

УДК 62-531.3, 62-5

Крупник А. А., Романенко В. И., Садовой А. В., Тищенко Н. Т.

### ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДУТЬЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Выработка дутья в доменном производстве происходит в несколько этапов, начиная с фильтрации воздуха и заканчивая его сжатием, нагревом и подачей в доменную печь. Рассматривая все эти этапы, можно отметить, что на каждом из них происходят процессы, которые оказывают существенное влияние как на параметры дутья, так и на работу агрегатов, вырабатывающих и транспортирующих сжатый воздух. Не все процессы могут быть зафиксированы и измерены. Повышенная температура и большой диаметр трубопровода горячего дутья не дают возможность напрямую определить расход дутья на входе доменной печи [1–2].

Целью работы является определение закономерностей изменения параметров дутья в доменном производстве при смене структуры газотранспортной сети (ГТС), вызванных процессами заполнения и переключения кауперов, на основе математической модели системы транспортировки сжатого воздуха от воздухоудовки к доменной печи.

Весь тракт дутья можно представить упрощенной функциональной схемой (рис. 1). По технологии воздух, поступающий в компрессорную установку КУ с антипомпажным клапаном АПК, подвергается сжатию и по трубопроводу холодного дутья ТР движется к кауперам К через шиберы холодного дутья Х. Далее после нагрева он попадает в доменную печь Д через шиберы Г. Дроссели З служат для заполнения кауперов и выравнивания давления в них. Перед кауперами установлен «разгрузочный» клапан СНОРТ.

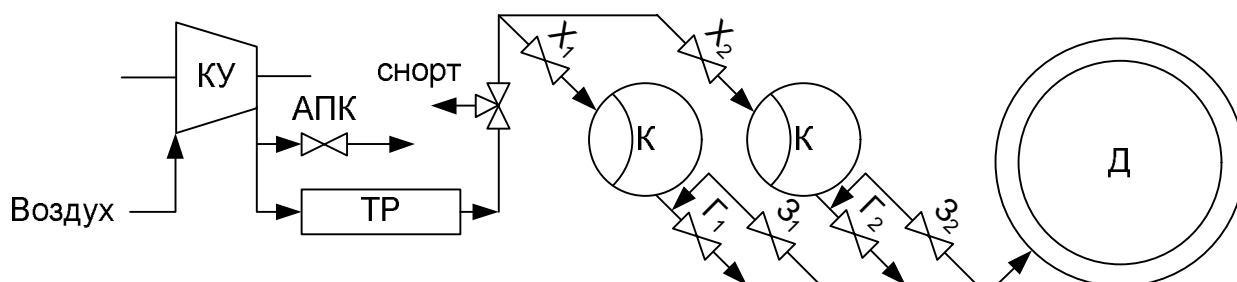


Рис. 1. Упрощенная функциональная схема технологического процесса выработки дутья

Принимая все процессы изотермическими и анализируя режимы работы трубопроводов холодного дутья, домны и кауперов, приходим к выводу о том, что изменение параметров дутья на каждом объекте носит нелинейный периодический характер, вызванный технологическими требованиями доменного процесса. Все объекты тракта дутья характеризуются несколькими общими параметрами. Одним из них является внутренний объем, который остается постоянным при сохранении структуры ГТС. Закономерность изменения давления  $P$  в емкости объемом  $V$  при известных значениях расхода на входе  $Q_0$  и на выходе  $Q_1$  может быть представлена следующим образом:

$$V \frac{dP}{dt} = Q_1 - Q_0. \quad (1)$$

Давление и расход на каждом объекте могут меняться динамически в зависимости от хода доменной печи или же при изменении структуры тракта дутья. Перепад давлений на каждом объекте может быть описан зависимостью [3]:

$$DP = \left( \frac{1}{k_1} \right)^2 \left( Q_1 + T_1 \frac{dQ_1}{dt} \right)^2, \tag{2}$$

где  $k_1, T_1$  – коэффициент, характеризующий емкость, и постоянная времени, описывающая инерционность потока, проходящего через емкость, соответственно.

