

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ

УДК 669.162.22

© Кравченко В.П.*

МЕРЕЖА ДОМЕННОГО ГАЗУ МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМБІНАТУ ЯК ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ

Розглядається мережа доменного газу металургійного комбінату як об'єкт керування, входними величинами якого є параметри потоків газу (тиск і витрати) на вході і виході загального колектору, а виходом – тиск газу у колекторі. Об'єкт керування представлений у вигляді диференційних рівнянь, одне з яких описує швидкість зміни тиску газу у колекторі від об'ємної кількості входних і вихідних потоків газу, а друге – від тиску газу у цих потоках. Одержані рівняння дають змогу аналізувати зміну тиску у колекторі під дією різного типу збурень у мережі і використовувати результати цього аналізу для розробки ефективних систем автоматичної стабілізації роботи мережі.

Ключові слова: металургійний комбінат, мережа доменного газу, колектор доменного газу, тиск газу у колекторі, об'єкт керування, диференційні рівняння зміни тиску газу у колекторі.

Кравченко В.П. Сеть доменного газа металлургического комбината как объект управления. Рассматривается сеть доменного газа металлургического комбината как объект управления, входными величинами которого есть параметры потоков газа (давление и расход) на входе и выходе общего коллектора, а выходом – давление газа в коллекторе. Объект управления представлен в виде дифференциальных уравнений, одно из которых описывает скорость изменения давления газа в коллекторе от объемного количества входных и выходных потоков газов, а второе – от давления газа в этих потоках. Полученные уравнения позволяют анализировать изменение давления в коллекторе под воздействием различного типа возмущений в сети и использовать результаты этого анализа для разработки эффективных систем автоматической стабилизации работы сети.

Ключевые слова: металлургический комбинат, сеть доменного газа, колектор доменного газа, давление газа в коллекторе, объект управления, дифференциальные уравнения изменения давления газа в коллекторе.

V.P. Kravchenko. Blast furnace gas network of iron and steel works as an object of control. Blast furnace gas network of iron and steel work was analyzed in the article. The network comprises a collector and pipe lines, supplying gas from five and taking off gas from the collector towards blast stoves units of the corresponding blast furnaces, two gas consumers and also the unit of vent and popping of surplus gas. The parameters of incoming and outgoing gas are constantly changing in such network, it causing pressure fluctuations inside the collector. The objective of control over such network is to stabilize blast furnace gas pressure in the collector under conditions of constant fluctuations of flows on its input and exit. To solve this problem it is necessary to represent the network of blast furnace gas as an object of control, its input values being the parameters of gas flows (pressure and consumption) on the input and output of the common collector, gas pressure inside the collector being the output value. The rate of alternation of gas mass in the collector was determined on the basis of balance of mass gas flows on the input and output of the collector. A differential equation, connecting the rate of pressure alterna-

* канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, kravchenko_vp@ukr.net

tions in the collector with its mass incoming and outgoing flows was developed by means of transition from the rate of gas mass in the collector to alternations of its pressure. A similar equation was obtained for volume gas fluxes. With application of the value of hydraulic resistance of appliances, regulating gas flows in the corresponding pipe lines a differential equation, connecting the rate of gas pressure alternations in the collector with gas pressure in the supply and lateral pipe lines. Thus, the object of control was represented in the form of differential equations, one of them describing the rate of gas pressure alternations in the collector from the bulk amount of incoming and outgoing gas flows, the other – from gas pressure in those flows. The obtained equations make it possible to analyze alternations of pressure in the collector, under the influence of various types of network disturbances and the results of such analysis can be used for development of efficient systems of automatic stabilization of network functioning.

Keywords: iron and steel works, blast furnace gas network, blast furnace gas collector, gas pressure in the collector, object of control, differential equations of gas pressure alternation in the collector.

