

УДК 622.42

О. Ю. Чередникова

Донецкий национальный технический университет
кафедра компьютерной инженерии
ola@cs.dgtu.donetsk.ua

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОБЫЧНЫХ УЧАСТКОВ ПО КАНАЛУ «РАСХОД ВОЗДУХА – КОНЦЕНТРАЦИЯ МЕТАНА»

Показано, что газодинамическая сеть участков представляет фильтр нижних частот по каналу «расход воздуха – концентрация метана». Установлено, что граничная частота возмущений по расходу воздуха не превышает 10^{-3} рад/с. В силу этого установлен существенный спектр производственных возмущений для систем управления по газовому фактору для добычных участков угольных шахт.

Спектр возмущений, амплитудно-частотная характеристика, передаточная функция, концентрация метана, математическая модель

Введение

Для поддержания концентрации метана на требуемом безопасном уровне в системах управления по газовому фактору необходимо эффективное подавление возмущений, как по дебиту метана, так и по дебиту воздуха. Ширина спектра производственных возмущений по воздуху в сотни раз шире полосы возмущающих воздействий по газу. Как известно [4], граничная частота возмущающих воздействий по газу обычно не превышает 0.001 с^{-1} , а производственные возмущения по дебиту воздуха обычно имеют верхнюю границу полосы существенных частот до 0.5 с^{-1} . В силу этого, для расчета динамических свойств систем управления по газу важное значение имеет определение верхнего предела частотного спектра производственных возмущений по дебиту воздуха в шахтной сети, способных вызвать опасные отклонения концентрации метана на участке от заданного уровня.

Частотные характеристики газодинамической модели выемочного участка по каналу «дебит воздуха – дебит метана»

Регулируемой координатой участка в контуре управления по газу является концентрация метана в наиболее опасной по концентрации метана горной выработке, определяемой правилами техники безопасности.

При отработке пласта, например, прямым ходом, таким регулируемым параметром является концентрация метана в исходящей струе участка [4] (рис.1).

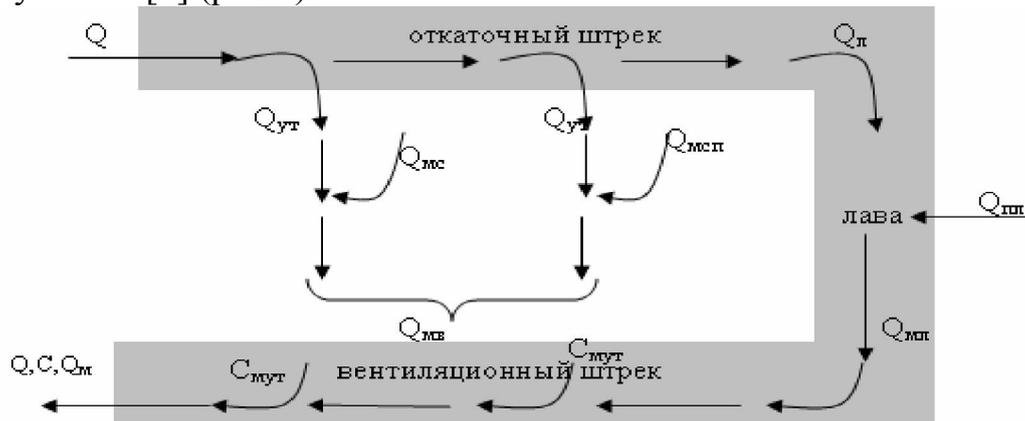


Рисунок 1 – Обобщенная схема движения газовой смеси в выемочном пространстве и выработанном пространстве участка:

- Q – дебит воздуха на участке;
- C – концентрация метана в исходящей струе участка;
- Q_{ут} – дебит утечек воздуха через выработанное пространство;
- Q_л – расход воздуха в лаве;
- Q_{пл} – дебит метана в лаву из груди разрабатываемого пласта;
- Q_{мсп} – дебит метана из спутника;
- C_{мут} – концентрация метана в утечках воздуха через выработанное пространство;
- Q_{мв} – общий дебит метана из выработанного пространства;
- Q_{му} – общий дебит метана в исходящей струе участка.

