



ОТКРЫТАЯ НАУКА  
издательство

Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 662.869

## СИСТЕМА ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ С ЦЕЛЬЮ МИНИМИЗАЦИИ РАСХОДА КОКСА В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Гусев Г.С., <sup>1</sup>Симусев Ю.А., Танаев Д.И., Берестов А.П.

*ФГБОУ ВО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия (455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38); e-mail: <sup>1</sup>corsaspk@gmail.com*

---

**Рассмотрено решение задачи по оптимизации управления процессом подачи природного газа в дутье с использованием оптимизируемого алгоритма.**

---

Ключевые слова: Автоматизация, доменная печь, оптимизация, кокс, расход, природный газ, кислород.

## CONTROL OPTIMIZATION SYSTEM OF NATURAL GAS FOR MINIMIZATION OF COKE CONSUMPTION IN BLAST FURNACE

Gusev G.S. <sup>1</sup>Simusev Y.A., Tanaev D.I., Berestov A.P.

*Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia (455000, Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38); e-mail: <sup>1</sup>corsaspk@gmail.com*

---

**The project deals with the way to solve the problem of system optimization and management of supply natural gas production in the blast with useful optimizing algorithm.**

---

Key words: Automation, blast furnace, optimization, coke, consumption, natural gas, oxygen.

Перспективным направлением развития технологии доменной плавки связано с заменой дефицитного и дорогостоящего кокса другими альтернативными видами топлива. В настоящее время таким видом топлива, вдуваемым в доменную печь, является природный газ [1-2].

Несомненным преимуществом природного газа перед коксом и другими заменителями кокса является отсутствие серы. Благодаря этому сокращается поступление серы в печь, и создаются условия для улучшения качества чугуна.

Другой положительной стороной природного газа служит значительное участие  $H_2$  в непрямом восстановлении оксидов шихты. Вследствие этого сокращается доля прямого восстановления, до фурм больше доходит углерода кокса.

В данной статье рассматривается вопрос о регулировании вдувания природного газа в доменную печь, с целью минимизации расхода кокса.

По данным [3], между расходами природного газа, кокса и технического кислорода существует экстремальная зависимость (рисунок 1), что говорит о принципиальной возможности оптимизации расхода природного газа на печь с целью минимизации удельного расхода кокса.

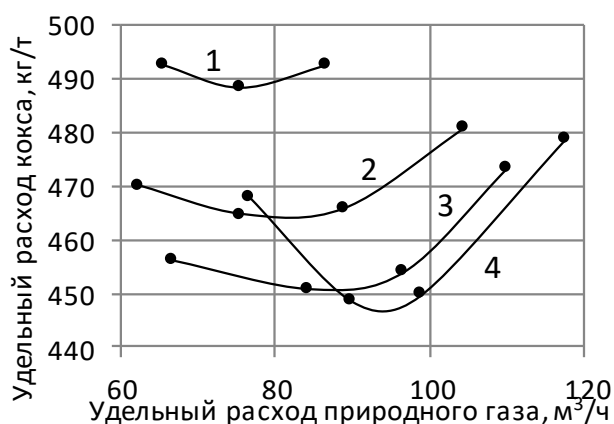


Рисунок 1 – Зависимость расхода кокса от потребления природного газа и технического кислорода

На рисунке: 1 – содержание кислорода в дутье 40-60 м³/т, 2 – содержание кислорода в дутье 60-80 м³/т, 3 – содержание кислорода в дутье 80-100 м³/т, 4 – содержание кислорода в дутье 100-120 м³/т.

Коэффициент замены кокса природным газом при малом расходе последнего (40–60 м³) составляет 0,8–0,9 кг/м³. С увеличением количества природного газа до 100–120 м³ он снижается до 0,4–0,5 кг/м³. С повышением количества природного газа минимальный расход кокса достигается при меньшем отношении природного газа и кислорода (рисунок 2), т.е. в условиях роста затрат кислорода [4-5].