Постановка проблеми. Доменний газ, який виробляють всі доменні печі цеха, подається в цеховий колектор – газопровід великого діаметру (Ду 3000 і більше). Із нього газ розподіляється між споживачами. Це, в першу чергу, блоки повітрянагрівачів кожної доменної печі, ТЕЦ, паро-електро-повітродувна станція (ПЕПС), нагрівачі печі прокатних цехів, тощо. Призначення колектору – бути накопичувачем і буфером між агрегатами-виробниками і агрегатами-споживачами доменного газу. Колектор разом з газопроводами виробників і споживачів доменного газу утворюють складну мережу забезпечення металургійного комбінату доменним газом. Оскільки як виробництво, так і споживання доменного газу постійно коливаються, то в цій системі і, відповідно, в колекторі постійно змінюється газодинамічний режим – коливається як кількість, так і тиск доменного газу.

З метою стабілізації газодинамічного режиму мережі доменного газу і запобігання аварійних ситуацій необхідно контролювати і автоматично регулювати тиск доменного газу у колекторі. Тиск регулюють шляхом запобігання перевищення поточного значення тиску над заданим (максимально припустимим) шляхом скиду із колектору «зайвого» доменного газу. Для цього використовують спеціальні газоскидні пристрої (ГСП) або «свічі», за допомогою яких «зайвий» доменний газ із колектору викидається і спалюється в атмосфері [1]. ГСП уявляє собою опорну конструкцію з трубою в середині, підняту на висоту 50-60 м. На кінці труби розташовані горілки з запальниками, за допомогою яких і спалюється цей газ.

Для ефективної стабілізації газодинамічного режиму мережі доменного газу шляхом регулювання тиску у колекторі треба мати математичний опис залежності тиску газу у колекторі від газодинамічних параметрів мережі, тобто представити цю мережу як об'єкт керування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Конструкція агрегатів і особливості експлуатації газового господарства металургійного заводу взагалі і колектору доменного газу зокрема розглянуто в [2]. В ній наведені існуючі традиційні методи контролю та регулювання тиску доменного газу у колекторі.

З метою зниження втрат доменного газу і ефективного забезпечення споживачів доменним газом високого і низького тиску запропоновано пристрій [3] для розподілення газу шляхом використання двох колекторів: один високого і один низького тиску.

Для стабілізації тиску у колекторі очищеного доменного газу запропонований спосіб [4] зменшення коливань тиску газу у колекторі шляхом регулювання подачі газу із краплевловлювача і використання його як буферної ємності, що є проблематичним. В наведених роботах розглядалися тільки окремі питання роботи колектору газу і не розглядалися газодинамічні процеси в мережі доменного газу в цілому і вплив на них різного роду збурень. В даній роботі зроблена спроба в деякій мірі вирішити ці питання.

Мета статті – представити мережу доменного газу комбінату як об'єкт керування, входними величинами якого є параметри потоків газу (тиск і витрати) на вході і виході загального колектору, а виходом – тиск газу у колекторі. Для цього необхідно знайти диференціальне рівняння, яке описує газодинамічний режим роботи колектору у мережі доменного газу металургійного комбінату.

Виклад основного матеріалу. Мережа доменного газу (рисунок) складається із колектору ємкістю C_K , у який газ подається від виробників (доменних печей) і, із якого газ передається споживачам, а частина може скидатися через ГСП. В цій мережі виробниками доменного газу є п'ять доменних печей (ДП). Від кожної із них доменний газ іде через дросельну групу у цеховий колектор з тиском до дроселя P_i і у кількості Q_i . Із колектору газ подається, перш за все, на блок повітрянагрівачів (ПН) кожної печі для нагріву дуття. При цьому три ПН блоку постійно знаходяться на нагріву, а один – на дутті. Тобто практично на кожний блок іде постійна кількість газу $Q_{БПНi}$ з постійним тиском $P_{БПНi}$. Із колектору також виходять два газопроводи, які подають газ до двох груп споживачів з параметрами $Q_{СП1}, P_{СП1}$ та $Q_{СП2}, P_{СП2}$. При позитивному небалансі виробленого і спожитого газу для стабілізації тиску у колекторі треба частину газу з тиском P_K у кількості $Q_{ГСП}$ скидати і спалювати у ГСП.

