

УДК 622.276.52

## Осушение скважины путем вытеснения жидкости сжатым воздухом

Игнатов А. В.<sup>1</sup>, Левит В. В.<sup>2</sup>, Турчин В. А.<sup>2</sup>, Горелкин А. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина

<sup>2</sup> ОАО Государственная холдинговая компания «Спецшахтобурение», Донецк, Украина

Поступила в редакцию 23.11.10, принята к печати 18.03.11

### Аннотация

Разработана математическая модель процесса вытеснения жидкости из скважины до момента прорыва воздуха в водоподъемный став. Исследованы динамические параметры процесса вытеснения жидкости из скважины сжатым воздухом.

Ключевые слова: скважина, жидкость, сжатый воздух.

### 1. Проблема и ее связь с научными и практическими задачами

Увеличение добычи угля является одним из приоритетных направлений развития современного топливно-энергетического комплекса Украины. Увеличение добычи угля требует создания соответствующих режимов проветривания шахтных выработок и дегазации угольных пластов, что, в свою очередь, приводит к необходимости проведения все большего числа шахтных вентиляционных стволов и дегазационных скважин.

Технология сооружения шахтных стволов и скважин способом бурения предусматривает после окончания работ по их креплению откачку промывочной жидкости для проверки качества крепи и обеспечения безопасных работ по сбойке ствола с шахтными выработками.

Осушение стволов и скважин может осуществляться по различным технологическим схемам: объемным способом с помощью бады, насосом, эрлифтом, насосно-эрлифтной установкой, вытеснением жидкости сжатым воздухом. Выбор схемы зависит от технических возможностей технологического подразделения, притока воды в ствол, его глубины и диаметра и ряда других факторов.

Сроки ввода в эксплуатацию вентиляционных стволов и дегазационных скважин существенно зависят от времени их осушения и задача определения оптимальных технологических схем и параметров осушения является актуальной. Одной из технологических схем, применяемых в настоящее время в практике осушения стволов и скважин, является вытеснение жидкости из скважины сжатым воздухом

### 2. Анализ исследований и публикаций

В настоящее время в литературе отсутствуют исследования, посвященные анализу динамики процесса вытеснения жидкости из скважины сжатым воздухом.

### 3. Постановка задачи

На основании поставленной проблемы и анализа публикаций ставится задача определения параметров динамических процессов вытеснения жидкости из скважины сжатым воздухом.

### 4. Изложение материала и результаты

В данной работе рассмотрен процесс вытеснения жидкости из скважины на шахте «Красноармейская – Западная №1».

В 2010 году Холдинговая компания «Спецшахтобурение» закончила бурение и осушила дегазационную скважину на шахте «Красноармейская–Западная №1».

После окончания цементации была произведена откачка жидкости из скважины в два этапа. Общий объем перекрепленной скважины составил около 60 м<sup>3</sup>.

На первом этапе откачка жидкости производилась с помощью эрлифтной установки. Для этого в скважину до отметки 200 м был спущен водоподъемный став диаметром 141 мм, внутри которого были смонтированы трубы диаметром 73 мм и длиной 140 м для подачи сжатого воздуха. На верхнем торце водоподъемных и воздушных труб был смонтирован эрлифтный оголовок с двумя патрубками, к одному из которых от шахтного ресивера был подключен трубопровод сжатого воздуха. Давление в системе составляло 5,5 МПа, при производительности около 300 м<sup>3</sup>/ч. Аэрированная жидкость поднималась в межтрубном пространстве и через второй патрубок в эрлифтной оголовке, подключенный на поверхности к трубопроводу изливалась в желобную систему, а затем в отстойный резервуар. С помощью этого способа из скважины было откачено около 10 м<sup>3</sup> жидкости (до отметки 120 м).

На втором этапе откачка жидкости из скважины производилась с использованием компрессорной установки УКС-400 (максимальное давление 40 МПа, производительность 140 м<sup>3</sup>/ч). Для этого в скважину был спущен водоподъемный став из бурильных труб диаметром 141 мм 1 на отметку 757 м (на 5,7 м выше забоя) (рис. 1), к которому на поверхности через переходное соединение был подключен шланг высокого давления с внутренним диаметром 101 мм 2. Шланг был установлен в желобной системе связанной с отстойным резервуаром. Устье скважины оборудовано герметизирующим устройством 3, представляющим собой фланец с двумя штуцерами, перекрывающим зазор между обсадными трубами диаметром 340 мм и бурильными трубами диаметром 141 мм. К одному из штуцеров подсоединялся нагнетательный трубопровод высокого давления от компрессорной установки, а ко второму манометр для контроля давления в скважине.

