



СЪЕЗД СОВЕТОВ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ  
РЕСПУБЛИК

№ **SU** (III) **1615190** **A1**

(51) 5 С 21 С 5/30

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ  
ПРИ ГНТ СССР

## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 4618194/27-02  
(22) 12.12.88  
(46) 23.12.90. Бюл. № 47  
(71) Киевский институт автоматики  
им. XXV съезда КПСС  
(72) В.С. Богушевский, Н.А. Сорокин,  
И.В. Присяжнюк и Н.С. Церковникий  
(53) 621.74 (988.8)  
(56) Авторское свидетельство СССР  
№ 450834, кл. С 21 С 5/30, 1974.

(54) УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ  
ВАНИИ КОНВЕРТЕРА

(57) Изобретение относится к контро-  
лю и управлению кислородно-конвертер-  
ным процессом. Цель - повышение точ-  
ности контроля. Устройство позволяет  
повысить точность контроля основных  
параметров за счет совместного рас-

смотренных процессов окисления приме-  
сей, приращения температуры ванны,  
а также реакций первичного и вторич-  
ного окисления. Устройство содержит  
датчики контроля давления отходящего  
газа в переходном газоходе, темпера-  
турного перепада воды, охлаждающей  
кессон, и расхода кислородного дутья.  
Поставленная цель достигается путем  
введения дополнительных датчиков конт-  
роля температуры отходящего газа в  
переходном газоходе, разрежения в ниж-  
ней плоскости кессона, расхода воды,  
охлаждающей кессон, температурного  
линейного расширения экранных труб  
подъемного газохода по ходу продувки  
и блоков определения основных пара-  
метров процесса путем решения систе-  
мы уравнений. 1 ил.

Изобретение относится к черной  
металлургии, конкретнее к управлению  
кислородно-конвертерным процессом.

Цель изобретения - увеличение точ-  
ности контроля.

На чертеже приведена блок-схема  
устройства контроля параметров ван-  
ны конвертера.

Датчик 1 давления отходящего газа  
в переходном газоходе, например Сапфир-  
22ДН, подсоединен через первый блок 2  
умножения к первому сумматору 3, к  
которому, кроме того, подключен дат-  
чик 4 температуры отходящего газа в  
переходном газоходе, например термопа-  
ра ТХА. Выход первого сумматора 3  
подключен через второй блок 5 умно-

жения к первому блоку 6 деления, к  
второму входу которого подключен тре-  
тий блок 7 умножения. Входы последне-  
го подключены соответственно к датчи-  
ку 1 давления отходящего газа в пере-  
ходном газоходе и датчику 8 разреже-  
ния в нижней плоскости кессона. Вто-  
рой вход второго блока 5 умножения  
подключен к блоку 9 ввода начальных  
условий. Датчик 1 давления отходящего  
газа в переходном газоходе подключен  
также через четвертый блок 10 умноже-  
ния к первому сумматору 3. Датчик 4  
температуры отходящего газа в пере-  
ходном газоходе подключен также к вто-  
рому сумматору 11, к которому также  
подсоединен датчик 12 температуры

№ **SU** (III) **1615190** **A1**

факела пламени в подъемном газоходе, например пирометр типа "Спектр". Выход второго сумматора 11 соединен непосредственно и через пятый блок 13 умножения и третий сумматор 14 с шестым блоком 15 умножения, к которому также подключен седьмой блок 16 умножения. Выход шестого блока 15 умножения соединен через восьмой блок 17 умножения с вторым блоком 18 деления, который, кроме того, соединен с четвертым блоком 10 умножения. Датчики 19 и 20 температурного перепада воды, например гипертермопара ТХК, охлаждающей кессон, и массового расхода воды, охлаждающей кессон, например Сапфир-22 ДЦ, подсоединены через девятый блок 21 умножения к третьему сумматору 14, к которому также подключен датчик 22 температурного линейного расширения экранных труб подъемного газохода по ходу продувки, например датчик усилий ДСТБ-С-060, через десятый блок 23 умножения.

Выход третьего сумматора 14 подключен к второму блоку 18 деления, выход которого соединен с одиннадцатым блоком 24 умножения. Второй вход последнего соединен с выходом седьмого блока 16 умножения, который, кроме того, соединен через двенадцатый блок 25 умножения с четвертым сумматором 26. Вход четвертого сумматора 26 соединен с датчиком 27 объемного расхода кислородного дутья через тринадцатый блок 28 умножения. Датчик 29 текущего времени продувки подключен через третий, четвертый и пятый блоки 30 - 32 деления соответственно к первому, второму и третьему блокам 33 - 35 возведения в степень, выходы которых соответственно связаны с четырнадцатым, пятнадцатым и шестнадцатым блоками 36 - 38 умножения и четвертым сумматором 26. Выход седьмого блока 16 умножения соединен с семнадцатым блоком 39 умножения, а выход одиннадцатого блока 24 умножения с восемнадцатым блоком 40 умножения.

Выход четвертого сумматора 26 подключен к выходу девятнадцатого блока 41 умножения. Датчик 29 текущего времени продувки подключен также к шестому блоку 42 деления, пятому, шестому, седьмому и восьмому сумматорам 43 - 46, которые, кроме того, подключены к блоку 9 ввода начальных

условий. Шестой блок 42 деления через четвертый блок 47 возведения в степень и двадцатый блок 48 умножения подключен к девятому сумматору 49. Пятый, шестой, седьмой и восьмой сумматоры 43 - 46 соответственно через седьмой, восьмой, девятый и десятый блоки 50 - 53 деления, пятый, шестой, седьмой блоки 54 - 56 возведения в степень и первый функциональный блок 57 подсоединены к двадцать первому, двадцать второму, двадцать третьему и двадцать четвертому блокам 58 - 61 умножения. Под позицией 62 указан второй функциональный блок. Выход двадцать четвертого блока 61 умножения подключен через двадцать пятый блок 63 умножения к девятому сумматору 49, к которому, кроме того, подключены блоки 36 - 40 и 58 - 60. Выход девятого сумматора 49 подключен к одиннадцатому блоку 64 деления, причем блоки 48, 50 - 53, 61 и 64 подключены к блоку 9 ввода начальных условий. Второй функциональный блок 62 подключен к двадцать пятому блоку 63 умножения. Блоки устройства выполнены на базе стандартных блоков вычислительной техники.