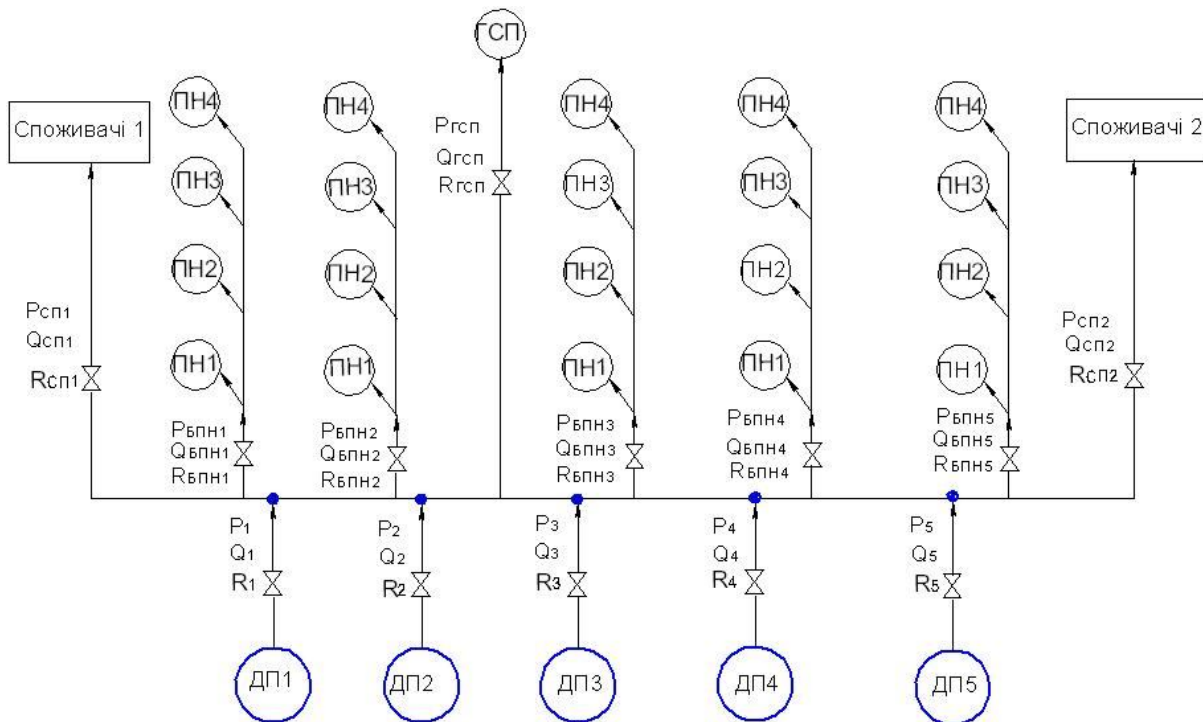


Рисунок – Схема мережі доменного газу металургійного комбінату

Швидкість зміни тиску у колекторі $\frac{dP_K}{d\tau}$ залежить від ємкості колектору C_K , кількості і тиску потоків доменного газу, які входять в нього та виходять із нього, а також від гідравлічного опору R_i цим потокам у кожному з трубопроводів. Позначимо тиски та кількості (витрати) потоків виробленого газу, які поступають від ДП через P_i та Q_i , а опір цим потокам – R_i .

Представимо колектор як ємкість C_K , в яку входять і із якої виходять потоки доменного газу. Потік на вході колектору це в даному випадку маса газу $G_{ВХ}$, виробленого 5-ма ДП, тобто:

$$G_{ВХ} = \sum_{i=1}^5 G_i, \text{ [кг/с]}. \quad (1)$$

Потоки на виході – це маса газу на опалювання блоків повітрянагрівачів $G_{БПНi}$ доменних печей, $G_{СПi}$ – маса газу до інших споживачів (у даному випадку їх два), а також маса газу на скид і спалювання через ГСП $G_{ГСП}$:

$$G_{ВИХ} = \sum_{i=1}^5 G_{БПНi} + \sum_{i=1}^2 G_{СПi} + G_{ГСП}, \text{ [кг/с]}. \quad (2)$$