На момент откачки жидкости из скважины уровень воды составлял 120 м. После включения компрессора жидкость на поверхность начала изливаться приблизительно через 50–60 минут, при этом давление в системе составило около 1,5 МПа при расходе изливающейся жидкости около 9 м<sup>3</sup>/час. С понижением уровня воды в скважине давление увеличивалось и на глубине 762 м составило 7,5 МПа при расходе изливающейся жидкости около 1,1 м<sup>3</sup>/ч. Окончательная стадия выдавливания жидкости сопровождалась резким снижением давления и выходом сжатого до 7,5 МПа воздуха в атмосферу. Таким образом, за первых 10 часов из скважины было откачено около 26 м<sup>3</sup> жидкости, что составило около 50% объема в скважине. Общее время откачки составило около 32 часов. После откачки уровень жидкости в скважине находился на отметке 711 м.

В данной работе рассмотрен процесс вытеснения жидкости из скважины (рис. 1) до момента прорыва сжатого воздуха в водоподъемный став 1.

Для составления дифференциального уравнения движения жидкости в скважине используем уравнение динамики тела переменной массы, записанное в проекциях на ось  $y$  (вертикальную ось с началом отсчета на поверхности земли, направленную вертикально вниз) [1–2].

$$m\ddot{Y} = \sum F_{ky}^e + \frac{dm}{dt} U_y, \quad (1)$$

где  $m$  – масса жидкости в скважине, кг;  $Y$  – координата свободной поверхности жидкости в скважине;  $\sum F_{ky}^e$  – сумма проекций на ось  $y$  внешних сил, действующих на движущуюся в

скважине жидкость, Н;  $U_y$  – проекция на ось  $y$  вектора скорости движущейся в скважине массы воды в процессе ее вытеснения, м/с.

Переменная масса жидкости в скважине

$$m = \rho(H_c - Y)F_{63}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости в скважине, кг/м<sup>3</sup>;  $H_c = 762$  м – глубина скважины;  $F_{63}$  – площадь поперечного сечения скважины, м<sup>2</sup>; отсюда

$$\frac{dm}{dt} = -\rho Y \cdot F_{63} \quad (3)$$

$$\Sigma F_{ky}^e = P_{\text{вз}} + G_{\text{в}} + G_{\text{жс}} - P_{\text{жс}} - R_{\text{жс}}, \quad (4)$$

где  $P_{\text{вз}}$  – сила давления сжатого воздуха, Н;  $G_{\text{в}}$  – сила тяжести, действующая на воздух в скважине, Н;  $G_{\text{жс}}$  – сила тяжести, действующая на жидкость в скважине, Н;  $P_{\text{жс}}$  – сила давления на массу жидкости в скважине со стороны водоподъемного става 1;  $R_{\text{жс}}$  – сила сопротивления движению жидкости в скважине, Н.

