две точки — выбросы, а 2, б — график и пересчитанные статистические данные после удаления этих точек.

Указаны параметрические коэффициенты корреляции Пирсона, изменившиеся с 0,36 (в данных есть выбросы) до 0,48 (после удаления выбросов). В таких ситуациях рекомендуют использовать менее чувствительный к выбросам непараметрический коэффициент корреляции Спирмена (изменившийся с 0,37 до 0,42).

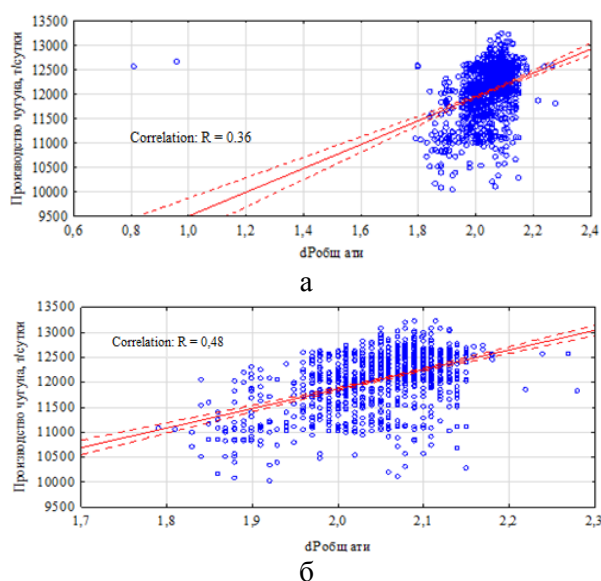


Рисунок 2 — Связь между перепадом давления газов и ПЧ ДП с выбросами (а) и без (б)

Количество удаленных из первичного набора наблюдений превысило 300 ед., и была сформирована выборка в 1189 суток. На рисунке 3 показано распределение ПЧ по суткам в этой выборке.

Выборка (В) оказалась неоднородной, что в общем характерно для доменного производства. На рисунке условно можно выделить три периода времени с разной средней производительностью: I — сутки 1–360, II — сутки 361–760, III — сутки 761–1189. Статистические характеристики ПЧ по периодам приведены в таблице 1.

Для дальнейшего анализа был выбран период II (рис. 4), характеризуемый наибольшим средним и наименьшим стандартным отклонением производительности. Выбор данного временного промежутка позволяет минимизировать влияние флуктуаций и изучить факторы, обеспечивающие стабильно высокую эффективность работы.

Решая вопрос структуры модели, провели выбор факторов, влияющих на производительность, с использованием корреляционного анализа, включив в рассмотрение 24 фактора. Это регулируемые и контролируемые технологические факторы, которые по общим представлениям могут изменяться совместно с производительностью [1, 2]. Полученные результаты показали: парные коэффициенты корреляции между производительностью и факторами изменяются от 0,02 до 0,49.

Из этой группы факторов для использования в модели выбрали шесть (А — содержание железа в железорудной части шихты ($Fe_{ж.р}$, %), Б — содержание кислорода в дутье ($O_{2д}$, %), В — расход дутья ($V_{д}$, $m^3/мин$), Г — масса образующегося шлака ($M_{шл}$, кг/т), Д — давление под колошником ($P_{к}$, ат), Е — давление дутья ($P_{д}$, ат)), исходя из двух посылок влияния их на ПЧ:

- профессиональных сведений в области доменного производства (в группу были включены факторы, характеризующие влияние шихтовых условий, дутьевого режима и газодинамики процесса);

- значимости коэффициента корреляции и его величины.

МЕТАЛЛУРГИЯ

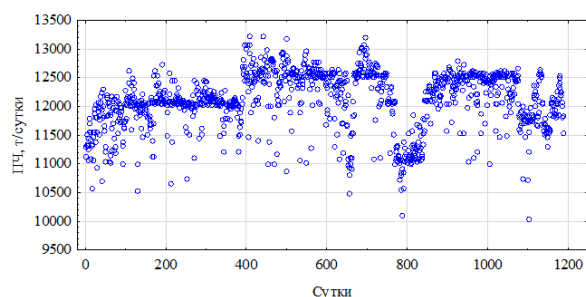


Рисунок 3 — Распределение ПЧ ДП в выборке из 1189 суток

Таблица 1

Статистические характеристики ПЧ по всей выборке и по периодам

Среднее			
В	Г	Д	Е
12057	11816	12348	12013
Стандартное отклонение			
В	Г	Д	Е
543,4	483,7	478,0	530,5

Коэффициенты корреляции связи между производительностью и выбранными факторами приведены в таблице 2.