Процессы нагрева металла, первичного и вторичного окисления примесей в ванне конвертера находятся в тесной взаимосвязи. Именно окисление примесей приводит к повышению температуры ванны, а, в свою очередь, температурные условия влияют на распределение дутья на реакции первичного и вторичного окисления. Рассмотрение этих процессов во взаимосвязи позволяет увеличить точность контроля основных параметров ванны конвертера. При этом оказывается, что количество параметров, характеризующих процессы в ванне конвертера, является явно недостаточным. Для разрешения системы уравнений к датчикам контроля давления отходящего газа в переходном газоходе, температуры факела пламени в подъемном газоходе, температурного перепада воды, охлаждающей кессон, и расхода кислородного дутья добавляются датчики контроля температуры отходящего газа в переходном газоходе, разрежения в нижней плоскости кессона, расхода воды, охлаждающей кессон, и температурного линейного расширения экранных труб подъемного газохода по ходу продувки.

Скорость обезуглероживания ванны через объемный расход вдуваемого кислородного дутья равна:

$$\frac{dG_C}{d\tau} = 10^{-2} \cdot G_y \frac{dC}{d\tau} = 10^{-2} \cdot \frac{2 \cdot 12}{22,4} [V \gamma_1 (1 - \gamma_2) - 10^3 (1 - \gamma_{CO}) \frac{dG_C}{d\tau} \cdot \frac{22,4}{2 \cdot 12} - 10^3 \frac{dG_{Fe}}{d\tau} \cdot \frac{22,4}{2 \cdot 56} - \sum V_R] \quad (1)$$

где  $\frac{dG_C}{d\tau}$  — массовая скорость обезуглероживания ванны, т/мин;

$G_y$  — масса чугуна на плавку, т;

$\frac{dC}{d\tau}$  — скорость обезуглероживания ванны, %/мин;

$V$  — объемный расход кислородного дутья, приведенный к нормальным условиям, м<sup>3</sup>/мин;

$\gamma_1$  — коэффициент, характеризующий чистоту дутья;

$\gamma_2 = 0,01$  — коэффициент, учитывающий потери дутья;

$\gamma_{CO}$  — массовая доля углерода ванны, окисляющегося до CO в полости конвертера за счет кислорода дутья;

$\frac{dG_{Fe}}{d\tau}$  — массовая скорость окисления железа ванны, т/мин;

$\sum V_R$  — объемный расход кислорода дутья для окисления примесей чугуна, м<sup>3</sup>/мин.

Изменение температуры ванны в динамике по ходу продувки можно выразить уравнением

$$CG_y \frac{dt}{d\tau} = Q_{CO} \frac{dG_C}{d\tau} + (Q_{CO_2} - Q_{CO}) (1 - \gamma_{CO}) \frac{dG_C}{d\tau} \gamma_3 + Q_{Fe} \frac{dG_{Fe}}{d\tau} = \frac{60}{10^3} [q_A(\psi) + q_{a.c} - \sum q_R + \sum q_i], \quad (2)$$

где  $C$  — средняя удельная теплоемкость жидкого металла при средней за продувку температуре, равная 0,88 кДж/(кг·К);

$\frac{dt}{d\tau}$  — скорость изменения температуры ванны, К/мин;

$Q_{CO}, Q_{CO_2}, Q_{Fe}$  — удельные нестандартные тепловые эффекты химических реакций образования соответствующих оксидов углерода и железа в рабочем пространстве конвертера при стандартной температуре газообразного кислорода, кДж/кг окисляющегося элемента;

$\gamma_3$  — коэффициент, характеризующий использование ванный теплоты от догорания CO в CO<sub>2</sub> в полости конвертера, равный 0,7;

$q_A(\psi)$  — мощность, затраченная на нагрев и расплавление лома определенного вида  $\psi$  по ходу продувки, кВт;

$q_{a.c}$  — тепловой поток, обусловленный потерей на нагрев активного слоя футеровки конвертера по ходу продувки, кВт;

$\sum q_R$  — суммарная мощность тепловыделения по ходу продувки при окислении примесей чугуна, кВт;

$\sum q_i$  — суммарные потери мощности на усвоение добавок сыпучих, кВт.