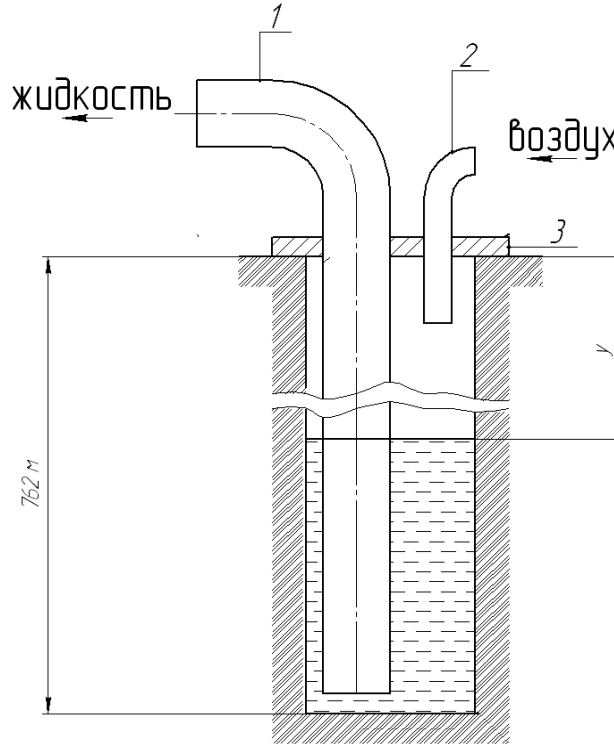


Рис.1. Схема вытеснения жидкости из скважины сжатым воздухом

$$P_{\text{вз}} = P_{\text{в}} \cdot F_{\text{вз}}, \quad (5)$$

где  $P_{\text{в}}$  – избыточное давление сжатого воздуха, Па.

Считая, что подача сжатого воздуха компрессором объемного действия есть величина постоянная, получим

$$P_{\text{в}} = \frac{V_0 \cdot P_a}{Y \cdot F_{\text{вз}}} - P_a, \quad (6)$$

где  $V_0$  – производительность компрессора при атмосферном давлении  $P_a = 9,8 \cdot 10^4$  Па, м<sup>3</sup>/с.

$$G_{\text{жс}} = \rho g (H_c - Y) \cdot F_{\text{вз}} \quad (7)$$

$$G_{\text{в}} = \rho_{\text{вз}} g Y F_{\text{вз}}, \quad (8)$$

где  $\rho_{\text{вз}}$  – плотность сжатого воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Принимаем

$$\rho_{\text{вз}} = \rho_0 \frac{P_{\text{в}} + P_a}{P_a} = \rho_0 \frac{V_0}{Y F_{\text{вз}}}, \quad (9)$$

где  $\rho_0$  – плотность сжатого воздуха при нормальных условиях, кг/м<sup>3</sup>.

$$G_{\text{в}} = \rho_0 V_0 g \frac{Y}{Y}, \quad (10)$$

$$P_{\text{жс}} = \rho g H_c F_{\text{вз}} \quad (11)$$

$$R_{жс} = \lambda \frac{H_c - Y}{d_c} \cdot \frac{\dot{Y}^2}{2} \rho F_{вз}, \quad (12)$$

где  $\lambda$  – коэффициент гидравлического сопротивления при движении жидкости в скважине,  $d_c$  – диаметр скважины, м.

Подставив (2)–(12) в (1), получаем

$$\ddot{Y} = \frac{1}{N_1 + N_2} \left( -\frac{N_3}{\dot{Y}} + N_4 \frac{Y}{\dot{Y}} + N_6 \dot{Y}^2 + N_8 \right) + N_5 + N_7 \cdot \dot{Y}^2, \quad (13)$$

где

$$N_1 = \rho H_c F_{вз}, \quad N_2 = -\rho F_{вз}, \quad N_3 = V_o P_a, \quad N_4 = \rho_o V_o g, \\ N_5 = g, \quad N_6 = -\rho F_{вз}, \quad N_7 = -\lambda / (2d_{вз}), \quad N_8 = -F_{вз} (P_a + \rho g H_c).$$

Дифференциальное уравнение (1) не интегрируется разработанными к настоящему времени методами. В связи с этим для его решения применены приближенные методы интегрирования дифференциальных уравнений. Полученная в результате решения зависимость уровня жидкости при вытеснении ее из скважины от времени приведена на рисунке 2.