При разработке газодинамической модели таких участков кроме выделения газа из груди забоя и спутников необходимо учитывать содержание газа в утечках воздуха из выработанного пространства. Поэтому в общем случае полное математическое описание участка как объекта управления с сосредоточенными параметрами должно включать систему дифференциальных уравнений газодинамических процессов, как в выемочном пространстве, так и в утечках из выработанного пространства [5].

В базовом варианте схемы проветривания участка при отработке пласта прямым ходом (рис.1) в первом приближении при малых отклонениях аэрогазодинамических переменных в процессе регулирования режима проветривания участка переходные процессы по дебиту метана в лаве, в первой (прилегающей к лаве) и второй (удаленной от лавы) зонах выработанного пространства описываются системой уравнений [3]:

$$T_l \dot{q}_l + q_l = T_l \dot{G} ;$$

$$\frac{dq_1}{dt} + \frac{1}{T_1} q_1 = m_1 \frac{dG}{dt} ;$$

$$\frac{dq_2}{dt} + \frac{1}{T_2} q_2 = m_2 \frac{dG}{dt} ,$$

где T_l, T_1, T_2 – соответственно время однократного обмена воздуха в лаве и вентиляционном штреке, в первой и второй зонах выработанного пространства;

m_1, m_2 – коэффициенты степени турбулентности утечек воздуха в первой и второй зоне выработанного пространства;

$G = (Q - Q_o) / Q_o$ – относительное приращение расхода воздуха в выемочном участке;

$q_1 = (Q_{мв1} - Q_{омв1}) / Q_{омв1}$ – относительное приращение дебита метана из первой зоны выработанного пространства.

$q_2 = (Q_{мв2} - Q_{омв2}) / Q_{омв2}$ – относительное приращение дебита метана из второй зоны выработанного пространства;

$q_l = (Q_{мл} - Q_{омл}) / Q_{омл}$ – относительное приращение суммарного дебита метана на выходе из лавы.

В силу этого комплексная частотная характеристика газодинамической сети участка по каналу «дебит воздуха – дебит метана» может быть представлена в виде:

$$W_l(j\omega) = \frac{q_l(j\omega)}{G(j\omega)} = \frac{T_l j\omega}{1 + j\omega T_l}; \quad (1)$$

$$W_1(j\omega) = \frac{q_1(j\omega)}{G(j\omega)} = \frac{m_1 T_1 j\omega}{1 + j\omega T_1}; \quad (2)$$

$$W_2(j\omega) = \frac{q_2(j\omega)}{G(j\omega)} = \frac{m_2 T_2 j\omega}{1 + j\omega T_2}; \quad (3)$$

где $W_l(j\omega), W_1(j\omega), W_2(j\omega)$ – комплексные частотные передаточные функции соответственно по дебиту метана лавы (W_l), газовыделению из первой (W_1) и второй (W_2) зоны выработанного пространства.

Следовательно, в соответствии с (1 – 3) амплитудно-частотные характеристики по дебиту метана на выходе участка описываются формулами:

$$A_l(\omega) = |W_l(j\omega)| = \frac{T_l \omega}{\sqrt{1 + \omega^2 T_l^2}}; \quad (4)$$

$$A_1(\omega) = |W_1(j\omega)| = \frac{m_1 T_1 \omega}{\sqrt{1 + \omega^2 T_1^2}}; \quad (5)$$

$$A_2(\omega) = |W_2(j\omega)| = \frac{m_2 T_2 \omega}{\sqrt{1 + \omega^2 T_2^2}}. \quad (6)$$

Зависимость концентрации метана на выходе участка от дебита метана и расхода воздуха на участке можно представить функцией [3]:

$$k = \theta_1 q_1 + \theta_2 q_2 + \theta_l q_l - G,$$

где $\theta_1 = Q_{омв1} / Q_{омл}$; $\theta_2 = Q_{омв2} / Q_{омл}$; $k = (C - C_o) / C_o$ – относительное безразмерное значение концентрации метана.

