

РОЗДІЛ «АВТОМАТИКА. ЕЛЕКТРОНІКА. РАДІОТЕХНІКА»

УДК 62-83

КРУПНИК А.А., аспірант
САДОВОЙ А.В., д.т.н., професор
ТИЩЕНКО Н.Т.*, директор
ВОЛЯНСКИЙ Р.С., к.т.н., доцент

Днепродзержинский государственный технический университет
*ООО НИП «ДІЯ», г. Днепродзержинск

МОДЕЛЬ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

В статті розглядаються питання побудови моделі газотранспортної системи подачі холодного дуття в доменному виробництві та оцінка впливу перемикання кауперів на характеристики магістралі.

В статье рассматриваются вопросы построения модели газотранспортной системы подачи холодного дутья в доменном производстве и оценки влияния переключения кауперов на характеристики магистрали.

In the article the question of design of work of the gas-transport system on the example of pipeline and flowings in him processes is examined their influence on static and dynamic properties of object.

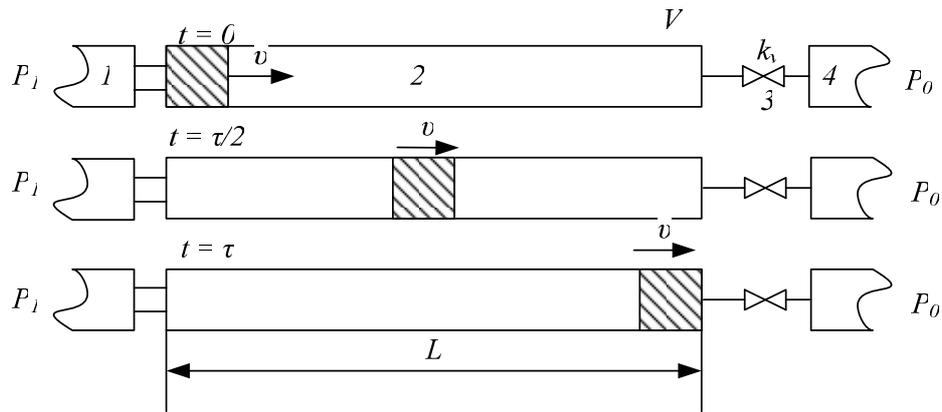
Введение. Процесс выработки холодного дутья в доменном производстве состоит из нескольких последовательных операций над смесью газов, формирующих это дутье. К этим операциям можно отнести очистку, сжатие и транспортировку к воздухонагревателям. Особое влияние на протекание двух последних операций в газотранспортной системе оказывает переключение и подключение воздухонагревателей, что негативно сказывается на работе компрессора и его системы управления.

Постановка задачи. Для повышения качества управления технологическими объектами, которые содержат газотранспортные системы, необходимо изучить процессы, протекающие в этих системах, и определить их влияние на статические и динамические свойства объекта «компрессор-магистраль-потребитель».

Результаты работы. Подробно рассматривая процессы, происходящие в газотранспортной системе, можно заметить, что она обладает некоторыми свойствами, которые напрямую зависят от характеристик составляющих ее элементов: трубопроводов, резервуаров, запорной арматуры и т.д. Описание процессов, протекающих в этих элементах, осуществляется уравнениями газодинамики в частных производных. С известной степенью точности все процессы, происходящие в газовоздушной смеси, описываются уравнением неразрывности, подчинены законам сохранения импульса, сохранения энергии, фазового состояния вещества [1-3]. Наличие частных производных по нескольким переменным усложняет и затрудняет расчет переходных процессов в газотранспортной сети.

Определим характеристики газотранспортной системы, которые оказывают существенное влияние на характер динамических процессов при транспортировке газов.

Одним из основных влияющих факторов, определяющих статические и динамические свойства объекта, является его протяженность.



1-нерегулируемый источник давления ограниченной мощности; 2-магистраль;
3-переменное сопротивление; 4-приемник

Рисунок 1 – Функциональная схема движения фронта газовых смесей в трубопроводе

Рассмотрим движение элементарного объема газа в магистрали (рис.1) объемом V и длиной L со скоростью v от нерегулируемого источника с давлением P_1 , газодинамическая характеристика которого показана на рис.2, к приемнику с давлением P_0 через сопротивление с коэффициентом k_v .