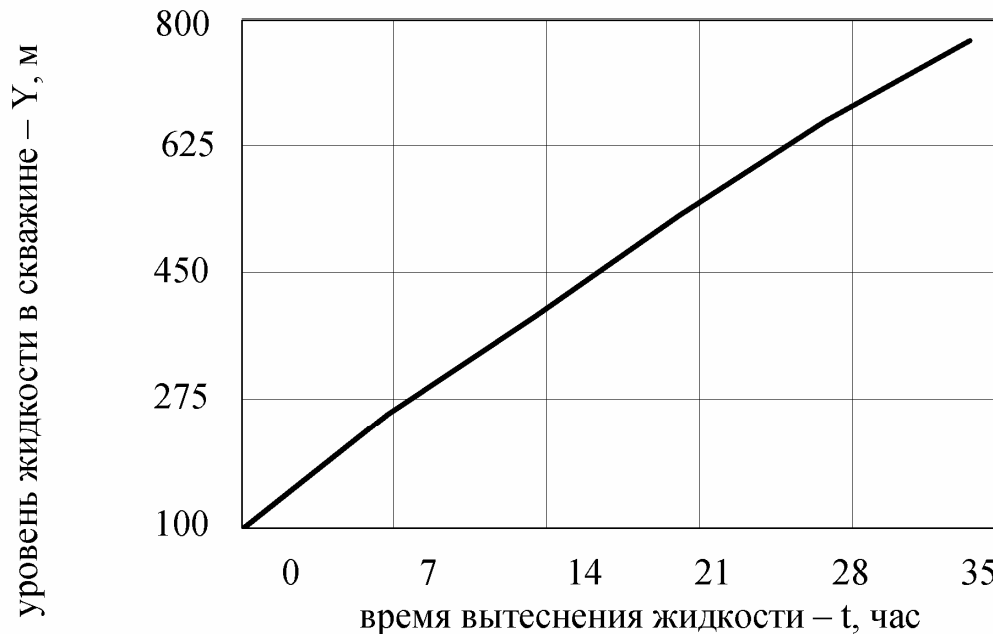


Рис. 2. Зависимость уровня жидкости в скважине от времени

Зависимость уровня воды в стволе от времени является параболической и близкой к линейной. Время второго этапа процесса осушения скважины хорошо коррелирует с полученными практическими данными. Процесс не носит колебательный характер.

### 5. Выводы и направление дальнейших исследований.

Разработана математическая модель процесса вытеснения жидкости из скважины до момента прорыва воздуха в водоподъемный став. Результаты расчетов по этой модели близки к полученным практически данным (время и характер процесса вытеснения жидкости). Полученные результаты позволят в дальнейшем разрабатывать оптимальные схемы осушения стволов и скважин и их параметры.

В дальнейших исследованиях следует разработать математическую модель вытеснения жидкости из водоподъемного става, начиная с момента прорыва в него воздуха. Этот процесс соответствует началу работы эрлифта.

### Библиографический список

1. Мещерский И.В. Работы по механике тел переменной массы – М.- Л.: Гостехтеориздат,1949.- 270с.
2. Петров Г.А. Гидравлика переменной массы. Харьков: ХГУ,1964.- 224с.
3. Логвинов Н.Г., Стегниенко А.П. Исследование устойчивости систем автоматического регулирования эрлифтных гидроподъемов. – В сб. «Разработка месторождений полезных ископаемых». Вып.37, - Киев: Техника, 1974, с. 63-68
4. Эрлифтные установки: Учебное пособие/ Гейер В.Г., Козыряцкий Л.Н., Пашенко В.С., Антонов Я.К. – Донецк: ДПИ,1982. – 64 с.
5. Энциклопедия эрлифтов / Ф.А.Папаяни. Л.Н. Козыряцкий, В.С. Пашенко, А.П. Кононенко. – Донецк. 1995.- 592 с. : ил.
6. Гейер В.Г., Логвинов Н.Г. О свойствах безразмерных характеристик эрлифтов – в сб. В сб. «Разработка месторождений полезных ископаемых». Вып.31, - Киев: Техніка, 1973, с. 51-56.
7. Стегниенко А.П. Зона раціональних режимів роботи ерліфта. Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірничо-електромеханічна». випуск 12(11). – Донецьк, 2006, с. 260-263.

© *Игнатов А. В., Левит В. В., Турчин В. А., Горелкин А. А., 2011.*

#### Анотація

Розроблена математична модель витиснення рідини з свердловини до моменту прориву стисненого повітря до водопідіймального ставу. Досліджені динамічні параметри процесу витиснення рідини з свердловини стисненим повітрям..

Ключові слова: свердловина, рідина, стиснене повітря.

#### Abstract

The mathematical model of process of a displacement of fluid from a well to the moment of penetration of compressed air in pipeline is developed. The dynamic parameters of a displacement process of a fluid from a well by compressed air are researched.

Keywords: well, fluid, compressed air.