При проверке работоспособности системы автоматической оптимизации использовали экспериментальные данные для условий ОАО «ММК», представленные на рисунке 3, где: 1 – экспериментальные данные; 2 – линия регрессии, определяемая уравнением:

$$Y(x) = 542,455 - 0,459 \cdot x - 0,0175 \cdot x^2 + 3,986 \cdot 10^{-5} \cdot x^3 + 1,130 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 \text{ при } x=[62,4-104,4] \text{ м}^3/\text{т}$$

Структурная схема объекта управления представлена на рисунке 4.

Для решения задачи оптимизации предлагается использовать систему экстремального регулирования (СЭР). Подобные системы применяются при решении задач управления различными технологическими объектами [6-8].

За основу управления была взята система шагового типа (ШСЭР) с запоминанием минимума выходной величины [9]. Структурная схема контура регулирования представлена на рисунке 5.

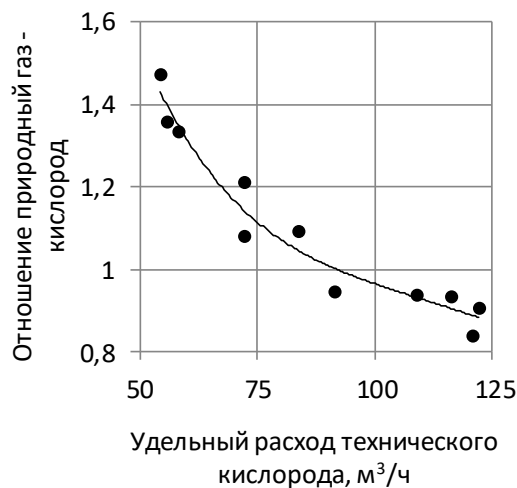


Рисунок 2 – Зависимость отношения затрат природного газа и технического кислорода от расхода технического кислорода при минимальном потреблении кокса