Здесь

$$q_A(\psi) = \frac{G_A [1 - \beta(\psi)]}{0,95 \cdot 60 \cdot \Delta \tau_y(\psi)} \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{\Delta \tau_y(\psi) \cdot G_A}\right), \quad (3)$$

где  $G_A$  — удельная теплота, затраченная на нагрев и расплавление лома, равная 1368·10<sup>3</sup> кДж/т;

$\beta(\psi)$  — массовая доля лома определенного вида, расплавляющегося при заливке чугуна в конвертер;

$\Delta \tau_y(\psi) = \Delta \tau_y(\psi) / G_A$  — удельное значение постоянной времени переходного процесса проплавления лома определенного вида, мин/т;

$\Delta \tau(\psi)$  — постоянная времени переходного процесса проплавления лома определенного вида, мин;

$G_A$  — масса лома на плавку, т;

$\tau$  — текущее время, отсчитываемое от момента начала продувки, мин;

$$q_{a.c} = -2 \lambda_\phi \Delta t_{*} \Big|_{x=0} \sqrt{\frac{2 \hat{a}_\phi^3}{60 \cdot a_\phi \cdot \tau_{\text{пл}}}} \cdot R_\phi \cdot L \cdot \cos\left(2 \hat{a}_\phi \frac{0,5 \hat{t}_{\text{пл}} + \tau}{\tau_{\text{пл}}}\right), \quad (4)$$

где  $\lambda_\phi$  — коэффициент теплопроводности футеровки, кВт/(м·°C);

$\Delta t_{*} \Big|_{x=0}$  — амплитуда колебаний температуры на огневой поверхности футеровки, °C;

$a_\phi$  — температуропроводность футеровки, равная для СЛМ кирпича 0,73·10<sup>-6</sup> м<sup>2</sup>/с;

$\tau_{\text{пл}}$  — средняя продолжительность плавки, мин;

$R_\phi$  — текущий, внутренний радиус футеровки, м;

$L$  — длина эквивалентной цилиндрической футеровки, м.

Уравнения переходного процесса массо- и теплообмена при окислении примесей чугуна кислородом аналогичны

кинетическому уравнению проплавления лама по ходу продувки ванны:

$$V_R = \frac{b_R \cdot V_{mo}}{0,95 \cdot a_R \cdot A_R \cdot \Delta \hat{t}_{yR}} \exp\left(-\frac{\hat{t}}{\Delta \hat{t}_{yR} (R_4 - \gamma_4 R_M)}\right), \quad (5)$$

и

$$q_R = \frac{Q_m}{0,95 a_R A_R \cdot 60 \Delta \hat{t}_{yR}} \exp\left(-\frac{\hat{t}}{\Delta \hat{t}_{yR} (R_4 - \gamma_4 R_M)}\right), \quad (6)$$

где  $b_R, a_R$  - стехиометрические коэффициенты реакций окисления элемента R;

$V_R$  - объемный расход при нормальных условиях кислорода дутья для окисления элемента R, м<sup>3</sup>/мин;

$V_{mo}$  - молярный объем идеального газа при нормальных условиях, равный 22,4 м<sup>3</sup>/кмоль;

$A_R$  - атомная масса окисляющегося элемента R, кг/кг-атом;

$\Delta \hat{t}_{yR}$  - удельное значение постоянной времени переходного процесса окисления элемента R, мин/%;

$R_4, R_M$  - массовая доля окисляющегося элемента соответственно в чугуне и металле (принимая  $S_{iM}=0$ ), %;

$\gamma_4 = 0,9$  - коэффициент, характеризующий угар элементов чугуна и равный отношению массы выплавленного металла к исходной массе чугуна;

$q_R$  - мощность тепловыделения по ходу продувки ванны при окислении элемента R, кВт.

По аналогии с кинетическим уравнением тепловой обработки лама по ходу продувки учитываем мощность на усвоение  $i$ -й добавки сыпучих (известняк и др.)  $q_i$ , кВт:

$$q_i = \frac{Q_i}{0,95 \cdot 60 \cdot \Delta \hat{t}_{yi}} \exp\left(-\frac{\hat{t} - \hat{t}_i}{\Delta \hat{t}_{yi} \cdot G_i}\right), \quad (7)$$

где  $Q_i$  - удельная теплота, затраченная на усвоение  $i$ -й добавки сыпучих, включающая физическую теплоту на нагрев и изменение агрегатного состояния, а также химическую теплоту реакций превращения добавки, кДж/т;

$\Delta \hat{t}_{yi}$  - удельное значение постоянной времени переходного процесса

усвоения  $i$ -й добавки сыпучих, мин/т;

$\hat{t}_i$  - время ввода  $i$ -й добавки сыпучих, отсчитываемое от момента начала продувки, мин;

$G_i$  - масса  $i$ -й добавки сыпучих, т.

Уравнение теплового баланса в переходном газоходе ОКГ имеет вид

$$C_r \left( \frac{dG_{CO}}{d\hat{t}} + \frac{dG_{CO_2}}{d\hat{t}} + 10^{-3} \times \rho_{возд} \times V_{возд} \right) (t_{фак} - t_r) = \frac{60}{10^3} (1 + \gamma_5) \cdot (q_k + q_r), \quad (8)$$

где  $C_r$  - средняя удельная теплоемкость продуктов сгорания газа, кДж/(кг·°C);

$\frac{dG_{CO}}{d\hat{t}} = \gamma_{CO} \cdot \frac{dG_C}{d\hat{t}} \cdot \frac{28}{12}$  - массовый расход оксида углерода из конвертера, т/мин;

$\frac{dG_{CO_2}}{d\hat{t}} = (1 - \gamma_{CO}) \frac{dG_C}{d\hat{t}} \cdot \frac{44}{12}$  - массовый расход диоксида углерода из конвертера, т/мин;

$\rho_{возд}$  - плотность воздуха при нормальных физических условиях, равная 1,293 кг/м<sup>3</sup>;

$V_{возд}$  - объемный расход подсосанного воздуха, приведенный к нормальным условиям, м<sup>3</sup>/мин;

$t_{фак}$  - температура факела пламени в подъемном газоходе, °C;

$t_r$  - температура отходящего газа в переходном газоходе, °C;

$\gamma_5$  - коэффициент, характеризующий потери в окружающую среду и равный 0,015 для ОКГ с дожиганием и 0,005 без утилизации теплоты;