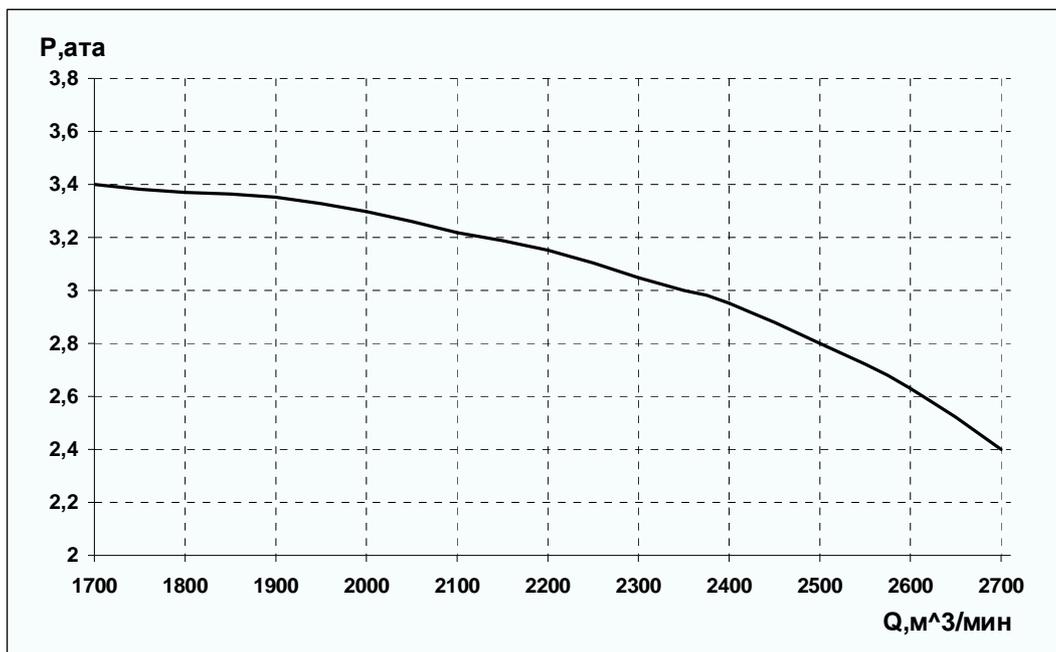


Рисунок 2 – Газодинамическая характеристика компрессора «К 3250-41-1» при 2900 об/мин.

На практике нерегулируемым источником давления является турбокомпрессор, магистралью - трубопровод холодного дутья, а приемником - воздухонагреватели. Сопротивление вносится любой запорной арматурой.

Транспортирование объема газа по трубопроводам связано с движением переднего фронта, поэтому изменение расхода и давления на концах магистрали не происходит мгновенно, а характеризуется временем запаздывания

$$\tau = \frac{L}{v}, \quad (1)$$

где L – длина трубопровода; v – скорость звука в газе.

Трубопровод 2 (рис.1) как элемент динамической системы может быть представлен звеном чистого запаздывания (2), поскольку движение переднего фронта связано с преодолением пути L со скоростью v . Тогда для расхода и давления на выходе трубопровода без регулируемого сопротивления на входе будут справедливы следующие зависимости, представленные в виде передаточных функций и функций времени [4]

$$W(p) = e^{-\tau p} = \frac{P_2(p)}{P_1(p)} = \frac{Q_2(p)}{Q_1(p)}, \quad (2)$$

$$P_2(t) = P_1(t - \tau), \quad (3)$$

$$Q_2(t) = Q_1(t - \tau), \quad (4)$$

где $Q_1(t), Q_2(t)$ – временные функции изменения расходов на концах трубопровода; $P_1(t), P_2(t)$ – временные функции изменения давления на концах трубопровода.