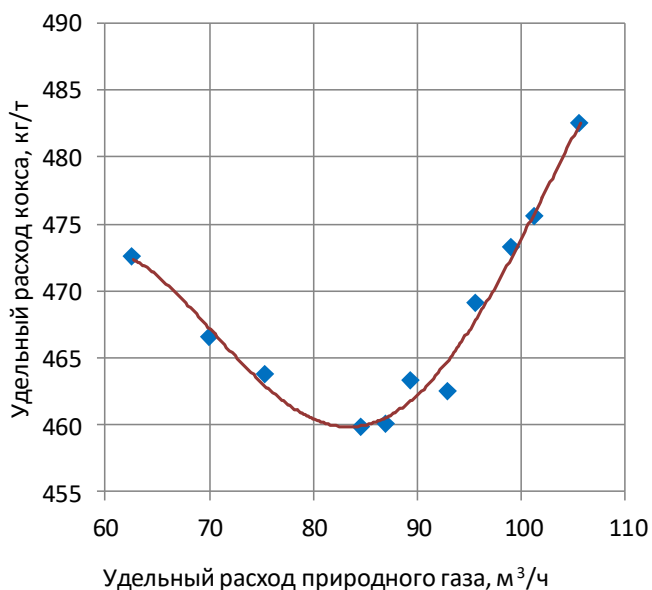


Рисунок 3 – Статическая характеристика

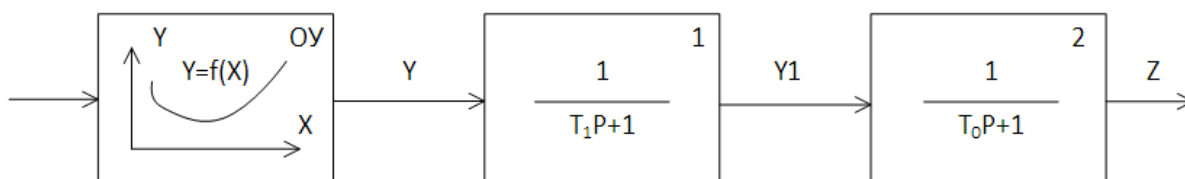


Рис. 4. – Структурная схема оптимизации

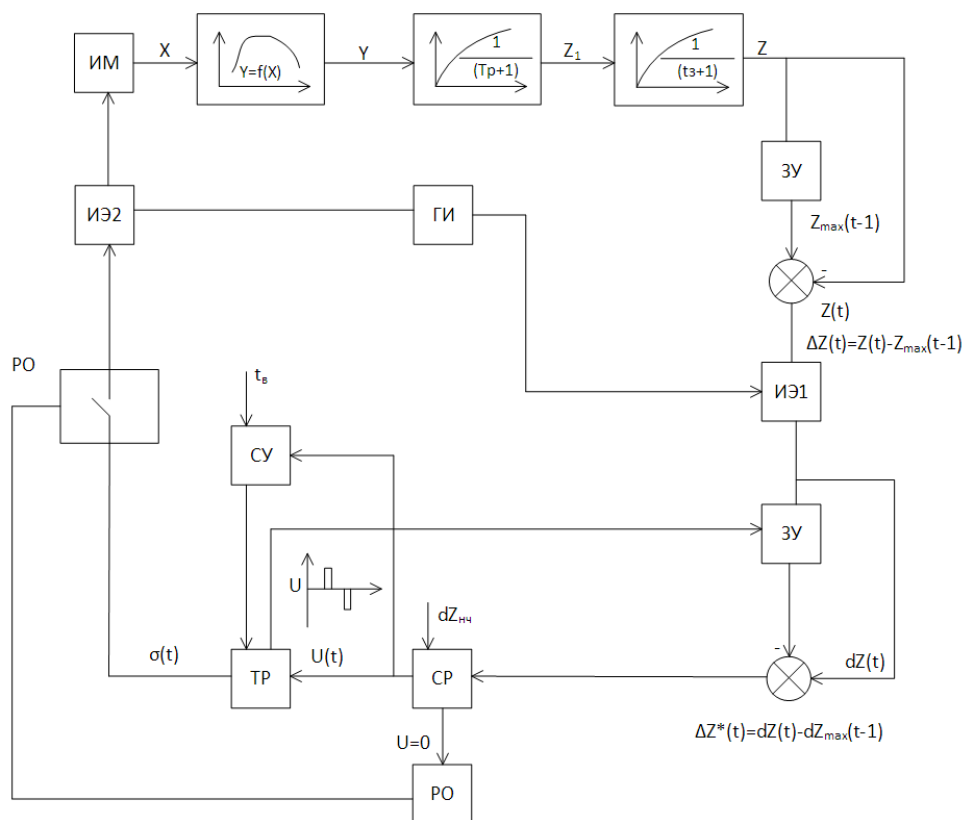


Рисунок 5 – Структурная схема СЭР шагового типа действия

На рисунке приняты следующие обозначения: ОУ – объект управления; ИЭ1, ИЭ2 – импульсные элементы; ЗУ – запоминающее устройство; СР – сигнум-реле; ТР – триггер реверса; ИМ – исполнительный механизм; ГИ – генератор импульсов; РС – релейный элемент; СУ – стабилизирующее устройство.

Для проверки работоспособности системы было выполнено моделирование поисковых процессов в среде Visual Basic. Проведено исследование влияние величины шага и зоны нечувствительности на переходные процессы [10-11]. Блок схема работы программы приведена на рисунке 6.