Для выбранных факторов были рассчитаны уравнения регрессии в исходных (1) и стандартизованных (2) шкалах измерения:

$$ПЧ = -11804 + 155 \cdot А + 232 \cdot Б + 1,4 \cdot В - 3,5 \cdot Г + 1721 \cdot Д - 1216 \cdot Е, \quad (1)$$

$$ПЧ = 0,14 \cdot А + 0,44 \cdot Б + 0,70 \cdot В - 0,14 \cdot Г + 0,32 \cdot Д - 0,29 \cdot Е. \quad (2)$$

Величина коэффициентов в стандартизованных значениях переменных указывает на вклад каждого фактора в предсказание отклика (ПЧ). Коэффициент множественной корреляции для рассчитанного уравнения составил 0,68.

В соответствии с выражением (2) можно утверждать, что наибольшее влияние на производительность оказывают расход дутья и содержание в нем кислорода. Содержание железа в железорудной части шихты и выход шлака, а также давление под колошником и дутья имеют близкие значения и противоположные знаки, что обеспе-

чивает практически полную компенсацию их влияния на рассматриваемый параметр.

В данной работе был опробован следующий вариант построения и использования прогнозной статистической модели доменного процесса. На временной шкале периода выбирали контрольную точку (сутки), за которой находится прогнозируемый отрезок времени. От этой точки в обратном направлении (т. е. на участке, где имеются данные о работе печи) выборку формировали следующим образом:

- задавали начальный объем (базовый временной промежуток — БВП), например, 15 суток;
- по этому объему данных для выбранных факторов определяли регрессионную модель;
- проверяли прогноз расчетом ПЧ за контрольной точкой (следующие сутки);
- повторяли процедуру, увеличивая БВП, последовательными шагами (например, до 30, 50, 100 и т. д. суток);
- по полученным данным выбирали наилучшую модель по минимальной ошибке прогноза и определяли БВП.

Для исследований были намечены контрольные точки: 211-е, 251-е, 301-е и 331-е сутки. Основанием для выбора послужила оценка работы ДП. В небольших интервалах времени вокруг точек 211 и 331 отмечена стабильная работа ДП (небольшие колебания производительности при разных средних значениях). В интервале вокруг точки 251 наблюдается рост колебаний ПЧ. Интервал вокруг точки 301 характеризуется минимальным за период средним значением и максимальным рассеянием ПЧ (рис. 4).

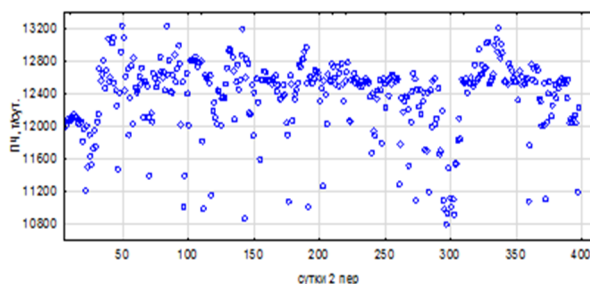


Рисунок 4 — Распределение ПЧ во II периоде

МЕТАЛЛУРГИЯ

Таблица 2

Коэффициенты корреляции связи между ПЧ и выбранными факторами

Факторы	ПЧ	А	Б	В	Г	Д	Е
ПЧ	1,00	0,11*	0,19	0,45	-0,37	-0,12	0,42
А	0,11	1,00	0,14	-0,21	-0,10	-0,38	-0,07
Б	0,19	0,14	1,00	-0,46	0,16	-0,11	0,27
В	0,45	-0,21	-0,46	1,00	0,44	0,16	0,40
Г	-0,37	-0,10	0,16	0,44	1,00	0,10	0,95
Д	-0,12	-0,38	-0,11	0,16	0,10	1,00	0,11
Е	0,42	-0,07	0,27	0,40	0,95	0,11	1,00

*Жирным выделены значимые коэффициенты.