Значительная протяженность трубопроводной сети холодного дутья оказывает существенное влияние на изменение расхода и давления в начале и конце сети и может быть представлена в операторной форме звеном чистого запаздывания с постоянной времени  $\tau$ :

$$W(p) = e^{-tp}. \tag{3}$$

Используя преобразования Лапласа для формул (1–2), составим структурную схему трубопровода холодного дутья (рис. 2).

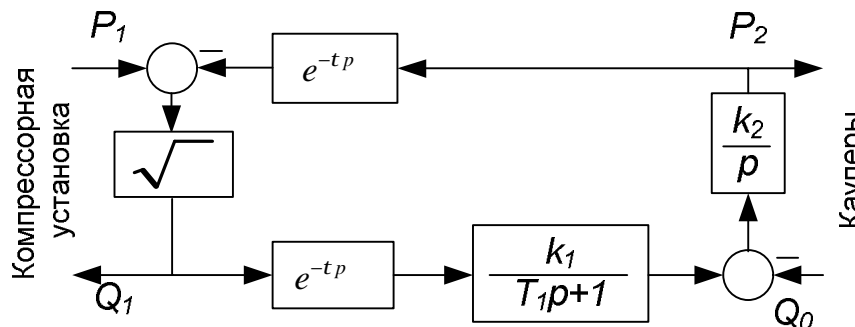


Рис. 2. Структурное представление трубопровода холодного дутья:  
 $P_1, P_2$  – давления;  $k_2$  – коэффициент, характеризующий объем трубопровода

Проведя сравнительный анализ технологических режимов работы и физических процессов в ТР и кауперах, можно прийти к выводу, что структурная схема рис. 2 без звеньев запаздывания может быть использована для описания законов изменения давления и расхода в сосредоточенной емкости, которой являются каупер и доменная печь.

Динамику изменения давления и расхода дутья в кольцевом воздухопроводе, тракте горячего дутья, соединяющего выходы нескольких кауперов, по аналогии с ТР можно представить в виде структурной схемы (рис. 3), в которой отсутствуют звенья, отражающие инерционность потока и его запаздывание.

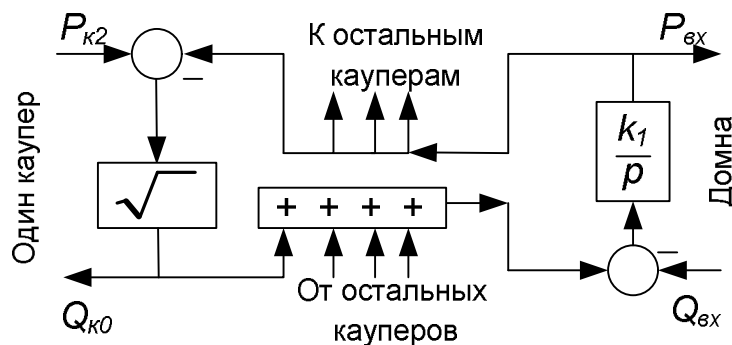


Рис. 3. Структурная схема кольцевого воздухопровода горячего дутья для одного каупера:  
 $P_{k2}, Q_{k0}$  – давление и расход на выходе из каупера;  $P_{ex}, Q_{ex}$  – давление и расход на выходе из кольцевого воздухопровода

Анализ работы и устройства доменной печи на определенном временном интервале показывает, что ее можно представить как сосредоточенную емкость постоянного объема, в которую непрерывно подается дутье. Регулятор, стабилизирующий давление колошниковых газов, может быть реализован как однополярная отрицательная обратная связь по перепаду давления на входе и выходе домны с коэффициентом  $k_3$  (рис. 4).