Для спрощення величина часу τ , як аргумент, у позначенні всіх потоків газу у (2) опущена. Різниця цих потоків в часі буде визначати швидкість зміни маси, тобто густини газу ρ у колекторі:

$$G_{BX} - G_{ВИХ} = C_K \frac{d\rho}{d\tau}. \quad (3)$$

Помножимо і поділимо праву частину цього рівняння на dP_K , тоді маємо:

$$G_{BX} - G_{ВИХ} = C_K \frac{d\rho}{d\tau} \frac{dP_K}{dP_K} = C_K \frac{d\rho}{dP_K} \frac{dP_K}{d\tau}. \quad (4)$$

Із рівняння Менделєєва-Клапейрона маємо:

$$C_K \cdot P_K = \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot T^\circ = \frac{C_K \cdot \rho}{\mu} \cdot R \cdot T^\circ,$$

звідси:

$$P_K = \frac{\rho}{\mu} \cdot R \cdot T^\circ \text{ або } P_K = \rho \cdot \mu \cdot T^\circ,$$

звідси густина газу:

$$\rho = \frac{P_K}{R_M T^\circ},$$

а її похідна:

$$\frac{d\rho}{dP_K} = \frac{1}{R_M T^\circ},$$

де $R_M = \frac{R}{\mu}$ – молярна газова стала [Дж/кг·К]; T° – абсолютна температура газу [К].

Підставляючи значення $\frac{d\rho}{dP_K}$ у (4), маємо диференційне рівняння зміни тиску у колекторі в залежності від різниці масових потоків газу:

$$C_K \frac{1}{R_M T^\circ} \frac{dP_K}{d\tau} = G_{BX} - G_{ВИХ}.$$

Позначимо $C_K \cdot \frac{1}{R_M \cdot T^\circ} = T1 \left[\frac{M^2 \cdot \kappa z \cdot K}{Дж \cdot K} \right]$, тоді маємо диференційне рівняння:

$$T1 \frac{dP_K}{d\tau} = G_{BX} - G_{ВИХ}. \quad (5)$$

Підставляючи у це рівняння значення потоків газу із (1) та (2), одержимо:

$$T1 \frac{dP_K}{d\tau} = \sum_{i=1}^5 G_i(\tau) - \sum_{i=1}^5 G_{ВИХi}(\tau) - \sum_{i=1}^2 G_{СПi}(\tau) - G_{ГСП}(\tau), \text{ [кг/с]} \quad (6)$$

Рівняння (6) описує динаміку зміни тиску в колекторі мережі доменного газу і, як модель об'єкту керування, уявляє собою інтегруючу ланку. Однак при синтезі системи автоматичної стабілізації тиску доменного газу у колекторі мережі це рівняння є незручним, оскільки контроль масових витрати газу на металургійних комбінатах не використовують, а витрати вимірюють в об'ємних одиницях і при нормальних умовах. Для виконання цих умов замінимо у рівнянні (5) масові витрати на об'ємні при нормальних умовах.

$$G_{BX} = Q_{BX} \rho_{BX} = Q_{ВХн} \frac{T_{BX} P_{ВХн}}{T_{ВХн} P_{BX}} \rho_{ВХн} \frac{T_{ВХн} P_{BX}}{T_{BX} P_{ВХн}} = Q_{ВХн} \rho_{ВХн}.$$

Аналогічно:

$$G_{ВИХ} = Q_{ВИХн} \cdot \rho_{ВИХн}.$$

Оскільки $\rho_{ВХн} = \rho_{ВИХн} = \rho$, то

$$C_K \frac{1}{\rho R_M T^\circ} \frac{dP_K}{d\tau} = Q_{ВХн} - Q_{ВИХн}. \quad (7)$$

Позначимо:

$$T_2 = C_K \cdot \frac{l}{\rho \cdot R_M \cdot T^{\circ}}.$$

Тепер рівняння (7) запишеться так:

$$T_2 \frac{dP_K(\tau)}{d\tau} = Q_{ВХн}(\tau) - Q_{ВИХн}(\tau). \quad (8)$$

Це теж диференціальне рівняння інтегруючої ланки. Інтегруючи його, маємо:

$$P_K = P_{K_0} + \left(\frac{1}{T_2} \int_{\tau_0}^{\tau} Q_{ВХн}(\tau) d\tau - \frac{1}{T_2} \int_{\tau_0}^{\tau} Q_{ВИХн}(\tau) d\tau \right). \quad (9)$$

