

УДК 622.807:622.003.5

В. Н. Павлыш (д-р техн. наук, проф.)**Аль-Джерди Орва (асп.)**

Донецкий национальный технический университет, Донецк

**ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПНЕВМОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ГАЗОСОДЕРЖАЩИЕ МАССИВЫ**

Рассматривается задача теоретического исследования структуры и алгоритмов функционирования системы управления процессом пневматической обработки газонасыщенных анизотропных подземных массивов с целью активизации извлечения полезного газа.

Ключевые слова: процесс, математическая модель, управление, давление, газовыделение.

Актуальность работы. Подземные газонасыщенные массивы являются источником полезного газа метана, который используется для хозяйственных нужд и заправки автомобилей, при этом анизотропия оказывает отрицательное влияние на процесс извлечения газа. Для преодоления этого явления применяется пневматическая обработка массива, позволяющая активизировать газовыделение, и для повышения эффективности процесса необходимо применение автоматизированного управления, что определяет актуальность задачи.

Анализ результатов исследований процесса показывает, что воздействие рационально осуществлять в циклическом режиме [1], а контроль параметров и управление процессом эффективно выполняется специализированным устройством.

Цель работы – теоретическое обоснование параметров системы автоматизированного управления процессом.

Постановка задачи. Рассматривается математическая модель процессов пневмодинамического воздействия на газонасыщенный трещиновато-пористый породный массив и ставится задача контроля технологических параметров.

Исходные физические предпосылки для теоретического описания процесса: воздействие осуществляется путем нагнетания воздуха в скважину, пробуренную на определенную глубину в породном массиве, содержащем газ метан в связанном состоянии;

целью воздействия является активизация газовыделения из массива как средство его дегазации;

за счет воздействия воздуха, давление в котором доводится до значительных величин, нарушается равновесие в системе «порода-воздух-метан» благодаря изменению сорбционных свойств массива, что и вызывает усиление движения газа к обнаженной поверхности.

Основное содержание работы. В первом приближении будем считать, что скорость метано-воздушной смеси подчиняется закону Дарси:

$$V = \frac{k}{\mu n} \cdot \frac{\partial P}{\partial x}$$

В основу математической модели авторы [1, 2] предлагают положить уравнение:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{k}{\mu n_0} \cdot \frac{\partial^2 P^2}{\partial x^2} \quad (1)$$

Для решения задачи уравнение сводится к безразмерным переменным.

В отличие от уравнений движения жидкости, данное уравнение не позволяет получить удобные расчетные зависимости, и теоретические исследования необходимо проводить с применением компьютера.

Рассмотрим полную математическую модель процесса пневмогидродинамического воздействия [2].

Считая, что движение газовой смеси подчиняется закону Дарси, и используя уравнения неразрывности для компонентов потока, запишем уравнения фильтрации газа относительно их концентрации:

$$n_{\text{э}} \frac{\partial C}{\partial t} = \text{div} \left[\frac{kT}{\mu n_{\text{э}}} C \text{grad}(CR) \right] + q; \quad (2)$$

$$n_{\text{э}} \frac{\partial C_M}{\partial t} = \text{div} \left[\frac{kT}{\mu n_{\text{э}}} C_M \text{grad}(CR) \right] + q_M; \quad (3)$$

$$n_{\text{э}} \frac{\partial C_0}{\partial t} = \text{div} \left[\frac{kT}{\mu n_{\text{э}}} C_0 \text{grad}(CR) \right] + q_0, \quad (4)$$

где C – концентрация газа в фильтрационном объеме, г/см³;

T – абсолютная температура смеси газов, К°;

μ – вязкость смеси, н.с/м²;

R – газовая постоянная, дж/кг.град;

W – скорость притока газа из пористых блоков в фильтрационный объем, г/см².с;

« M », « 0 » - индексы, относящиеся соответственно к метану и кислороду; переменная без индексов относится к метано-воздушной смеси.

$$q = -(W_M + W_0); \quad q_M = -W_M; \quad q_0 = -W_0;$$

$$\mu = \frac{\delta_M \mu_M \sqrt{M_M T_{кр.М}} + \delta_в \mu_в \sqrt{M_в T_{кр.в}}}{\delta_M \sqrt{M_M T_{кр.М}} + \delta_в \sqrt{M_в T_{кр.в}}}; \quad (5)$$

$$R = \frac{R_{уН}}{\delta_M M_M + \delta_в M_в}, \quad (6)$$

где $\delta_M, \delta_в$ – объемные доли метана и воздуха в смеси;

$R_{уН}$ – универсальная газовая постоянная;

M_M, M – молекулярные веса метана и воздуха;

$T_{кр.М}, T_{кр.в}$ – критические температуры метана и воздуха.