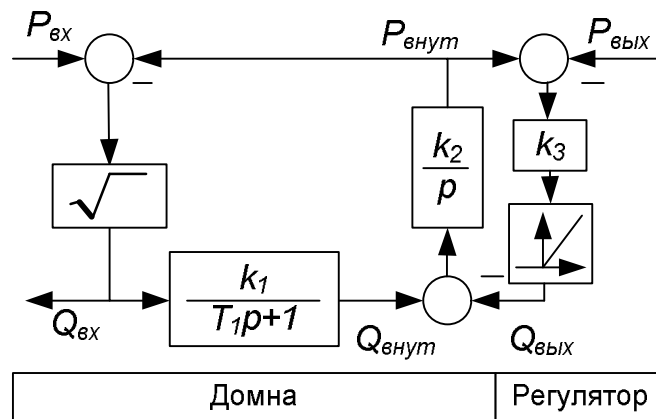


Рис. 4. Структурная схема доменной печи и регулятора

Изменение структуры тракта дутья происходит в моменты переключения кауперов. Совместный режим работы кауперов приводит к снижению сопротивления ГТС и к изменению значений давления и расхода, как на входе доменной печи, так и на компрессорной установке.

Последовательное соединение рассмотренных динамических элементов образует упрощенную структурную схему тракта дутья с двумя кауперами и домной (рис. 5).