Было установлено, что уменьшение шага ( $\Delta X$ ) приводит к увеличению времени на поиск и снижению размаха колебаний, а потери на поиск при этом уменьшаются. Увеличение зоны нечувствительности приводит к увеличению времени на поиск и к увеличению размаха колебаний. Потери на поиск при этом увеличиваются. Оптимальным переходным процессом системы является процесс при зоне нечувствительности  $\Delta Z_{нч}=0,05\text{кг/т}$  и шаге  $\Delta X=5\text{м}^3/\text{т}$ , приведенный на рисунке 7, где рисунок 7а – фазовый портрет; рисунок 7б – расчетные траектории изменения во времени  $x(\tau)$ ,  $y(\tau)$  и  $z(\tau)$  в процессе оптимизирующего поиска при  $\Delta X=5\text{м}^3/\text{т}$ ,  $\Delta Z_{нч}=0,05\text{кг/т}$  (1-расход природного газа, 2 – расход кокса по статической характеристике, 3 – фактический расход кокса).

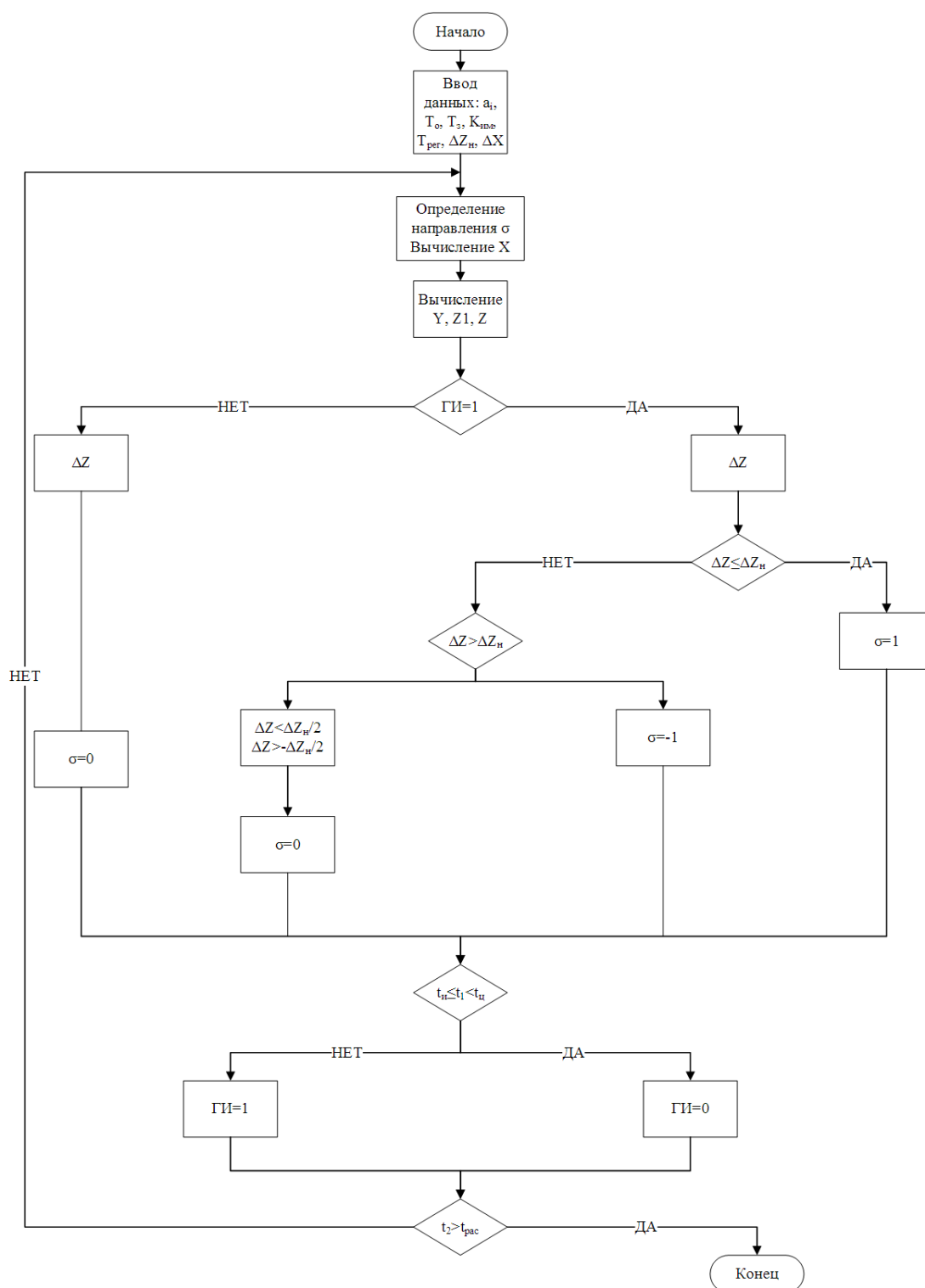


Рисунок 6 – Блок-схема расчета переходного процесса в ШСЭР

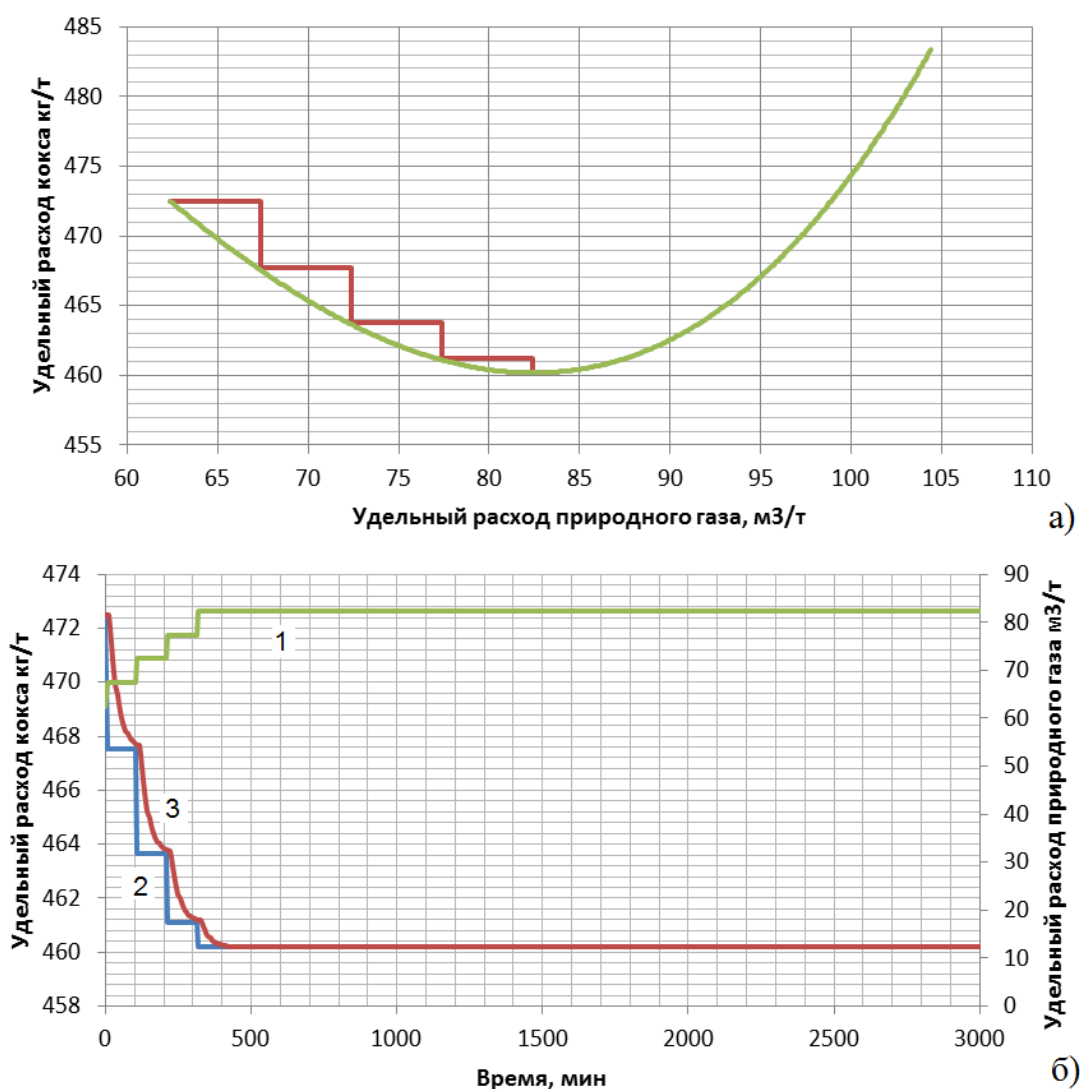


Рисунок 7 – Расчетные траектории поискового режима в CAO

В настоящей работе рассмотрена зависимость расхода кокса от потребления природного газа и технического кислорода, представлены экспериментальные данные для условий ОАО «ММК». Для автоматического решения оптимизационной задачи была использована система экстремального регулирования шагового типа с запоминанием экстремума приращений выходного параметра оптимизируемого процесса. Система организует поиск минимального значения