Следовательно, комплексная частотная функция по концентрации метана выемочного участка в общем виде будет иметь вид:

$$W_k(j\omega) = k/G = \theta_1 W_1(j\omega) + \theta_2 W_2(j\omega) + \theta_L W_L(j\omega) - 1. \quad (7)$$

С учетом (1), (2) и (3) выражение (7) окончательно может быть представлено в виде:

$$W_k(j\omega) = X(\omega) + jY(\omega),$$

$$\text{где } X(\omega) = \frac{\theta_1 m_1 T_1^2 \omega^2}{1 + T_1^2 \omega^2} + \frac{\theta_2 m_2 T_2^2 \omega^2}{1 + T_2^2 \omega^2} + \frac{\theta_L T_L^2 \omega^2}{1 + T_L^2 \omega^2} - 1;$$

$$Y(\omega) = \frac{\theta_1 m_1 T_1 \omega}{1 + T_1^2 \omega^2} + \frac{\theta_2 m_2 T_2 \omega}{1 + T_2^2 \omega^2} + \frac{\theta_L T_L \omega}{1 + T_L^2 \omega^2}.$$

Откуда, для амплитудно-частотной характеристики выемочного участка по концентрации метана получим:

$$A_k(\omega) = \sqrt{X(\omega)^2 + Y(\omega)^2}. \quad (8)$$

На рис.2 в соответствии с соотношениями (4), (5), (6) и (8) построены амплитудно-частотные характеристики для условий 1-ой восточной лавы шахты «Мушкетовская-Вертикальная» (табл.1).

Таблица 1

Параметры математической модели 1-ой восточной лавы шахты «Мушкетовская-Вертикальная»

m_1	m_2	$T_{в1},$ МИН	$T_{в2},$ МИН	$Q_{ому1},$ М ³ /МИН	$Q_{ому2},$ М ³ /МИН	$Q_{омв1},$ М ³ /МИН	$Q_{омв2},$ М ³ /МИН	$Q_{омл},$ М ³ /МИН
1	1.3	120	800	3.1	3.8	1.75	0.7	1.35

Таблица 1.Продолжение

$Q_{оут1},$ М ³ /МИН	$Q_{оут2},$ М ³ /МИН	$Q_{ол},$ М ³ /МИН	$Q_{о},$ М ³ /МИН	$h_{л},$	$L_{л},$ М
130	70	300	500	1.05	130

При построении частотных характеристик в соответствии с параметрами этого выемочного участка, показанными в табл.1, в модели были использованы следующие параметры:

$$T_L = 2300 \text{ сек.}, T_1 = 7200 \text{ сек.}, T_2 = 121000 \text{ сек.}, m_1 = 1, m_2 = 1.3.$$

Из полученных графиков частотных характеристик следует, что выемочный участок по дебиту метана является фильтром высоких частот и хорошо «пропускает» высокие частоты, начиная с $\omega = 10^{-3} \text{ рад/сек.}$, в то время, как по концентрации метана участок представляет собой фильтр низких частот, т.е. хорошо «пропускает» низкие частоты вплоть до $\omega = 10^{-3} \text{ рад/сек}$ и плохо «пропускает» (подавляет) высокочастотные возмущения по расходу воздуха.