Объемные доли метана и воздуха в смеси можно определить следующим образом:

$$\delta_M = \frac{C_M \rho_{В.Н.У.}}{C_M \rho_{В.Н.У.} + (C - C_M) \rho_{В.Н.У.}}; \quad (7)$$

$$\delta_в = 1 - \delta_M, \quad (8)$$

где: $\rho_{в.н.у}$ – плотность воздуха при нормальных условиях.

Десорбция и диффузия метана с достаточной для практики точностью описывается уравнением

$$\frac{\partial a_M}{\partial t} = \alpha_M (C_M - C_{M.P.}) \quad (9)$$

где: a_M – концентрация сорбированного метана, г/см³;

α_M – кинетический коэффициент скорости процесса, л/с;

$C_{M.P.}$ – концентрация метана, равновесная с a_M , г/см³.

Уравнение (9) объединяет десорбцию и диффузию метана в единый процесс, характеристикой скорости которого является коэффициент a_M , определяемый экспериментально для каждого массива.

Давление, под которым находится в фильтрационном объеме метано-воздушная смесь, оказывает существенное отрицательное влияние на скорость диффузии метана.

Поскольку нас будет интересовать не распределение газа в массиве, а движение потока в целом, можно считать, что коэффициент проницаемости и эффективная пористость не зависят от координат. Кроме того, во всех уравнениях значение температуры будем считать постоянным. С учетом сделанных предположений уравнения примут вид:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{kTR}{L^2 \mu} \frac{\partial}{\partial x} \left[C \frac{\partial C}{\partial x} \right]; \quad (10)$$

$$\frac{\partial C_M}{\partial t} = \frac{kTR}{L^2 \mu} \frac{\partial}{\partial x} \left[C_M \frac{\partial C}{\partial x} \right]; \quad (11)$$

$$\frac{\partial C_0}{\partial t} = \frac{kTR}{L^2 \mu} \frac{\partial}{\partial x} \left[C_0 \frac{\partial C}{\partial x} \right], \quad (12)$$

где: C – концентрация газа в фильтрационном объеме, г/см³;

T – абсолютная температуры смеси газов, К°;

M – вязкость смеси, н·с/м²;

P – плотность метано-воздушной смеси, г/см³;

β_y, β – удельные теплоемкости угля и метано-воздушной смеси, дж/кг·град;

«м», «о» - индексы, относящиеся к метану и кислороду; переменная без индексов относится к метано-воздушной смеси.

Начальные условия:

$$C(x,0) = C_M(x,0) = C_{м.исх};$$

$$C_0(x,0) = 0. \quad (13)$$

Граничные условия:

$$C(0,t) = \frac{P_H L}{RT}; \quad C_0(0,t) = 0,23 \frac{P_H L}{RT};$$

$$C_M(0,t) = 0; \quad C(L,t) = \frac{P_{амм} L}{RT}; \quad (14)$$

$$0 \leq x \leq L; \quad t \geq 0.$$

Здесь $C_{м.исх}$ – концентрация свободного метана в необработанном массиве; P_n – давление нагнетания воздуха.

Система решается методом конечных разностей, решения получаем в виде таблиц, по которым можно построить графики (рис. 1, 2).