расхода кокса и оптимальное значение расхода природного газа в целях достижения максимальной производительности печи. В работе произведен расчет переходного процесса в СЭР и исследовано влияние величина шага ( $\Delta X$ , м<sup>3</sup>/т) и зоны нечувствительности ( $\Delta Z_{нч}$ , кг/т) на поиск экстремума. Оптимальным переходным процессом системы является процесс при зоне нечувствительности  $\Delta Z_{нч}=0,05$ кг/т и шаге  $\Delta X=5$ м<sup>3</sup>/т.

### Список литературы

1. Баранкова М.В. Оптимизация управления подачей природного газа в доменную печь с целью минимизации расхода кокса / М.В. Баранкова, Б.Н. Парсункин // Автоматизированные технологии и производства. 2014. № 6. С. 159-164.
2. Горохов М.А. Оптимизация управления подачи природного газа в доменную печь с целью экономии расхода кокса / М.А. Горохов // Автоматизированные технологии и производства. 2013. № 5. С. 228-230.
3. Парсункин Б.Н. Повышение производительности доменной печи при оптимизации автоматического управления подачей природного газа и технического кислорода в дутье / Б.Н. Парсункин, Б.К. Сеничкин, С.М. Андреев, М.Ю. Рябчиков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 4. С. 69-73.
4. Попов, Е.М. Оптимизация выплавки чугуна в доменных печах / Е.М. Попов, Е.Ю. Семенов // М.: Металлургия, 2007. – 365с.
5. Воскобойников, В.Г. Общая металлургия / В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев // М.: Металлургия, 2004. – 768с.