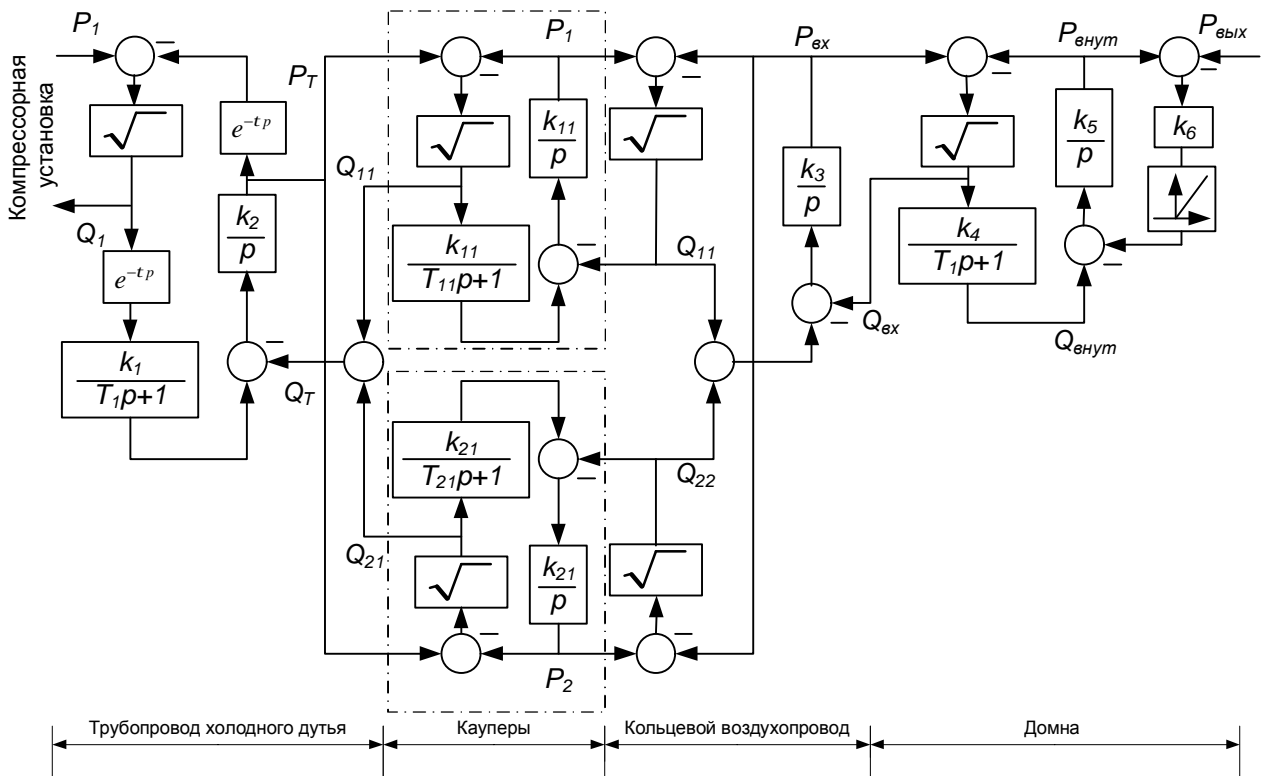


Рис. 5. Структурная схема тракта дутья с двумя кауперами и домной

На рис. 6–9 приведені результати моделювання процесу переключення кауперів в пакеті програм MATLAB Simulink з використанням математичної моделі, приведеної на рис. 5. Исходними послужили данні при стабільній роботі доменної печі об'ємом  $2700 \text{ м}^3$ : тиск  $2,1386 \times 10^5 \text{ Па}$  і витрата  $47,5 \text{ м}^3/\text{с}$  на виході компресорної установки; тиск  $2,04048 \times 10^5 \text{ Па}$  і витрата  $47,5 \text{ м}^3/\text{с}$  на вході в каупер; тиск колошникових газів  $1,05948 \times 10^5 \text{ Па}$ , перепад на домні від  $9,81 \times 10^5 \text{ Па}$  до  $1,4715 \times 10^5 \text{ Па}$  [2].

При моделюванні досліджувалися процеси заповнення нагрітого каупера ( $4000 \text{ с} \leq t \leq 6000 \text{ с}$ ) і переключення кауперів ( $6000 \text{ с} \leq t \leq 6700 \text{ с}$ ). Рис. 6 зображує якість картину зниження тиску на виході компресорної установки і трубопровода холодного дуття за рахунок збільшення загального витрату (рис. 7), викликаного заповненням каупера. Форма графіків на рис. 8 зображує характер зміни тиску дуття на вході доменної печі і тиск колошникових газів. Спільну роботу кауперів зображують графіки зміни витрату дуття через кожен з них відповідно (рис. 9).

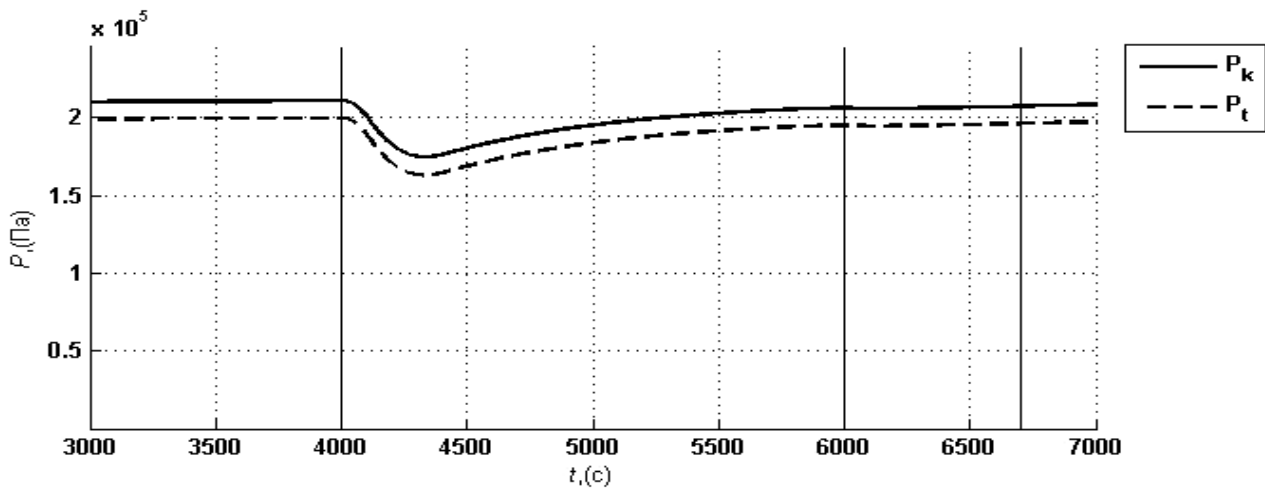


Рис. 6. Змінення тиску на виході компресорної установки і перед кауперами:

$P_k, P_t$  – тиски на виході компресорної установки і на виході ТР

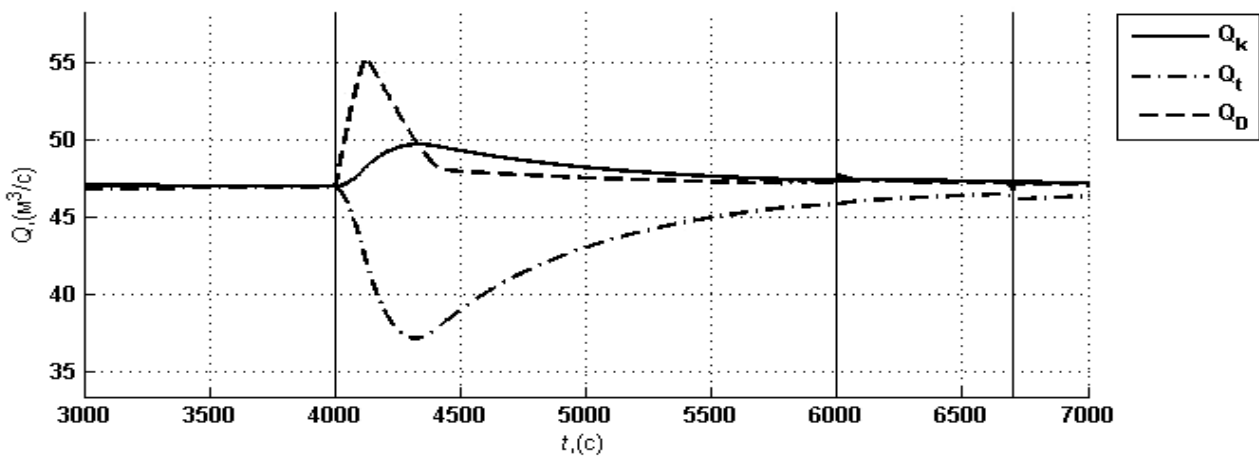


Рис. 7. Витрати на виходах компресорної установки, трубопровода і на вході доменної печі:

$Q_k$  – витрата на виході з компресора;  $Q_t$  – витрата дуття на виході;  $Q_D$  – витрата на вході в доменну печь

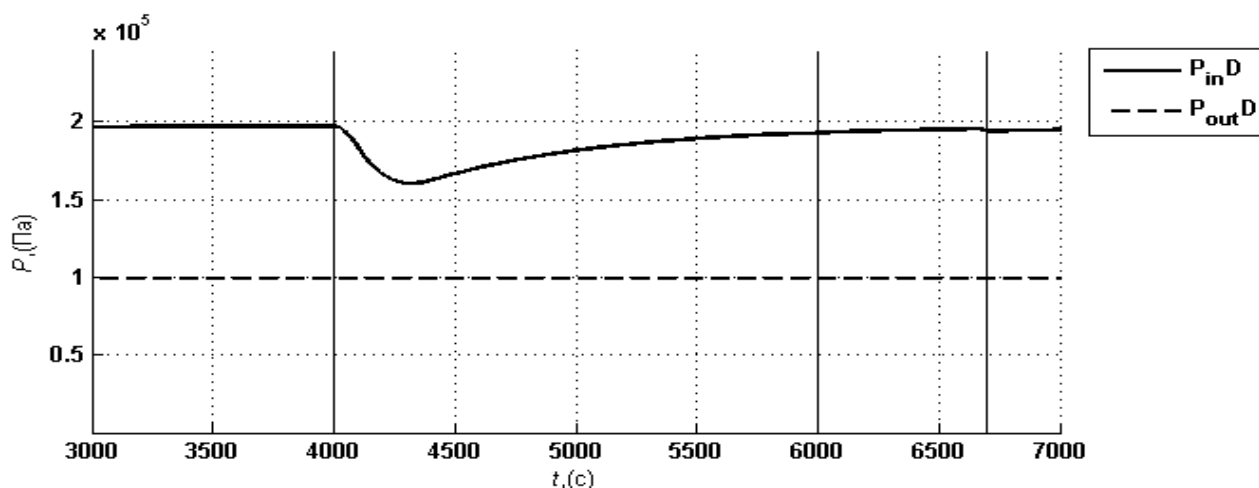


Рис. 8. Давление перед доменной печью и на колошнике:

$P_{inD}$ ,  $P_{outD}$  – давления дутья перед доменной печью и давление колошниковых газов

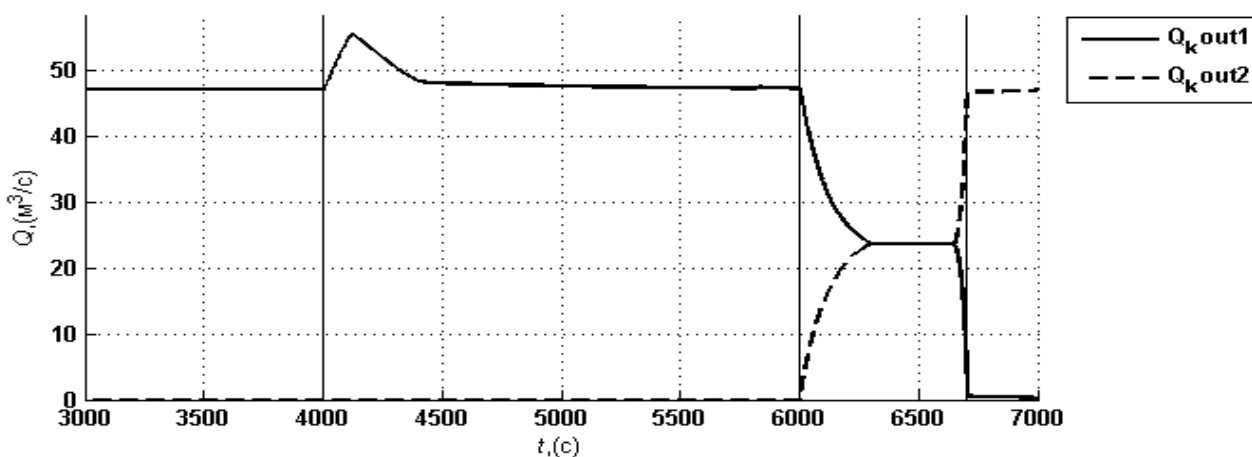


Рис. 9. Изменение расхода на кауперах:

$Q_{kout1}$ ,  $Q_{kout2}$  – расходы через остывший и нагретый кауперы

## ВЫВОДЫ

Разработана математическая модель системы транспортирования сжатого воздуха от воздуходувки к доменной печи, которая позволяет установить общие закономерности изменений давления и расхода дутья на всех этапах его производства, вызванных процессами заполнения и переключения кауперов, и оценить при этом мгновенные значения, недоступные непосредственному измерению расхода горячего дутья.

Предложенная математическая модель может быть использована при построении автоматизированной системы управления процессом выработки дутья в доменном производстве

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилов Е. Е. Газовщик доменной печи. Технологические основы доменного производства / Е. Е. Гаврилов, М. Т. Бузоверя, Н. М. Можаренко. – М. : Металлургия, 1986. – 175 с.
2. Полтавец В. В. Доменное производство : учебник для техникумов / В. В. Полтавец. – [2-е изд.]. – М. : Металлургия, 1981. – 416 с.
3. Модель газотранспортной системы как объекта управления / А. А. Крупник, А. В. Садовой, Н. Т. Тищенко, Р. С. Волянский // Збірник наукових праць ДДТУ. Технічні науки. – Дніпродзержинськ, 2009. – Випуск 1(11). – С. 152–157.