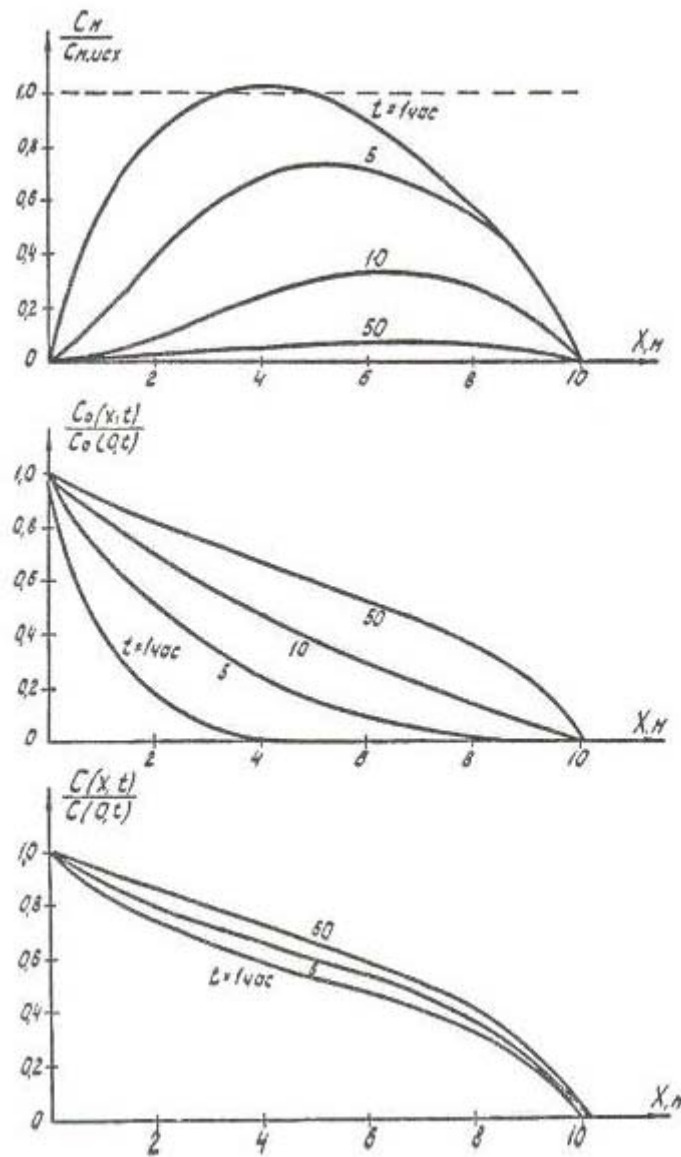


Рис. 1. Распределение в пространстве и времени относительных концентраций метана, кислорода и метано-воздушной смеси

В результате реализации процесса пневмодинамического воздействия осуществляется принудительное внедрение воздуха под высоким давлением, что вызывает структурные изменения, сопровождающиеся расширением пор и трещин. После сброса давления активизируется метановыделение из массива в скважину.

Управляющим параметром процесса является давление на скважине. Ввиду сложности построения инженерных методик, исследования и расчет параметров в общем случае приходится проводить с применением ЭВМ.

Вместе с тем, для практики удобно иметь инженерные методики, позволяющие выполнить хотя бы ориентировочные расчеты.

Введем нормирующую величину для давления нагнетания:

$$P_H = \frac{\mu m_{\text{э}} L^2}{kT}, \quad (15)$$

где T – «норма» времени нагнетания. Задаваясь величиной T и рассчитав давление по (15), проводим экспериментальное нагнетание и контролируем процесс метановыделения. На основании полученных значений строится таблица 1, в которой представляются результаты экспериментально-аналитических исследований.

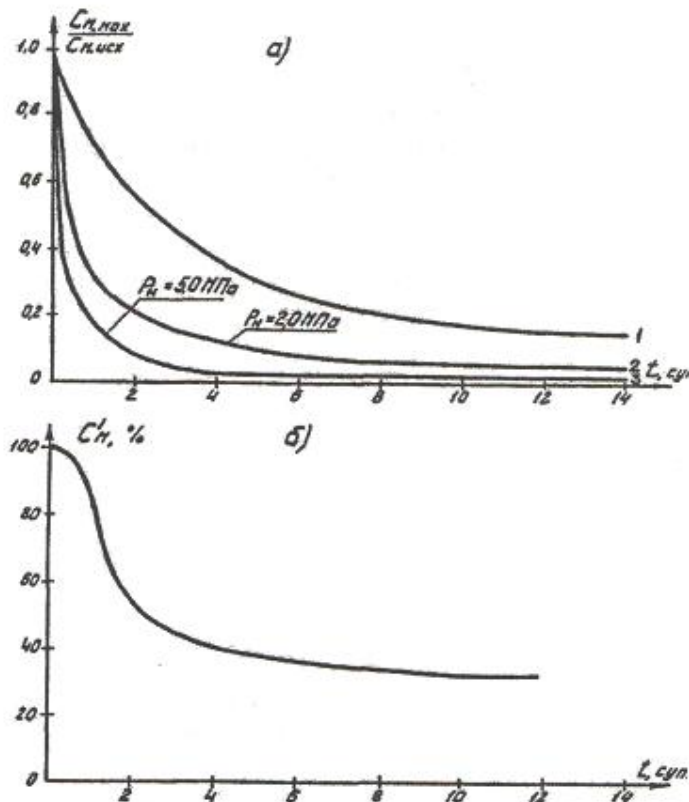


Рис. 2. Изменение концентрации свободного метана.