Таблица 3

Модель и результаты прогнозирования ПЧ на 251-е сутки

Интервал, сутки	Факторы						r	Прогноз в точке 251	Ошибка
	А	Б	В	Г	Д	Е			
1–250	0,03	0,46	0,41	-0,58	-0,12	0,61	0,62	12535	315
50–250	0,11	0,37	0,61	0,11	-0,16	-0,01	0,69	12743	523
100–250	0,11	0,34	0,49	0,03	-0,19	0,14	0,67	12611	391
150–250	0,21	0,11	0,46	-0,29	-0,10	0,63	0,75	12558	338
200–250	0,22	0,33	0,44	0,02	-0,15	-0,06	0,64	12485	265
220–250	0,11	0,34	0,36	-0,27	-0,22	0,24	0,65	12449	229
235–250	-0,20	0,49	0,10	-0,38	-0,49	0,43	0,74	12197	-23

Прогноз ПЧ на 251-е сутки по прилежащим к ней выборкам из 15, 30, 50, 100 и 250 суток представлен в таблице 3. Фактическое производство в эти сутки составило 12220 т.

Отклонения прогнозируемых значений от фактических находятся в пределах 0,2–4 % (ср. 2,3 % или 291 т), что свидетельствует о высокой точности предложенной прогнозной статистической модели.

Анализ результатов моделирования, представленных в таблице 3, свидетельствует о том, что с уменьшением размера выборки, используемой для прогнозирования, уменьшается количество значимых параметров: 6 для 400 суток; 5 для 250; 3 для 200; 2 для 100 и 50, а для выборок из 30 и 15 суток нет ни одного значимого фактора. В то же время коэффициент корреляции для этих выборок имеет достаточно высокое значение. Причем для небольших выборок значимыми являются содержание железа в шихте, кислорода в дутье и расход

дутья, что полностью соответствует существующим представлениям теории и практики ДП о их влиянии на ПЧ.

Аналогичные расчеты были проведены для прогнозирования ПЧ на 211-е, 301-е и 331-е сутки (табл. 4).

Данные таблиц 3 и 4 свидетельствуют об ухудшении прогноза для периодов существенных колебаний фактической ПЧ и могут достигать 10 %. Поэтому при отклонении этого параметра от прогнозной величины более чем на 2–3 % необходим анализ причин и при необходимости внесение изменений в используемую статистическую модель.

Таблица 4

Результаты прогнозирования ПЧ на 211-е, 301-е и 331-е сутки

№ суток	ПЧ (среднее), т/сут		Ошибка, %
	факт	прогноз	
211	12724	12684	0,3
301	11009	12086	9,8
331	12541	12418	1,0

Выводы:

1. Проведены исследования с целью создания методики прогнозных статистических моделей доменного процесса.

2. Предложены методы реализации различных этапов создания статистических моделей: подготовка данных, выбор структуры модели, оценивание параметров линейной регрессионной модели.

3. Приведены результаты моделирования при различных распределениях суточной производительности по дисперсии.

4. Предложена статистическая регрессионная модель прогнозирования ПЧ ДП.

5. Проведена проверка адекватности модели и показано, что ошибка прогноза для стабильных периодов работы ДП не превышает 2–3 %.

6. При существенном отклонении прогнозных величин от фактических необходим анализ причин и внесение изменений в модель.

В ходе последующих исследований будут рассмотрены причины изменения влия-

ния некоторых параметров на противоположное в зависимости от величины выборки. Например: повышение содержания железа в шихте при большой выборке позитивно влияет на ПЧ, а для выборки из 15 суток (табл. 3) вызывает ее снижения. Аномальное влияние наблюдается также для массы шлака и давления дутья, что требует дополнительных исследований.

Определенный интерес представляет корректировка модели для возможности прогнозирования ПЧ в периоды значительных отклонений режимов работы ДП от стабильной технологии (остановка и вывод печи на рабочий режим, переход на новые шихтовые материалы, изменение режимов работы основного технологического оборудования и др.).

Кроме того, проведенные исследования позволили определить пути дальнейшего совершенствования структуры модели — использование нелинейных регрессионных моделей и других факторов.