Підставляючи у рівняння (8) із (1) і (2) значення вхідних і вихідних потоків, маємо:

$$T_2 \frac{dP_K(\tau)}{d\tau} = \sum_{i=1}^5 Q_i(\tau) - \sum_{i=1}^5 Q_{БПНi}(\tau) - \sum_{i=1}^2 Q_{СПi}(\tau) - Q_{ГСП}(\tau), \quad [M^3/c]. \quad (10)$$

Інтегруючи це рівняння маємо:

$$P_K = P_{K_0} + \frac{1}{T_2} \left(\int_{\tau_0}^{\tau} \left(\sum_{i=1}^5 Q_i(\tau) - \sum_{i=1}^5 Q_{БПНi}(\tau) - \sum_{i=1}^2 Q_{СПi}(\tau) - Q_{ГСП}(\tau) \right) d\tau \right). \quad (11)$$

Згідно рівнянь (6) і (10) сталий режим тиску у колекторі доменного газу, тобто $\frac{dP_K}{d\tau} = 0$, настає тоді, коли маємо баланс масових або об'ємних витрат вхідних і вихідних потоків. При порушенні цього балансу починає змінюватись тиск доменного газу у колекторі. Якщо при небалансі у виразах (6) або (10) права частина більше нуля, то стабілізація тиску у колекторі, тобто відновлення балансу, можлива шляхом скиду і спалювання надлишку у ГСП. Однак при від'ємному балансі стабілізація тиску уже неможлива, оскільки дебаланс потоків нічим компенсувати. В такому разі необхідне втручання диспетчера газового цеху і примусове відключення або обмеження подачі газу споживачам.

На жаль, як рівняння (6), так і рівняння (10) не дають змоги знайти поточне значення тиску доменного газу у колекторі P_K в даний момент, а визначають лише його зміну відносно значення тиску P_{K_0} в якийсь заданий момент часу.

Залежність зміни тиску доменного газу у колекторі P_K від поточних значень тиску газу вхідних і вихідних потоків можливо знайти, використовуючи поняття гідравлічного опору i -ої трубопроводної ланки $R_{ОПi}$ [5, 6]. Гідравлічний опір i -ої трубопроводної ланки $R_{ОПi}$ – це величина зворотна похідній $\frac{dQ}{d(\Delta P)}$ від витратної характеристики $Q = f(\Delta P)$:

$$R_{ОПi} = \frac{1}{\frac{dQ}{d(\Delta P)}} = \frac{d(\Delta P)}{dQ}. \quad (12)$$

Основним гідравлічним опором для i -ої трубопроводної ланки є регулюючий орган (РО), який встановлений на ній. При турбулентному русі потоку газу витратну характеристику $Q = f(\Delta P)$ РО можна описати рівнянням:

$$Q = k_1 \cdot S \cdot \sqrt{\Delta P}, \quad (13)$$

де k_1 – коефіцієнт витрат; S – поточне значення площі прохідного сечення РО; ΔP – перепад тиску у трубопроводній ланці.

Використовуючи відносне значення площі прохідного сечення $a = \frac{S}{S_{\max}}$, вираз (13) запишемо так:

$$Q = k \cdot a \cdot \sqrt{\Delta P}. \quad (14)$$

Таким чином, кількість газу, яка проходить через гідравлічний опір (РО), залежить від площі прохідного сечення РО і перепаду тиску на ньому.

Із (14) знайдемо похідну витратної характеристики РО по перепаду на ньому:

$$\frac{I}{R_{опi}} = \frac{dQ_i}{d(\Delta P_i)} = \frac{d(k_i \cdot a_i \cdot \sqrt{\Delta P_i})}{d(\Delta P_i)} = \frac{k_i \cdot a_i}{2 \cdot \sqrt{\Delta P_i}} \quad (15)$$