$q_k = C_{H_2O} \cdot \frac{dG_{H_2O}}{d\hat{t}} \Delta t_k$  - тепловой поток, воспринимаемый кессоном, кВт;

$C_{H_2O}$  - средняя удельная теплоемкость охлаждающей воды, равная 4,19 кДж/(кг·°C);

$\frac{dG_{H_2O}}{d\hat{t}}$  - массовый расход воды, охлаждающей кессон, кг/с;

$\Delta t_k$  - температурный перепад воды, охлаждающей кессон, °C;

$q_r = K \cdot \Delta L$  - тепловой поток, воспринимаемый поверхностью нагрева экранных труб подъемного газохода ОКГ, кВт;

$K$  - коэффициент пропорциональности, равный, например для

130-тонного конвертера с  
ОКГ - 100-р.2, 5640 кВт/мм;

$\Delta L$  - температурное линейное расширение экранных труб подъемного газохода по ходу продувки, мм.

Здесь  $V_{возд} = K_2 \delta p$ , (9)

где  $K_2$  - коэффициент пропорциональности, равный для 130-тонного конвертера  $55,8 \text{ м}^3/(\text{мин} \cdot \text{Па})$ ;

$\delta p$  - разрежение в нижней плоскости кессона, Па.

Используя уравнение состояния газа в переходном газоходе, получим

$$P = p \cdot R_y(t_r + 273), \quad (10)$$

где  $P$  - давление отходящего газа в переходном газоходе, Па;

$\rho$  - плотность при нормальных условиях продуктов сгорания в переходном газоходе,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  
 $R_y$  - удельная газовая постоянная отходящих продуктов,  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ .

Здесь

$$\rho = K_3 \frac{10^2 \frac{dG_c}{d\hat{t}} \cdot \frac{22,4}{12}}{\frac{dG_c}{d\hat{t}} \cdot \frac{22,4}{12} + 10^{-3} K_2 \delta p - \frac{dG_c}{d\hat{t}} \cdot \frac{22,4}{12} \cdot 0,5 \gamma_{co}} \quad (11)$$

где  $K_3$  - коэффициент пропорциональности, равный  $0,11 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$ .

Подставляя в уравнения динамики численные значения параметров, получим систему уравнений контроля выходных параметров по ходу продувки:

$$\begin{cases} -0,02G_u \frac{dC}{d\hat{t}} + 0,01G_u \frac{dC}{d\hat{t}} \cdot \gamma_{co} - 0,214 \frac{dG_{Fe}}{d\hat{t}} + 1,06 \cdot 10^{-3} V \gamma_1 - 0,347 \cdot 10^{-3} \exp(-\frac{\hat{t}}{2,59Si_u}) - \\ - 0,112 \cdot 10^{-3} \exp(-\frac{\hat{t}}{2,05(Mn_u - 0,9Mn_M)}) - 0,204 \cdot 10^{-4} \exp(-\frac{\hat{t}}{50(P_u - 0,9P_M)}) = 0; \\ 252G_u \frac{dC}{d\hat{t}} - 146,5G_u \frac{dC}{d\hat{t}} \gamma_{co} + 4485 \frac{dG_{Fe}}{d\hat{t}} - 0,88G_u \frac{dt}{d\hat{t}} + 10 \exp(-\frac{\hat{t}}{2,59Si_u}) + \\ + 3,53 \exp(-\frac{\hat{t}}{2,05(Mn_u - 0,9Mn_M)}) + 3,95 \exp(-\frac{\hat{t}}{50(P_u - 0,9P_M)}) - \\ - 1440 [1 - \beta(\psi)] \exp(-\frac{\hat{t}}{0,459 \cdot G_u}) - 5770 \exp(-\frac{\hat{t} - \hat{t}_{uk}}{0,459 \cdot G_u}) - 5770 \exp(-\frac{\hat{t} - \hat{t}_{uk}}{0,88G_{uk}}) - \\ - \Delta \hat{t}_y(\psi) \frac{\Delta \hat{t}_y(\psi) \cdot G_n}{\Delta \hat{t}_y(\psi) \cdot G_n} - 5800 \exp(-\frac{\hat{t} - \hat{t}_{un}}{0,423G_{un}}) + 0,12 \lambda_\phi \Delta t_{ж} |_{x=0} \sqrt{\frac{2\pi^2}{60a_\phi \cdot \hat{t}_{un} \cdot R_\phi \cdot L \cos(2\pi \frac{0,5\hat{t}_{un} + \hat{t}}{\hat{t}_{un}})}} = 0; \\ 0,0442G_u(t_{фак} - t_r) \frac{dC}{d\hat{t}} - 0,0161G_u(t_{фак} - t_r) \cdot \frac{dC}{d\hat{t}} \gamma_{co} + 1,563 \cdot 10^{-3} K_2 \delta p (t_{фак} - t_r) - \\ - 0,251(1 + \gamma_5) \frac{dG_{H_2O}}{d\hat{t}} \Delta t_k - 0,06(1 + \gamma_5) K_1 \Delta L = 0; \\ G_u(1,866 \cdot 10^{-2} P - 0,93 \cdot 10^{-2} P \gamma_{co} - 56,4(t_r + 273)) \frac{dC}{d\hat{t}} + 10^{-3} PK_2 \delta p = 0; \end{cases} \quad (12)$$

где  $Si_u$ ;  $Mn_u$ ;  $P_u$  - содержание кремния, марганца и фосфора в чугуна, %;

$Mn_M$ ;  $P_M$  - содержание марганца и фосфора в металле, %;

$\hat{t}_u$ ,  $\hat{t}_{uk}$ ,  $\hat{t}_{un}$  - время ввода добавки соответственно

извести, известняка, шлата, мин;

$G_u$ ,  $G_{uk}$ ,  $G_{un}$  - соответственно масса извести, известняка, шлата, т.