6. Рябчикова Е.С. Сравнительный анализ систем экстремального регулирования, основанных на статистических критериях наличия тренда, на примере управления электрическими параметрами ДСП / Е.С. Рябчикова, М.Ю. Рябчиков, А.И. Сунаргулова, Р.В. Танков, В.Ю. Перевалов // Автоматизированные технологии и производства. 2015. № 4 (10). С. 4-8.
7. Рябчиков М.Ю. Системы экстремального регулирования на основе комбинации поисковых оптимизационных алгоритмов / М.Ю. Рябчиков, Е.С. Рябчикова // Мехатроника, автоматизация, управление. 2015. Т. 16. № 5. С. 300-306.
8. Рябчикова Е.С. Применение прогнозной модели для оптимизации управления энергетическим режимом ДСП / Е.С. Рябчикова, М.Ю. Рябчиков, Б.Н. Парсункин // Автоматизированные технологии и производства. 2012. № 4. С. 179-189.
9. Парсункин, Б.Н. Расчет переходных процессов в системах экстремального регулирования с запоминанием экстремума / Б.Н. Парсункин, М.В. Бушманова. // Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2005. – 164 с.
10. Парсункин, Б.Н. Оптимизация управления технологическими процессами в металлургии. Монография / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, У.Б. Ахметов // Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И.Носова», 2006. – 198 с.
11. Парсункин, Б.Н. Автоматизация технологических процессов и производств в металлургии: учеб. Пособие / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, Е.С. Рябчикова // Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. – 151 с.