Помножуючи у правій частині рівняння (15) чисельник і знаменник на $\sqrt{\Delta P_i}$ і підставляючи це значення у рівняння (12), маємо:

$$R_{опi} = \frac{2 \cdot \Delta P_i}{Q_i},$$

звідси:

$$Q_i = \frac{2 \cdot \Delta P_i}{R_{опi}} \quad (16)$$

Підставляючи згідно виразу (16) відповідні значення об'ємних витрат потоків газу у колекторі у рівняння (10), маємо:

$$\begin{aligned} T2 \frac{dP_K}{d\tau} = & \left(\frac{P_1 - P_K}{R_{оп1}} + \frac{P_2 - P_K}{R_{оп2}} + \frac{P_3 - P_K}{R_{оп3}} + \frac{P_4 - P_K}{R_{оп4}} - \frac{P_5 - P_K}{R_{оп5}} \right) - \\ & - \left(\frac{P_K - P_{БПН1}}{R_{опБПН1}} + \frac{P_K - P_{БПН2}}{R_{опБПН2}} + \frac{P_K - P_{БПН3}}{R_{опБПН3}} + \frac{P_K - P_{БПН4}}{R_{опБПН4}} + \frac{P_K - P_{БПН5}}{R_{опБПН5}} \right) - \\ & - \left(\frac{P_K - P_{СП1}}{R_{опСП1}} + \frac{P_K - P_{СП2}}{R_{опСП2}} \right) - \frac{P_K - P_{ГСП}}{R_{опГСП}} \end{aligned} \quad (17)$$

або скорочено:

$$T2 \frac{dP_K}{d\tau} = \sum_{i=1}^5 \frac{(P_i - P_K)}{R_{опi}} - \sum_{i=1}^5 \frac{(P_K - P_{БПНi})}{R_{опБПНi}} - \sum_{i=1}^2 \frac{(P_K - P_{СПi})}{R_{опСПi}} - \frac{(P_K - P_{ГСП})}{R_{опГСП}} \quad (18)$$

Підставляючи в це рівняння вираз (15) і помноживши його праву і ліву частини на 2, маємо:

$$\begin{aligned} 2T2 \frac{dP_K}{d\tau} = & \sum_{i=1}^5 \frac{k_{ДПi} \cdot a_{ДПi} \cdot (P_i - P_K)}{\sqrt{(P_i - P_K)}} - \sum_{i=1}^5 \frac{k_{БПНi} \cdot a_{БПНi} \cdot (P_K - P_{БПНi})}{\sqrt{(P_K - P_{БПНi})}} - \sum_{i=1}^2 \frac{k_{СПi} \cdot a_{СПi} \cdot (P_K - P_{СПi})}{\sqrt{(P_K - P_{СПi})}} - \\ & - \frac{k_{ГСП} \cdot a_{ГСП} \cdot (P_K - P_{ГСП})}{\sqrt{(P_K - P_{ГСП})}} \end{aligned}$$

Після відповідного скорочення у цьому рівнянні і підстановки значення T2 одержимо:

$$\begin{aligned} C_K \frac{2}{\rho \cdot R_M \cdot T^\circ} \frac{dP_K}{d\tau} = & \sum_{i=1}^5 k_{ДПi} \cdot a_{ДПi} \cdot \sqrt{(P_i - P_K)} - \sum_{i=1}^5 k_{БПНi} \cdot a_{БПНi} \cdot \sqrt{(P_K - P_{БПНi})} - \\ & - \sum_{i=1}^2 k_{СПi} \cdot a_{СПi} \cdot \sqrt{(P_K - P_{СПi})} - k_{ГСП} \cdot a_{ГСП} \cdot \sqrt{(P_K - P_{ГСП})} \end{aligned} \quad (19)$$

Рівняння (19) є нелінійним диференціальним рівнянням, яке представляє мережу доменного газу металургійного комбінату як об'єкт керування. Воно дає змогу аналізувати роботу мережі при різного типу збуреннях і може використовуватись в системах автоматизації газових мереж зі спільним колектором.

Висновки

1. Мережа доменного газу металургійного комбінату представлена як сукупність джерел і споживачів газу, пов'язаних між собою колектором, кожен з яких характеризується трьома параметрами: тиском P_i , кількістю Q_i і гідравлічним опором $R_{опi}$.