Текущий, внутренний радиус футеровки, характеризующий разгар футеровки, определяется из соотношений:

$$\begin{cases} G = p_\phi \left\{ (2a - 2R_\phi \tan(\psi)) \left[ 0,5R_\phi^2 \arcsin \frac{a \cdot \text{ctg}(\psi) - R_\phi}{R_\phi} + 0,5 (a \cdot \text{ctg}(\psi) - R_\phi) \times \right. \right. \\ \left. \times \sqrt{R_\phi^2 - (a \cdot \text{ctg}(\psi) - R_\phi)^2} + 0,25R_\phi^2 \right] + 0,666 \tan(\psi) [R_\phi^2 (a \cdot \text{ctg}(\psi) - R_\phi)^2] \frac{3}{2} \left\{ \right. \\ \left. I = \alpha_1 + \alpha_2 R_\phi + \alpha_3 R_\phi^2 + (\alpha_4 + \alpha_5 R_\phi + \alpha_6 R_\phi^2) G + \alpha_7 \cdot U, \right. \end{cases} \quad (13)$$

где  $G$  - масса шлата в конвертере, т;

$\rho_\phi$  - плотность шлата,  $\text{т}/\text{м}^3$ ;

$a$  - расстояние по образующей эквивалентного цилиндра от дни-

ща конвертера до кромки стале-выпускного отверстия, м;

$\psi$  - угол наклона конвертера от вертикальной оси в момент по-

явления шлака из сталевого отверстия, угл. град;

I — ток нагрузки на якоре двигателя привода конвертера, А;

U — напряжение на якоре двигателя привода конвертера, В;

$\alpha_1 - \alpha_7$  — коэффициенты.

Устройство работает следующим образом.

В процессе продувки напряжение, пропорциональное значению давления отходящего газа, поступает с датчика 1 в первый блок 2 умножения, с выхода которого снимается величина, пропорциональная значению  $\frac{1,866 \cdot 10^{-2}}{56,4} P$ , поступающая на первый сумматор 3. Напряжение, пропорциональное температуре отходящего газа, поступает с датчика 4 на первый сумматор 3 и второй сумматор 11. Напряжение, пропорциональное значению давления отходящего газа, поступает также с датчика 1 на четвертый блок 10 умножения, на который одновременно поступает напряжение, пропорциональное  $\gamma_{CO}$ , с второго блока 18 деления. С выхода блока 10 снимается напряжение, пропорциональное величине  $\frac{0,93 \cdot 10^{-2}}{56,4} P \cdot \gamma_{CO}$ , поступающее на первый сумматор 3. Выходное напряжение сумматора 3, пропорциональное величине  $\frac{1,866}{56,4} \cdot 10^{-2} P - \frac{0,93}{56,4} \times$

$\times 10^{-2} P \gamma_{CO} - (t_r + 273)$ , поступает на второй блок 5 умножения, в который одновременно поступает напряжение, пропорциональное величине массы чугуна на плавку, с блока 9 ввода начальных условий, таким образом, выходное напряжение второго блока 5 умножения пропорционально величине  $G_u \left[ \frac{1,866}{56,4} \cdot 10^{-2} P - \frac{0,93}{56,4} \cdot 10^{-2} P \gamma_{CO} - (t_r + 273) \right]$ . Напряжение, пропорциональное значению давления отходящего газа, поступает с датчика 1, а напряжение, пропорциональное значению разрежения в нижней плоскости кессона, с датчика 8 — в третий блок 7 умножения, выходное напряжение которого пропорционально величине  $\frac{1,1}{56,4} P K_2 \gamma$ . Выходные напряжения с блоков 5 и 7 поступают в блок 6 деления, в котором определяется скорость обезуглероживания ванны. Напряжение, пропорциональное величине температуры факела пламени в подъемном газоходу, поступает с датчика 12 на второй сумматор 11, выходное напряжение которого, пропорциональное  $(t_{фак} - t_r)$ , поступает в пятый и шестой блоки 13 и 15 умножения. В пятый блок 13 умножения поступает также напряжение, пропорциональное величине разрежения в нижней плоскости кессона. Выходное напряжение пятого блока 13 умножения пропорционально величине  $K_2 \delta_p (t_{фак} - t_r)$ . Выходное напряжение с первого блока 6 деления, пропорциональное величине  $\frac{d\epsilon}{d\tau}$ , поступает в седьмой блок 16 умножения, в который одновременно поступает напряжение, пропорциональное массе чугуна на плавку, с блока 9 ввода начальных условий. Выходное напряжение с шестого блока 15 умножения, пропорциональное величине  $\frac{0,0442}{1,563 \cdot 10^{-3}} G_u (t_{фак} - t_r) \cdot \frac{d\epsilon}{d\tau}$ , поступает на третий сумматор 14 и на восьмой блок 17 умножения. Напряжения, пропорциональные температурному перепаду воды, охлаждающей кессон, с датчика 19 и массовому расходу воды с датчика 20, поступают на девятый блок 21 умножения, выходное напряжение которого пропорционально  $\frac{0,251(1 + \gamma_5)}{1,563 \cdot 10^{-3}} \frac{dG_{H_2O}}{d\tau} \Delta t_K$ . Напряжение, пропорциональное величине температурного линейного расширения экранных труб подъемного газохода, поступает с датчика 22 на десятый блок 23 умножения, выходное напряжение которого пропорционально величине  $\frac{0,06}{1,563 \cdot 10^{-3}} (1 + \gamma_5) K_1 \Delta L$ .