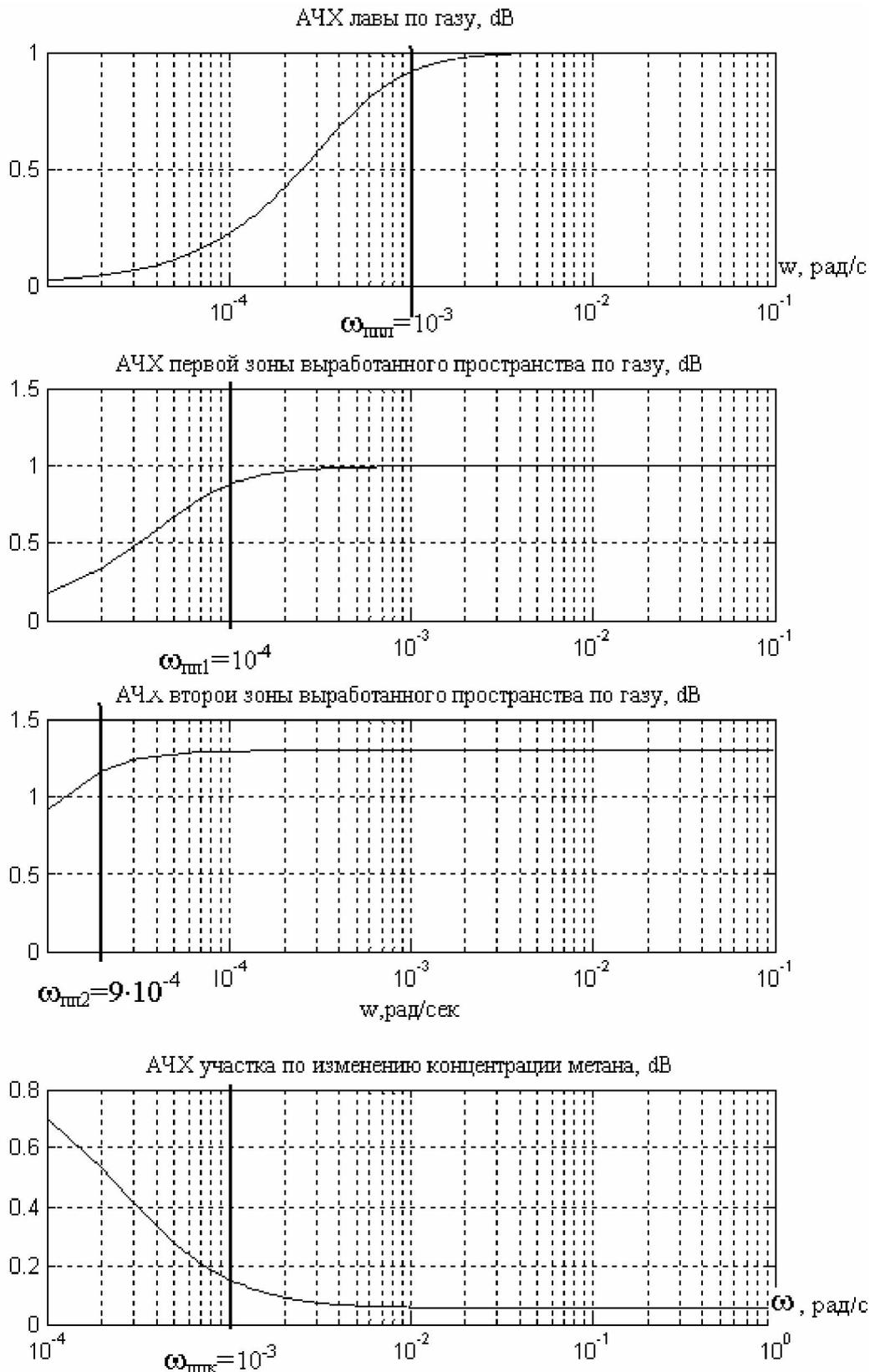


Рисунок 2 – АЧХ по каналу «дебит воздуха – дебит метана – концентрация метана» выемочного участка: $\omega_{плл}$, $\omega_{пл1}$, $\omega_{пл2}$, $\omega_{плк}$ – соответственно полоса пропускания по дебиту метана в лаве, первой и второй зонах выработанного пространства и концентрации метана

В силу этого с позиции концентрации метана в составе спектра производственных возмущений по воздуху опасными следует считать только те гармоники, частота которых не выше $\omega=10^{-3}$ рад/сек. Следовательно, в аэродинамической сети участка для подавления опасных по газовому фактору производственных возмущений по воздуху в шахтных условиях необходимо подавлять помехи по расходу воздуха, начиная с гармоники круговой частоты $\omega=10^{-3}$ рад/сек и ниже. Таким образом, аэродинамические модели горных выработок шахтной сети как объекты управления по газу с учетом фильтрационных свойств газодинамической сети участка должны рассчитываться для полосы частот значительно уже реального спектра производственных аэродинамических возмущений и должны быть эквивалентны оригиналу до граничной гармоники частотного спектра возмущений по воздуху, соответствующей $\omega=10^{-3}$ рад/сек.