2. Одержано диференційне рівняння залежності швидкості зміни тиску доменного газу у колекторі від об'ємних витрат потоків на вході і виході колектору.

3. Сталій режим тиску у колекторі доменного газу можливий лише при балансі масових або об'ємних витрат вхідних і вихідних потоків. При порушенні цього балансу стабілізація тиску у колекторі доменного газу можлива лише при перевищенні кількості газу від джерел над

кількістю спожитого газу.

4. Диференційне рівняння, яке пов'язує швидкість зміни тиску газу у колекторі з об'ємними витратами вхідних і вихідних потоків, не дає можливості встановити значення тиску у колекторі в сталому режимі.

5. Використання величини гідравлічного опору на трубопроводах вхідних і вихідних потоків $R_{оп}$ дає змогу одержати диференційне рівняння, яке пов'язує швидкість зміни тиску у колекторі з тисками газу у вхідних і вихідних трубопроводах.

6. Одержане рівняння дозволяє аналізувати зміну тиску газу у колекторі при різного роду збуреннях і знаходити сталі значення цього тиску, що може бути предметом подальших досліджень.

Список використаних джерел:

1. НПАОП 27.1-1.09-09. Правила охорони праці у газовому господарстві підприємств чорної металургії. – Затв. 2009-12-29. – К., 2009. – 98 с.
2. Старицкий В.И. Газовое хозяйство заводов черной металлургии / В.И. Старицкий. – М. : Metallurgizdat, 1973. – 250 с.
3. А. с. 364822 СССР, МКИ F 27 d 17/00, С 21 b 7/22. Устройство для распределения доменного газа потребителям / Х.Л. Фридман, С.В. Пупченко, А.Я. Каботянский, В.Я. Дубровский. – № 1393160/22-2; заявл. 12.01.70; опубл. 28.12.72, Бюл. № 5. – 3 с.
4. А. с. 1734079 СССР, МПК G 05 D 16/00, С 21 В 7/22. Способ стабилизации давления в коллекторе подачи очищенного доменного газа потребителям / А.В. Боголюбов, К.А. Квитковский, В.И. Хоничев. – № 904777369; заявл. 04.01.90; опубл. 15.05.92, Бюл. № 18.
5. Эрриот П. Регулирование производственных процессов / П. Эрриот; пер. с англ. А.Я. Серебрянский. – М. : Энергия, 1967. – 480 с.
6. Профос П. Регулирование паросиловых установок / П. Профос; пер. с нем. Е.Н. Сергиевская, Д.К. Федотов. – М. : Энергия, 1967. – 368 с.

References:

1. *НПАОП 27.1-1.09-09. Правила охорони праці у газовому господарстві підприємств чорної металургії* [Rules of labor protection in the gas industry enterprises of ferrous metallurgy]. Kiev, 2009. 98 p. (Rus.)
2. Starickij V.I. *Газовое хозяйство заводов черной металлургии* [Gas facilities of ferrous metallurgy plants]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 1973. 250 p. (Rus.)
3. Fridman H.L., Pupchenko S.V., Kabotjanskij A.Ja., Dubrovskij V.Ja. *Устройство для распределения доменного газа потребителям* [Device for distribution of blast furnace gas to consumers]. Patent USSR, no.36482, 1973. (Rus.)
4. Bogoljubov A.V., Kvitkovskij K.A., Honichev V.I. *Способ стабилизации давления в коллекторе подачи очищенного доменного газа потребителям* [Stabilization of pressure in the supply manifold of purified blast furnace gas to consumers]. Patent USSR, no.1734079, 1987. (Rus.)
5. Harriot P. *Process Control, McGraw-Hill Book Company*. New York, San Francisco, 1964. 510 p. (Rus. ed.: Erriot P. *Регулирование производственных процессов*. Moscow, Energija Publ., 1967. 480 p.). (Rus.)
6. Profos P. *Die Regelung von Dampfanlagen*. Springer-Verlag, 1962. 380 p. (Rus. ed.: Profos P. *Регулирование паросиловых установок*. Moscow, Energija Publ., 1967. 368 p.). (Rus.)

Рецензент: В.О. Маслов
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Статья поступила 15.09.2017