Напряжение с выхода третьего сумматора 14, пропорциональное величине  $\frac{1}{1,563 \cdot 10^{-3}} \left[ 0,0442 G_u (t_{фак} - t_r) \frac{d\epsilon}{d\tau} - 0,251(1 + \gamma_5) \frac{dG_{H_2O}}{d\tau} \Delta t_K - 0,06(1 - \gamma_5) K_1 \Delta L \right] + K_2 \delta_p (t_{фак} - t_r)$ , поступает во второй блок 18 деления, в который одновременно поступает напряжение с восьмью блока 17 умножения, пропорциональное величине  $\frac{0,0161}{1,563 \cdot 10^{-3}} G_u (t_{фак} - t_r) \frac{d\epsilon}{d\tau}$ . Выходное напряжение с второго блока 18 деления пропорционально мас-

жению, пропорциональное величине температуры факела пламени в подъемном газоходу, поступает с датчика 12 на второй сумматор 11, выходное напряжение которого, пропорциональное  $(t_{фак} - t_r)$ , поступает в пятый и шестой блоки 13 и 15 умножения. В пятый блок 13 умножения поступает также напряжение, пропорциональное величине разрежения в нижней плоскости кессона. Выходное напряжение пятого блока 13 умножения пропорционально величине  $K_2 \delta_p (t_{фак} - t_r)$ . Выходное напряжение с первого блока 6 деления, пропорциональное величине  $\frac{d\epsilon}{d\tau}$ , поступает в седьмой блок 16 умножения, в который одновременно поступает напряжение, пропорциональное массе чугуна на плавку, с блока 9 ввода начальных условий. Выходное напряжение с шестого блока 15 умножения, пропорциональное величине  $\frac{0,0442}{1,563 \cdot 10^{-3}} G_u (t_{фак} - t_r) \cdot \frac{d\epsilon}{d\tau}$ , поступает на третий сумматор 14 и на восьмой блок 17 умножения. Напряжения, пропорциональные температурному перепаду воды, охлаждающей кессон, с датчика 19 и массовому расходу воды с датчика 20, поступают на девятый блок 21 умножения, выходное напряжение которого пропорционально  $\frac{0,251(1 + \gamma_5)}{1,563 \cdot 10^{-3}} \frac{dG_{H_2O}}{d\tau} \Delta t_K$ . Напряжение, пропорциональное величине температурного линейного расширения экранных труб подъемного газохода, поступает с датчика 22 на десятый блок 23 умножения, выходное напряжение которого пропорционально величине  $\frac{0,06}{1,563 \cdot 10^{-3}} (1 + \gamma_5) K_1 \Delta L$ .

Напряжение с выхода третьего сумматора 14, пропорциональное величине  $\frac{1}{1,563 \cdot 10^{-3}} \left[ 0,0442 G_u (t_{фак} - t_r) \frac{d\epsilon}{d\tau} - 0,251(1 + \gamma_5) \frac{dG_{H_2O}}{d\tau} \Delta t_K - 0,06(1 - \gamma_5) K_1 \Delta L \right] + K_2 \delta_p (t_{фак} - t_r)$ , поступает во второй блок 18 деления, в который одновременно поступает напряжение с восьмью блока 17 умножения, пропорциональное величине  $\frac{0,0161}{1,563 \cdot 10^{-3}} G_u (t_{фак} - t_r) \frac{d\epsilon}{d\tau}$ . Выходное напряжение с второго блока 18 деления пропорционально мас-

совой доле углерода ванны, окисляющегося до CO в полости конвертера. При изменении входных параметров процесса происходит одновременно вычисление

значений  $\frac{d\epsilon}{d\tau}$  и  $\gamma_{CO}$ . Выходное напряжение седьмого блока 16 умножения и второго блока 18 деления поступает в одиннадцатый блок 24 умножения, выходное напряжение которого, пропорциональное

величине  $\frac{0,01}{0,214} \cdot G_u \cdot \frac{d\epsilon}{d\tau} \cdot \gamma_{CO}$ , поступает в четвертый сумматор 26.

Напряжение с блока 16 поступает также в двенадцатый блок 25 умножения, выходное напряжение которого, пропорциональное величине  $\frac{0,02}{0,214} \cdot G_u \cdot \frac{d\epsilon}{d\tau}$ , поступает в четвертый сумматор 26.

Напряжение, пропорциональное объемному расходу кислородного дутья, с датчика 27 поступает в тринадцатый блок 28 умножения, выходное напряжение которого пропорционально величине  $\frac{1,06 \cdot 10^{-3}}{0,214} \cdot V \cdot \gamma_1$ . Выходное напряжение с датчика 29 текущего времени продувки поступает на третий, четвертый и пятый блоки 30 - 32 деления, в которые одновременно поступают напряжения с блока начальных условий соответственно равные  $Si_u$ ,  $(Mn_u - 0,9Mn_M)$ ,  $(P_u - 0,9P_M)$ . Таким образом, на вход первого блока 33 возведения в степень поступает напряжение, пропорциональное величине  $(-\frac{\hat{\epsilon}}{Si_u})$ , второго блока 34 -  $(-\frac{\hat{\epsilon}}{(Mn_u - 0,9Mn_M)})$ , третьего блока 35 -  $(-\frac{\hat{\epsilon}}{(P_u - 0,9P_M)})$ .

На выходе блоков возведения в степень получаем соответственно напряжение, пропорциональное  $\exp(-\frac{\hat{\epsilon}}{Si_u})$ ,  $\exp(-\frac{\hat{\epsilon}}{(Mn_u - 0,9Mn_M)})$ ,  $\exp(-\frac{\hat{\epsilon}}{(P_u - 0,9P_M)})$ .