Любой объект газотранспортной системы характеризуется емкостью, которая определяет интенсивность роста давления в ней и вносит свое влияние на динамику системы. Если рассматривать трубопровод как емкость с регулируемым сопротивлением на выходе, то справедлива следующая зависимость [5]

$$V \frac{dP}{dt} = Q_1 - Q_0, \quad (5)$$

где V – объем емкости; Q_0 – расход после регулируемого сопротивления 3 (рис.1).

Расход на входе в магистраль определяется давлениями на входе и выходе трубопровода [6]

$$Q_1 = k_1 \sqrt{\Delta P}, \quad (6)$$

где k_1 – определяется характеристиками трубопровода; $\Delta P = P_1 - P_2$.

Недостатком формулы (6) является то, что она не учитывает инерционность потока газа в трубе. Устранить этот недостаток можно путем введения аperiodического звена первого порядка, которое учитывает эту инерционность. Тогда уравнение (6) можно представить следующим образом

$$\Delta P = \left(\frac{1}{k_1} \right)^2 \left(Q_1 + T_1 \frac{dQ_1}{dt} \right)^2, \quad (7)$$

где T_1 – постоянная времени потока.

Используя уравнения (2, 3, 4, 7), можно построить структурную схему (рис.3), описывающую динамику трубопровода, представленного функциональной схемой на рис.1.

При помощи пакета прикладных программ MATLAB выполним расчет переходных процессов в разработанной динамической модели при изменении k_1 , т.е. при переключении клапанов. В качестве объекта исследования примем трубопровод холодного дутья длиной $L=900$ м, средним внутренним диаметром $D=1,5$ м, температурой транспортируемого газа 80°C . Будем считать, что источник давления имеет газодинамическую характеристику, показанную на рис.2.

Тогда объем трубопровода равен $V=(1,5^2/4)*3,14*900=1590,5 \text{ м}^3$, скорость звука при температуре 80°C $v = \sqrt{1,4 * 287 * (80 + 273)} \approx 370 \text{ м/с}$ и запаздывание $\tau = 2,43 \text{ с}$. Постоянная времени $T_1=L/v_{\text{газа}}$, $v_{\text{газа}}=4Q_1/(\pi D^2)$, $T_1=166 \text{ с}$.

В соответствии с рекомендациями, приведенными в [6], значение k_1 , зависящее от геометрических размеров трубопровода, принимаем равным 1,2.

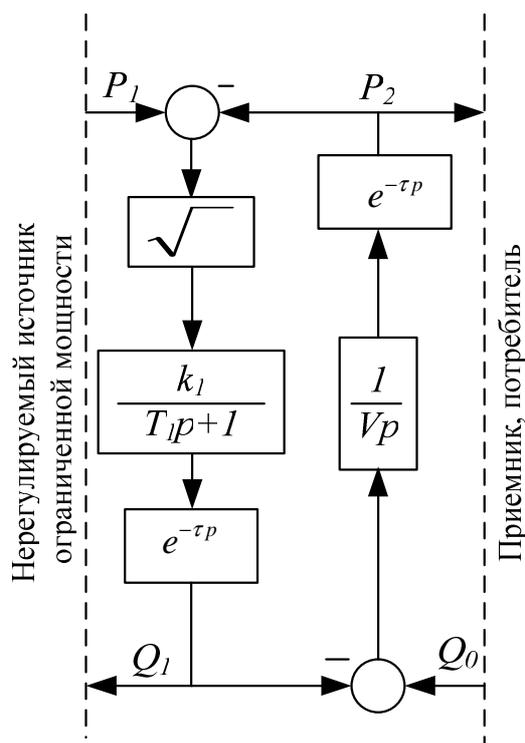


Рисунок 3 – Динамическая модель трубопровода

Результаты математического моделирования процесса изменения расхода и давления на концах трубопровода, приведены на рис.4.