Список источников

1. *Металлургия чугуна : учебник для вузов / Е. Ф. Вегман [и др.] ; под ред. Ю. С. Юсфина. 3-е изд., перераб. и доп. М. : ИКЦ Академкнига, 2004. 774 с.*

2. *Товаровский И. Г. Доменная плавка : монография. 2-е изд. Днепропетровск : Пороги, 2009. 768 с. EDN QNACRV*

3. *Товаровский И. Г. Нормативная оценка влияния параметров доменной плавки на расход кокса и производительность // Сталь. 2014. № 5. С. 4–11. EDN UADSMV*

4. *Применение методов машинного обучения для прогнозирования производительности доменной печи / Т. А. Барбасова, Е. В. Бауман, П. А. Самолетова, С. А. Черепанова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. Вып. 9. С. 48–50. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-9-48-49 EDN TWSIHV*

5. *Казаринов Л. С., Барбасова Т. А, Мохсен Х. М. Метод эффективного управления доменным процессом на основе кластерного анализа // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2016. Т. 16. № 2. С. 164–169. DOI: 10.14529/ctcr160220 EDN VVECKL*

6. *Применение нейронной сети для определения режимов работы доменной печи / Т. А. Барбасова, Е. В. Бауман, П. А. Самолетова, С. А. Черепанова // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2021. Т. 9. № 2. С. 17–20. DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-2-17-20 EDN IRCYRO*

7. *Разработка программного обеспечения в АСУП доменного цеха / В. В. Лавров [и др.] // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2015. Т. 58. № 9. С. 703–709. DOI: 10.17073/0368-0797-2015-9-703-709 EDN VDOMRR*

8. *Создание программного комплекса «АРМ технолога доменного цеха» на основе современных информационных технологий / В. В. Лавров, Н. А. Спиринов, А. А. Бурыйкин, А. В. Краснобаев // Сталь. 2010. № 1. С. 17–21.*

9. Кухарев А. Л. Статистические характеристики пульсаций скорости при электровихревых течениях расплава // *Научные технологии и оборудование в промышленности и строительстве*. 2025. № 9 (83). С. 39–48. EDN IVGZDO

10. Орлов А. И. Многообразие моделей регрессионного анализа (обобщающая статья) // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2018. Т. 84. № 5. С. 63–73. DOI: 10.26896/1028-6861-2018-84-5-63-73 EDN XQBSKD

11. Орлов А. И. О требованиях к статистическим методам анализа данных // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2023. Т. 89. № 11. С. 98–106. DOI: 10.26896/1028-6861-2023-89-11-98-106 EDN VEWJXD

12. Орлов А. И. Какой объем выборки целесообразно использовать? // *Научный журнал КубГАУ*. 2024. № 197 (03). С. 123–149. DOI: 10.21515/1990-4665-197-012 EDN CYQAFD

© Должиков В. В., Куберский С. В., Крестин Р. В., 2026

*Рекомендована к печати д.т.н., доц. каф. АУиИТ ДонГТУ Кухаревым А. Л.,
начальником патентного отдела ЮГМК Великоцким Р. Е.*

Статья поступила в редакцию 06.03.2026.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Должиков Валерий Васильевич, канд. техн. наук, доцент каф. металлургических технологий Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск, Россия

Куберский Сергей Владимирович, канд. техн. наук, профессор каф. металлургических технологий Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск, Россия, e-mail: Skuberskiy@yandex.ru

Крестин Роман Валерьевич, ассистент каф. металлургических технологий Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск, Россия

Dolzhikov V. V., *Kuberski S. V., Krestin R. V. (Donbass State Technical University, Alchevsk, Russia, *e-mail: Skuberskiy@yandex.ru)

CONCERNING THE METHOD OF PREDICTIVE STATISTICAL MODELS FOR BLAST-FURNACE PROCESS

The blast-furnace process modeling issues are discussed. The statistical models have been chosen to predict one (or more) of the most important indicators to adjust them. The regression prediction stages are considered. The importance of preparing initial data is shown. Based on statistical analysis and professional knowledge in the field of blast-furnace production, 6 technological factors were selected to create a model for predicting blast-furnace productivity, characterizing the influence of burden conditions, blast mode and gas dynamics of the process on this parameter. A linear regression model was calculated. The model effectiveness was tested by calculating the furnace performance prediction based on real data. It has been shown that under stable operating conditions the prediction error does not exceed 2–3 %.

Key words: blast-furnace, performance capacity, prediction, statistics, model, data preparation, sampling, regression, correlation, base period.

References

1. Vegman E. F. [et al.]. *Cast iron metallurgy : a textbook for universities [Metallurgiya chuguna : uchebnik dlya vuzov]*. Eds. Yusfin Yu. S. 3rd ed. revised and updated. M. : IKC Akademkniga. 2004. 774 p.