### References

1. Barankova M.V. Optimizaciya upravleniya podachej prirodnogo gaza v domennuyu pech' s cel'yu minimizacii raskhoda koksa / M.V. Barankova, B.N. Parsunkin // Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva. 2014. № 6. S. 159-164.
2. Gorohov M.A. Optimizaciya upravleniya podachi prirodnogo gaza v domennuyu pech' s cel'yu ehkonomii raskhoda koksa / M.A. Gorohov // Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva. 2013. № 5. S. 228-230.
3. Parsunkin B.N. Povyshenie proizvoditel'nosti domennoj pechi pri optimizacii avtomaticheskogo upravleniya podachej prirodnogo gaza i tekhnicheskogo kisloroda v dut'e / B.N. Parsunkin, B.K. Senichkin, S.M. Andreev, M.YU. Ryabchikov // Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova. 2011. № 4. S. 69-73.

4. Popov, E.M. Optimizaciya vyplavki chuguna v domennyh pechah / E.M. Popov, E.YU. Semenov // М.: Metallurgiya, 2007. – 365s.
  5. Voskoboynikov, V.G. Obshchaya metallurgiya / V.G. Voskoboynikov, V.A. Kudrin, A.M. YAkushev // М.: Metallurgiya, 2004. – 768s.
  6. Ryabchikova E.S. Sravnitel'nyj analiz sistem ehkstreml'nogo regulirovaniya, osnovannyh na statisticheskikh kriteriyah nalichiya trenda, na primere upravleniya ehlektricheskimi parametrami DSP / E.S. Ryabchikova, M.YU. Ryabchikov, A.I. Sunargulova, R.V. Tankov, V.YU. Perevalov // Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva. 2015. № 4 (10). S. 4-8.
  7. Ryabchikov M.YU. Sistemy ehkstreml'nogo regulirovaniya na osnove kombinacii poiskovyh optimizacionnyh algoritmov / M.YU. Ryabchikov, E.S. Ryabchikova // Mekhatronika, avtomatizaciya, upravlenie. 2015. T. 16. № 5. S. 300-306.
  8. Ryabchikova E.S. Primenenie prognoznoj modeli dlya optimizacii upravleniya ehnergeticheskim rezhimom DSP / E.S. Ryabchikova, M.YU. Ryabchikov, B.N. Parsunkin // Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva. 2012. № 4. S. 179-189.
  9. Parsunkin, B.N. Raschet perekhodnyh processov v sistemah ehkstreml'nogo regulirovaniya s zapominaniem ehkstemuma / B.N. Parsunkin, M.V. Bushmanova. // Magnitogorsk: MGTU im. G.I. Nosova, 2005. – 164 s.
  10. Parsunkin, B.N. Optimizaciya upravleniya tekhnologicheskimi processami v metallurgii. Monografiya / B.N. Parsunkin, S.M. Andreev, U.B. Ahmetov // Magnitogorsk: GOU VPO «MGTU im. G.I.Nosova», 2006. – 198 s.
  11. Parsunkin, B.N. Avtomatizaciya tekhnologicheskikh processov i proizvodstv v metallurgii: ucheb. Posobie / B.N. Parsunkin, S.M. Andreev, E.S. Ryabchikova // Magnitogorsk: Izd-vo Magnitogorsk. gos. tekhn. un-ta im. G.I. Nosova, 2011. – 151 s.
-