Разработка приближений аэродинамических моделей выемочного участка ШВС как объекта управления по газу

В [2] разработаны математические модели выработок шахтной вентиляционной сети в действительном диапазоне возмущающих воздействий шахтной вентиляционной сети. Самой простой из них является L-модель выработки, учитывающая только инерционность воздушного потока выработки (рис.3).

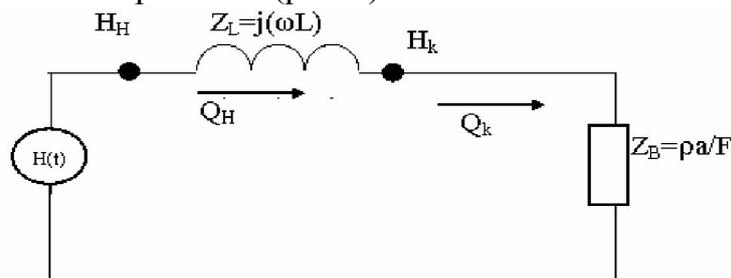


Рисунок 3 – L-модель короткой выработки, согласованной по выходу

Входное сопротивление L-модели определяется соотношением:

$$Z_{ex}^L = Z_e \left(1 + j\omega \frac{l}{a} \right).$$

Откуда, для амплитудно-частотной характеристики получим:

$$\frac{|Z_{ex}^L|}{Z_e} = \sqrt{1 + \left(\omega \frac{l}{a} \right)^2}$$

На рис.4 для опасного спектра полосы пропускания выемочного участка по газовому фактору ($\omega=0 \div 10^{-3}$ рад/сек) показаны частотные характеристики L-модели (рис.3) при максимально возможной длине

выработки вентиляционной сети выемочного участка, принятой равной 5000м.

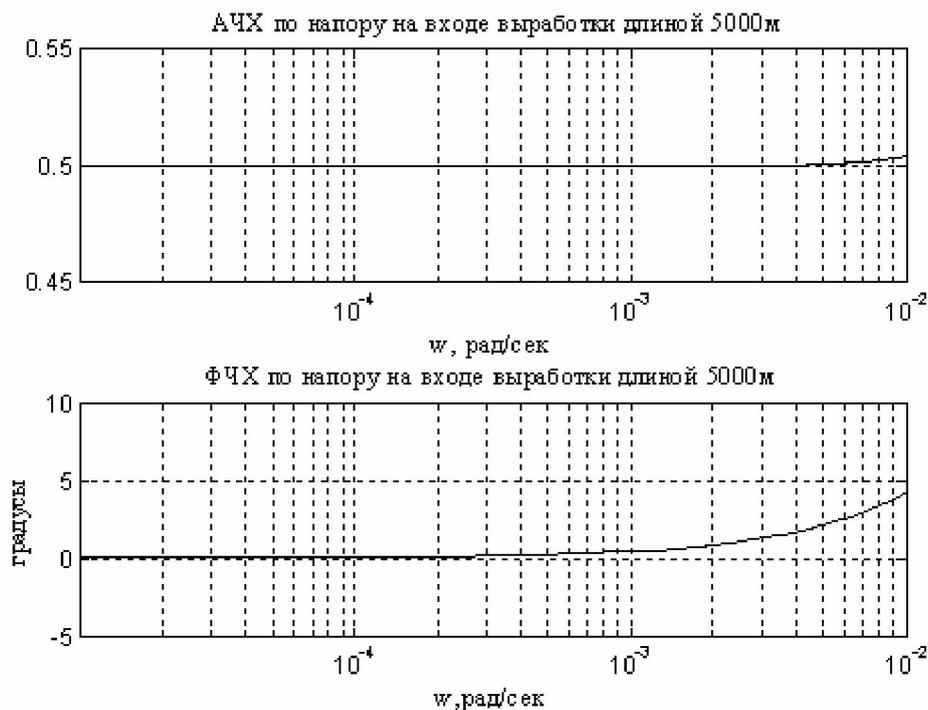


Рисунок 4 – Частотные характеристики L-модели вентиляционной сети выемочного участка длиной 5000м в диапазоне опасных по газовому фактору производственных помех по воздуху в шахтной сети