2. Tovarovskij I. G. *Blast-furnace fusion : a monograph [Domennaya plavka : monografiya]*. 2nd ed. Dnepropetrovsk : Porogi. 2009. 768 p. EDN QNACRV

3. Tovarovskij I. G. *Regulatory assessment of the impact of blast-furnace smelting parameters on coke consumption and productivity [Normativnaya ocenka vliyaniya parametrov domennoj plavki na raskhod koksa i proizvoditel'nost']*. *Stal'*. 2014. No. 5. С. 4–11. EDN UADSMV

4. Barbasova T. A., Bauman E. V., Samoletova P. A., Cherepanova S. A. *Applying machine-learning techniques to blast-furnace performance predicting [Primenenie metodov mashinnogo obucheniya dlya prognozirovaniya proizvoditel'nosti domennoj pechi]*. *Izvestiya Tula State University*. 2023. Iss. 9. Pp. 48–50. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-9-48-49 EDN TWSIHV

5. Kazarinov L. S., Barbasova T. A., Mokhsen Kh. M. *How to effectively manage a blast-furnace process based on cluster analysis [Metod effektivnogo upravleniya domennym processom na osnove klasterного analiza]*. *Bulletin of the South Ural State University. Series, Computer technologies, automatic control, radio electronics*. 2016. Vol. 16. No. 2. Pp. 164–169. DOI: 10.14529/ctcr160220 EDN VVECKL

6. Barbasova T. A., Bauman E. V., Samoletova P. A., Cherepanova S. A. *Using a neural network to determine the operating modes of a blast-furnace [Primenenie nejronnoj seti dlya opredeleniya rezhimov raboty domennoj pechi]*. *Software of systems in the industrial and social fields*. 2021. Vol. 9. No. 2. Pp. 17–20. DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-2-17-20 EDN IRCYRO

7. Lavrov V. V. [et al.]. *Software development in the blast-furnace shop APCS [Razrabotka programmogo obespecheniya v ASUP domennogo cekha]*. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2015. Vol. 58. No. 9. Pp. 703–709. DOI: 10.17073/0368-0797-2015-9-703-709 EDN VDOMRR

8. Lavrov V. V., Spirin N. A., Burykin A. A., Krasnobayev A. V. *Creation of the software complex “AWP of a blast-furnace shop” on the basis of modern information technologies [Sozdanie programmogo kompleksa «ARM tekhnologa domennogo cekha» na osnove sovremennykh informacionnykh tekhnologij]*. *Stal'*. 2010. No. 1. Pp. 17–21.

9. Kukharev A. L. *Statistical characteristics of velocity pulsations in electro-vortex melt flows [Statisticheskie harakteristiki pul'sacii skorosti pri elektrovihrevykh techeniyah rasplava]*. *Knowledge-intensive technologies and equipment in industry and building*. 2025. No. 9 (83). Pp. 39–48. EDN IVGZDO

10. Orlov A. I. *Variety of regression analysis models (summary article) [Mnogoobrazie modelej regressionnogo analiza (obobshchayushchaya stat'ya)]*. *Industrial Laboratory. Diagnostics of Material*. 2018. Vol. 84. No. 5. Pp. 63–73. DOI: 10.26896/1028-6861-2018-84-5-63-73 EDN XQBSKD

11. Orlov A. I. *Statistical data analysis requirements [O trebovaniyah k statisticheskim metodam analiza dannyh]*. *Industrial Laboratory. Diagnostics of Material*. 2023. Vol. 89. No. 11. Pp. 98–106. DOI: 10.26896/1028-6861-2023-89-11-98-106 EDN VEWJXD

12. Orlov A. I. *What sample size is appropriate to use? [Kakoj ob'em vyborki celesoobrazno ispol'zovat'?]*. *Scientific Journal of KubSAU*. 2024. No. 197 (03). Pp. 123–149. DOI: 10.21515/1990-4665-197-012 EDN CYQAFD

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dolzhiy Valeriy Vasilyevich, PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of Metallurgical Technologies
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Russia

Kuberskiy Sergey Vladimirovich, PhD in Engineering, Professor of the Department of Metallurgical Technologies
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Russia, e-mail: Skuberskiy@yandex.ru

Krestin Roman Valerievich, Assistant Lecturer of the Department of Metallurgical Technologies
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Russia