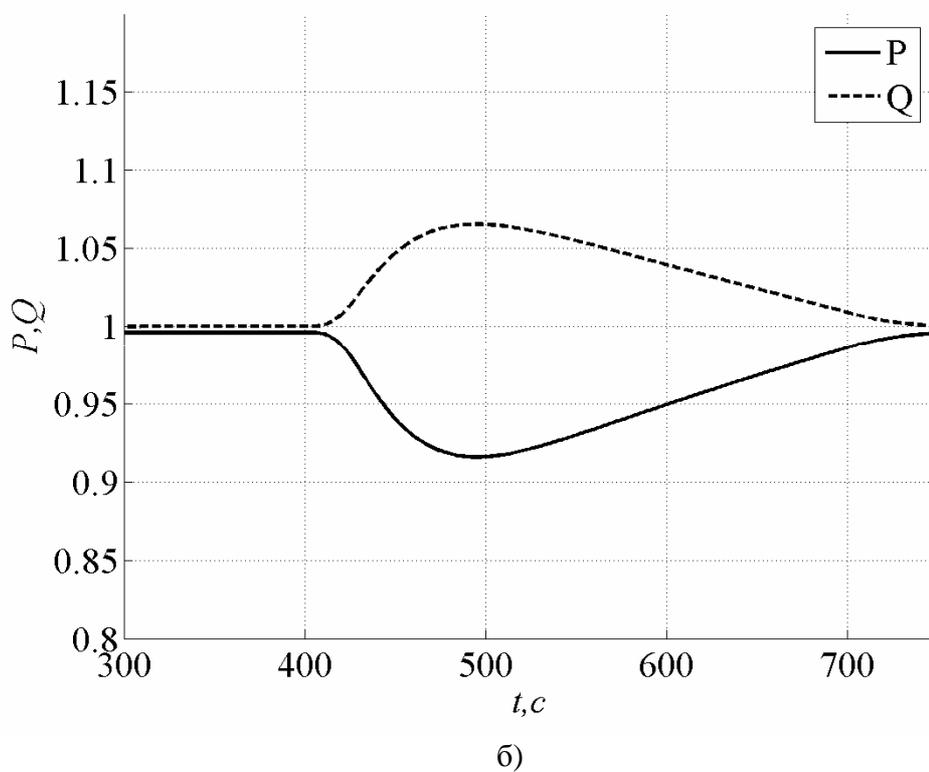
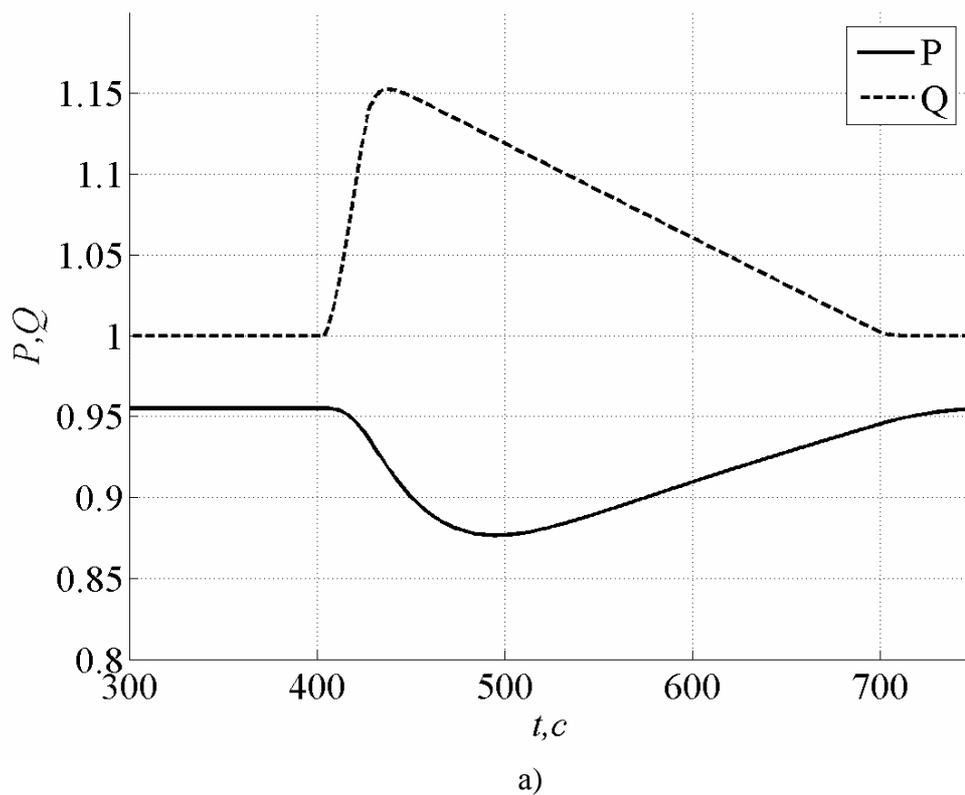
На рис.5 показаны результаты экспериментального исследования газотранспортной системы ЗАО «Донецксталь» - металлургический завод», имеющей структуру, аналогичную моделируемой.