а) – максимальной по обрабатываемой зоне;

б) – объемной в отточной скважине

Таблица 1 – Результаты экспериментально-аналитических исследований процесса пневмодинамического воздействия

№	1	2	3	4	...	n
T	T_1	T_2	T_3	T_4	...	T_n
P	P_{H1}	P_{H2}	P_{H3}	P_{H4}	...	P_{Hn}
C_M	C_{M1}	C_{M2}	C_{M3}	C_{M4}	...	C_{Mn}

Экспериментальные нагнетания проводятся до тех пор, пока концентрация метана, достигнув максимума, не начнет снижаться. На рис. 3 приведен график для абстрактного примера.

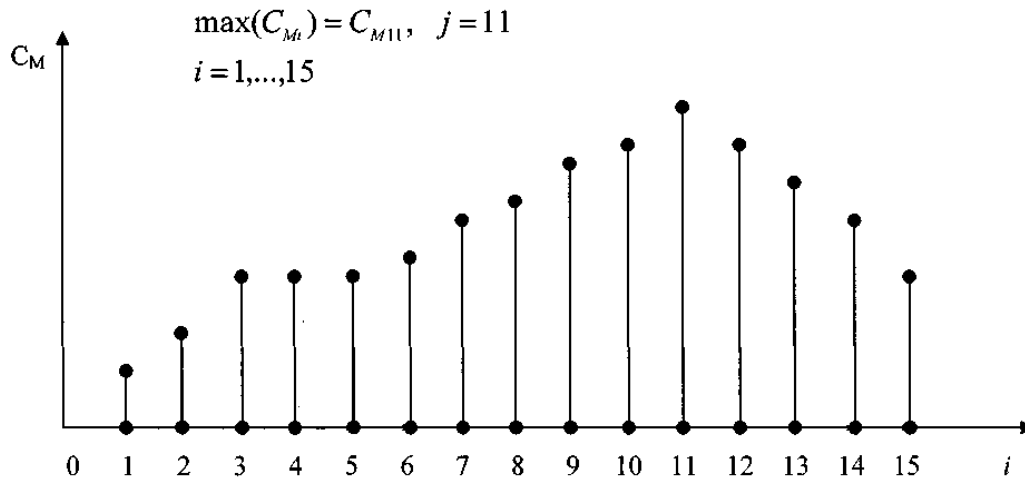


Рис. 3. Результаты экспериментально-аналитических исследований

Из построенного ряда выбирается $\max(C_{M_i})$, ($i = 1, \dots, n$), на основании чего принимается рекомендация о величине времени воздействия T_j и давлении нагнетания P_{nj} , где j соответствует $\max(C_{M_i}) = C_{M_j}$.

Выводы

Таким образом, на основании теоретических представлений о процессе пневмодинамического воздействия выведены практические рекомендации для ориентировочного определения параметров воздействия, что дает возможность построить базу данных как структурную составляющую системы автоматизированного управления. Приняв в качестве основного управляющего параметра давление нагнетания, можно строить алгоритм управления циклическим процессом пневмовоздействия.

Список литературы

1. Москаленко Э.М. Рекомендации по автоматизации проектирования гидродинамического воздействия на угольный пласт / Э.М. Москаленко, В.Н. Павлыш, Ю.М. Штерн. – М., 1981. – 61 с.
2. Павлыш В.Н. Основы теории и параметры технологии процессов гидропневматического воздействия на угольные пласты: монография / В.Н. Павлыш, Ю.М. Штерн. – Донецк: «ВИК», 2007. – 409 с.

Надійшла до редколегії 29.03.2012

В.М. Павлыш, Аль-Джерді Орва

Донецький національний технічний університет, Донецьк

ЗАДАЧА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПНЕВМОДИНАМІЧНОЇ ДІЇ НА ГАЗОНАСИЧЕНІ МАСИВИ

Розглянуто задачу теоретичного дослідження структури та алгоритмів функціонування системи керування процесом пневматичної обробки газонасичених анізотропних підземних масивів з метою активізації видобутку корисного газу.

Ключові слова: процес, математична модель, керування, тиск, газовиділення.

V.N. Pavlysh, Al-Jerdi Orwa

Donetsk National Technical University, Donetsk

THE PROBLEM OF CONTROL OF PROCESS OF PNEUMODYNAMIC ACTION ON GAS-HOLDING MASSIVES

The problem of theoretical investigation of the structure and algorithms of working of the system of control of the process of pneumatic action on underground gas-holding layers is considered.

Keywords: process, mathematical model, control, press.