Напряжения с выхода блоков 33 - 35 поступают в четвертый сумматор 26, выходное напряжение которого пропорциональное величине  $\frac{dG_{Fe}}{d\tau}$ . Выходное напряжение с седьмого блока 16 умножения поступает в семнадцатый блок 39 умножения, выходное напряжение которого пропорционально величине  $252G_u \cdot$

$\times \frac{d\epsilon}{d\tau}$ . Напряжение с одиннадцатого блока 24 умножения поступает на восемнадцатый блок 40 умножения, выходное напряжение которого пропорционально величине  $146,5G_u \cdot \frac{d\epsilon}{d\tau} \cdot \gamma_{CO}$ . Напряжение с четвертого сумматора 26 поступает на девятнадцатый блок 41 умножения, выходное напряжение которого пропорционально

величине  $4485 \cdot \frac{dG_{Fe}}{d\tau}$ . Выходные напряжения первого, второго и третьего блоков 33 - 35 возведения в степень поступают соответственно в четырнадцатый, пятнадцатый и шестнадцатый блоки 36 - 38 умножения, выходные напряжения которых соответственно пропорциональны величине  $10 \exp(-\frac{\hat{\epsilon}}{Si_u})$ .

$$3,53 \exp(-\frac{\hat{\epsilon}}{(Mn_u - 0,9Mn_M)})$$

$$0,395 \exp(-\frac{\hat{\epsilon}}{(P_u - 0,9P_M)}).$$

Выходное напряжение с датчика 29 поступает на шестой блок 42 деления, выходное напряжение которого, пропорциональное величине  $(-\frac{\hat{\epsilon}}{\Delta \hat{\epsilon}_y(\psi) \cdot G_A})$ , поступает в четвертый блок 47 возведения в степень. (Напряжение, пропорциональное произведению  $\Delta \hat{\epsilon}_y(\psi) \cdot G_A$ , поступает на шестой блок 42 деления с блока 9 ввода начальных условий). С выхода четвертого блока 47 возведения в степень снимается напряжение

$\exp(-\frac{\hat{\epsilon}}{\Delta \hat{\epsilon}_y(\psi) \cdot G_A})$ , а с выхода двадцатого блока 48 умножения  $\frac{1440 [1 - \beta(\psi)]}{\Delta \hat{\epsilon}_y(\psi)} \times$

$\times \exp(-\frac{\hat{\epsilon}}{\Delta \hat{\epsilon}_y(\psi) \cdot G_A})$ . Напряжение с датчика 29 поступает также на пятый сумматор 43, выходное напряжение которого, пропорциональное разности  $(\hat{\epsilon} - \hat{\epsilon}_u)$ , поступает в седьмой блок 50 деления.

С выхода блока 50 снимается напряжение, пропорциональное величине  $(-\frac{\hat{\epsilon} - \hat{\epsilon}_u}{G_u})$ , поступающее в пятый блок 54 возведения в степень, на выходе которого получаем напряжение  $\exp(-\frac{\hat{\epsilon} - \hat{\epsilon}_u}{0,459G_u})$ .

а с выхода двадцать первого блока 58 умножения получаем напряжение, пропорциональное величине 5770 х

$\times \exp\left(-\frac{\hat{t} - \hat{t}_{u1}}{0,459 G_u}\right)$ . Аналогично с двадцать второго блока 59 умножения снимается напряжение, пропорциональное величине 577)  $\exp\left(-\frac{\hat{t} - \hat{t}_{u2}}{1,88 G_{u2}}\right)$ , с двадцать третьего блока 60 умножения  $5800 \exp\left(-\frac{\hat{t} - \hat{t}_{u3}}{0,423 G_{u3}}\right)$ , а с двадцать пя-

того блока 63 умножения  $0,127 \frac{d\hat{t}_j}{dt} \times \alpha^x \sqrt{\frac{\hat{t}_j^3}{60 a_{\phi} \hat{t}_{n1}}} \cdot R_{\phi} \cdot L \cdot \cos\left(2\pi \frac{0,5 \hat{t}_{n1} + \hat{t}}{\hat{t}_{n1}}\right)$ .

Во втором функциональном блоке 61 производится вычисление текущего внутреннего радиуса футеровки  $R_{\phi}$ . Выходные напряжения блоков 9, 36 - 41, 58 - 60 и 63 поступают в девятый сумматор 49, откуда в одиннадцатый блок 64 деления, в котором производится деление на  $G_u$ . Таким образом, выходное напряжение блока 64 пропорционально величине  $\frac{d\hat{t}}{d\hat{t}}$ . Выходные напряжения блоков 6, 18, 26 и 64 пропорциональны основным параметрам ванны и могут быть использованы в АСУ ТП.

Испытание предлагаемого устройства показывает, что его использование по сравнению с известным позволяет повысить точность контроля параметров, что приводит к увеличению количества плавок, выпускаемых с первой повалки, на 10-15%.

#### Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

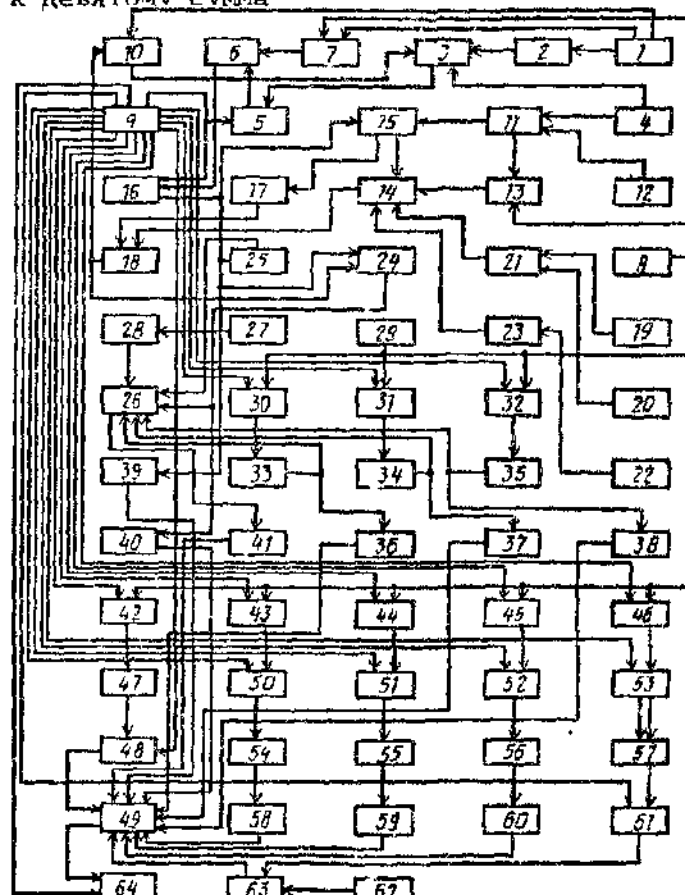
Устройство контроля параметров ванны конвертера, содержащее датчики контроля давления отходящего газа в переходном газоходе, температуры факела пламени в подъемном газоходе, температурного перепада воды, охлаждающей кессон, расхода кислородного дутья, блок ввода начальных условий, блоки определения скорости обезуглероживания ванны, массовой доли углерода ванны, окисляющегося до CO в полости конвертера за счет кислородного дутья, массовой скорости окисления железа ванны, скорости изменения температуры ванны, отличающееся тем, что, с целью увеличения точности, оно дополнительно содержит датчики контроля температуры отходящего газа в переходном газохо-

де, разрежения в нижней плоскости кессона, расхода воды, охлаждающей кессон, температурного линейного расширения экранных труб подъемного газохода по ходу продувки, причем датчик давления отходящего газа в переходном газоходе соединен через первый блок умножения с первым сумматором, к которому, кроме того, подсоединен датчик температуры отходящего газа в переходном газоходе, выход первого сумматора подсоединен через второй блок умножения к первому блоку деления, к второму входу которого подсоединен выход третьего блока умножения, входы которого подсоединены соответственно к датчику разрежения в нижней плоскости кессона и датчику давления отходящего газа в переходном газоходе, соединенному также с четвертым блоком умножения, датчик температуры отходящего газа в переходном газоходе подсоединен также к второму сумматору, к входу которого подсоединен и датчик температуры факела пламени в подъемном газоходе, а выход второго сумматора соединен непосредственно и через пятый блок умножения и третий сумматор с шестым блоком умножения, к которому также подсоединен седьмой блок умножения, соединенный с первым блоком деления, выход шестого блока умножения соединен через восьмой блок умножения с вторым блоком деления, выход которого подсоединен к четвертому блоку умножения, датчики температурного перепада и массового расхода воды, охлаждающей кессон, подсоединены через девятый блок умножения к входу третьего сумматора, к которому также подсоединен датчик температурного линейного расширения экранных труб подъемного газохода по ходу продувки через десятый блок умножения, а выход третьего сумматора подсоединен к входу второго блока деления, выход которого соединен с одиннадцатым блоком умножения, второй вход одиннадцатого блока умножения соединен с выходом седьмого блока умножения, который, кроме того, соединен через двенадцатый блок умножения с четвертым сумматором, подсоединенный также к одиннадцатому блоку умножения, датчику расхода кислородного дутья через тринадцатый блок умножения, датчик текущего времени продувки подсоединен через третий,



четвертый и пятый блоки деления соответственно к первому, второму и третьему блокам возведения в степень, выходы которых соответственно соединены с четырнадцатым, пятнадцатым и шестнадцатым блоками умножения и четвертым сумматором, выход седьмого блока умножения соединен с семнадцатым блоком умножения, выход одиннадцатого блока умножения соединен с восемнадцатым блоком умножения, а выход четвертого сумматора подсоединен к входу девятнадцатого блока умножения, датчик текущего времени продувки подсоединен также к шестому блоку деления, пятому, шестому, седьмому и восьмому сумматорам, которые, кроме того, подсоединены к блоку ввода начальных условий, соединенному также с вторым и седьмым блоками умножения, шестой блок деления через четвертый блок возведения в степень, двадцатый блок умножения подсоединен к девятому сумма-

тору, пятый, шестой, седьмой и восьмой сумматоры соответственно через седьмой, восьмой, девятый и десятый блоки деления, пятый, шестой, седьмой блоки возведения в степень и первый функциональный блок подсоединены к двадцать первому, двадцать второму, двадцать третьему и двадцать четвертому блокам умножения, а выход последнего подсоединен через двадцать пятый блок умножения к девятому сумматору, к которому, кроме того, подсоединены с четырнадцатого по двадцать третий блоки умножения, выход девятого сумматора подсоединен к одиннадцатому блоку деления, причем двадцатый и двадцать четвертый блоки умножения, а также с третьего по одиннадцатый блоки деления подсоединены к блоку ввода начальных условий, второй функциональный блок подсоединен к двадцать пятому блоку умножения.



Составитель А.Абросимов

Редактор Н.Яцولا

Техред Л.Олийник

Корректор И.Эрдейи

Заказ 3962

Тираж 500

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР  
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Производственно-издательский комбинат "Патент", г.Ужгород, ул. Гагарина, 101