Анализ полученных теоретических и экспериментальных данных позволяет сделать вывод о совпадении законов изменения расхода и давления на концах магистрали. Расхождения результатов объясняются сложной геометрией реального трубопровода, которая не учитывалась при моделировании, и неучтенным взаимодействием с внешней средой.

Выводы. Построенная модель достаточно точно отражает процессы, протекающие в газотранспортных системах, и может быть успешно применена при создании и исследовании систем автоматического управления комплексами «компрессор-магистраль-потребитель».

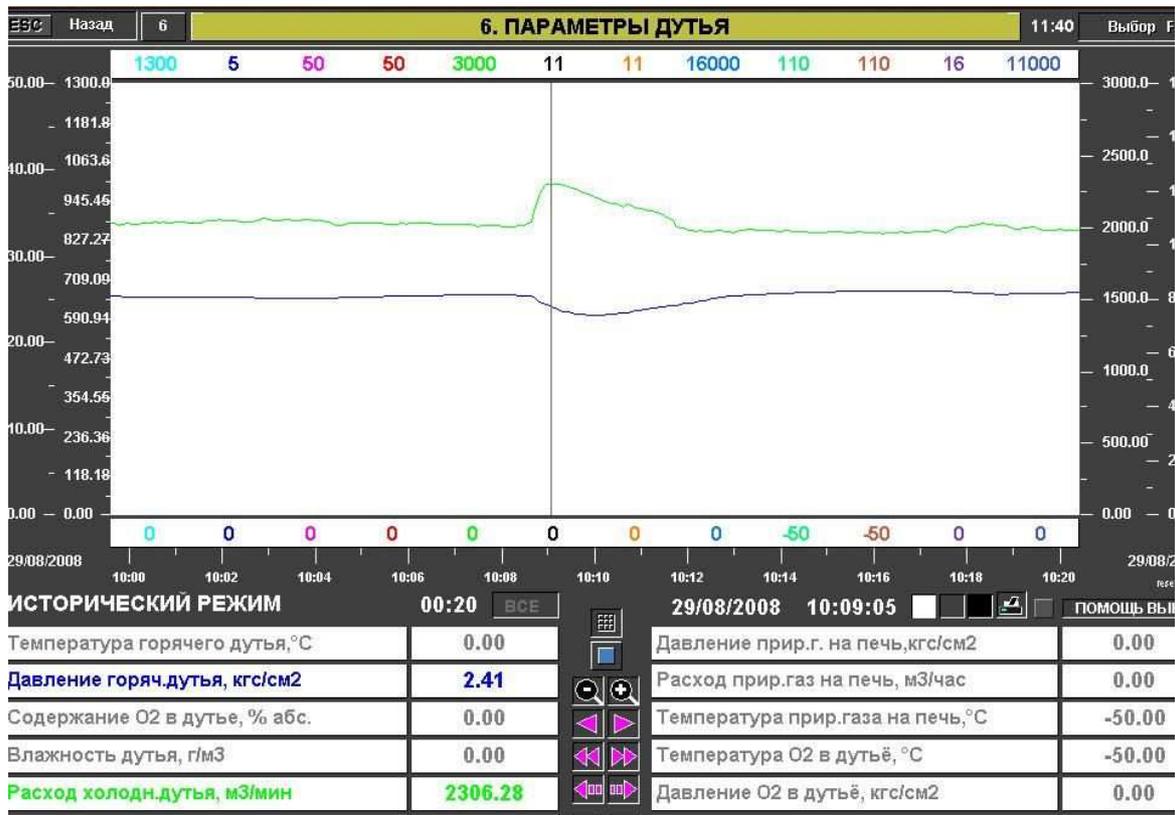
ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамовий Г.Н. Прикладная газовая динамика. В 2 ч. Ч.1: Учеб руководство: Для вузов. – 5-е изд. перераб и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. – 1991. – 600с.
2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: Учеб. для вузов. – 7-е изд., испр. – М.: Дрофа. – 2003. – 840 с.: 311 ил., 22 табл.
3. Дейч М.Е. Техническая газодинамика. Изд. 2-е, переработ. М.–Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 671с.: черт., ил.
4. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.1. Линейные системы. – М.: ФИЗМАТЛИТ. – 2003. – 379с.
5. Br.Roffel, V.Betlem Process Dynamics and Control. Modeling for Control and Prediction. John Wiley & Sons, Ltd 2006. Printed and bound in Great Britain by TJ International Ltd, Padstow, Cornwall. – 562p.
6. Modeling and Control of Surge and Rotating Stall in Compressor. Dr.ing. thesis Jan Tommy Gravdahl. Report 98-6-W Department of Engineering Cybernetics Norwegian University of Science and Technology N-7034 Trondheim, Norway. – 1998. – 152p.