Характер полученных характеристик показывает, что для анализа динамики горных выработок шахтной вентиляционной сети при расчете параметров систем управления по газу достаточно использовать динамические модели выработок с учетом инерционных свойств воздушного потока и без учета сжимаемости потока.

Выводы

Установлено, что существенный спектр производственных помех по воздуху для газодинамической сети участка значительно уже реального спектра производственных возмущений по воздуху в шахтной сети. Полоса пропускания участка по каналу «дебит воздуха» - «концентрация метана» не превышает круговой частоты 10^{-3} рад/сек. В силу этого математическая аэродинамическая модель горных выработок добычных участков при расчете систем управления по газу значительно упрощается для реального диапазона длин горных выработок выемочных участков аэродинамика выработок участка адекватно описывается обыкновенным дифференциальным уравнением с сосредоточенным значением аэродинамического сопротивления выработки и акустической массы воздушного потока в выработке участка.

Список литературы

1. Лапко В.В. Передаточные функции горной выработки как звена системы управления распределением воздуха / В.В. Лапко, С.С. Ефремов, А.Г.Кравченко // Разработка месторождений полезных ископаемых, рудничная вентиляция и техника безопасности. – К: Техника, 1992. - №36. – С. 3 – 8.
2. Лапко В.В. Разработка методами частотного анализа математической модели длинных аэродинамических каналов как объект управления / В.В.Лапко, О.Ю. Чередникова // Научная конференция молодых ученых и студентов, Донецк, 11-13 декабря, 2007 : тезисы докл. – С.23.
3. Лапко В.В. Математическая модель и исследование переходных газодинамических процессов на выемочных участках шахт Донбасса / В.В. Лапко, О.Ю. Чередникова // Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2008. – №2. – С.115 – 121.
4. Петров Н.Н. Методы синтеза систем автоматического регулирования вентиляторов главного проветривания./ Н.Н. Петров, П.Н. Ермолаев, П.Т.Пономарев. В кн. «Автоматическое управление в горном деле». Сб. научных трудов. – Новосибирск ИГД СО АН СССР, 1971. – С. 23-49.
5. Частотные свойства шахтной вентиляционной сети как объекта автоматического регулирования / П.Н. Ермолаев и др. – В кн.: Автоматическое управление в горном деле. – Новосибирск: Б. И., 1971, с.16 – 23.

Надійшла до редколегії 22.01.2010

Рецензент: Назаренко В.І.

О. Ю. Чередникова

Донецький національний технічний університет, кафедра комп'ютерної інженерії

Дослідження частотних характеристик добувних дільниць по каналу «витрата повітря – концентрація метану» Показано, що газодинамічна мережа дільниць представляє фільтр нижніх частот по каналу «витрата повітря – концентрація метану». Встановлено, що гранична частота збурень по витраті повітря не перевищує 10^{-3} рад/с. В силу цього встановлений істотний частотний спектр виробничих збурень для систем управління по газовому фактору для видобувних дільниць вугільних шахт.

Спектр збурень, амплітудно-частотна характеристика, передаточна функція, концентрація метану, математична модель

O. J. Cherednikova

Donetsk national technical university

Investigation of frequency characteristics for mining area via “air flow rate – methane concentration” It's shown that the gas-dynamic network of the mining area represents a lowpass filter via “air flow rate – methane concentration”. It's shown that boundary frequency of disturbances in air flow does not exceed 10^{-3} rad/sec. On the base of research's results the essential spectrum of production disturbances of control systems for gas factor is defined.

Spectrum of disturbances, amplitude-frequency response, transfer function, concentration of methane, a mathematical model