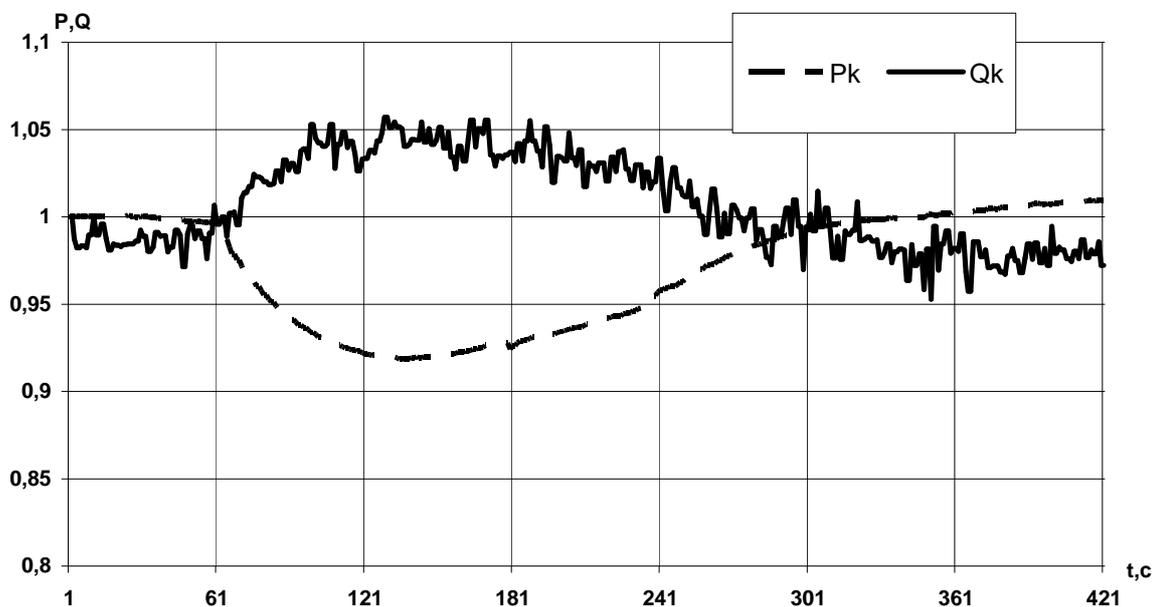


а) давление и расход воздуха на выходе из трубопровода;
б) давление и расход воздуха на входе в трубопровод

Рисунок 4 – Графики переходных процессов модели



а)



б)

- а) изменение давления и расхода на выходе из трубопровода;
 б) изменение давления и расхода на входе в трубопровод

Рисунок 5 – Результаты, полученные в ходе проведения эксперимента