

УДК 622.807:622.003.5

В.Н. Павлыш (д-р техн. наук, проф.)

Хасер Исмаил Даех (асп.)

Донецкий национальный технический университет, Донецк

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОДЗЕМНЫЕ АНИЗОТРОПНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ

Рассматривается задача построения алгоритма управления процессом сброса давления при гидродинамической обработке анизотропных глубинных пластов, насыщенных жидкими и газообразными субстанциями, с целью активизации их выделения в скважины, пробуренные с поверхности.

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

Актуальность задачи. При добыче углеводородного сырья (нефти и газа) через скважины, пробуренные с поверхности на продуктивные пласты, отмечается уменьшение дебита по мере истощения зоны влияния скважины, тогда как значительное количество полезного ископаемого все еще остается в пласте. Для активизации промышленного выделения субстанции применяется способ гидродинамического воздействия на соответствующий горизонт. При этом весьма важной становится проблема управления процессом с учетом влияния на окружающую среду. В этой связи актуальной является задача управления сбросом давления с целью предотвращения аварийного выхода рабочей жидкости на поверхность в районе нагнетательной скважины.

Анализ результатов ряда исследований [1,2] показывает, что неуправляемый сброс давления приводит к неконтролируемому выбросу большой массы загрязненной рабочей жидкости на значительные расстояния в районе скважины. Устранение указанных последствий возможно путем разработки системы автоматизированного управления процессом.

Цель работы – разработка и исследование алгоритма управления сбросом давления в нагнетательной скважине.

Постановка задачи. Учитывая сложный характер процесса, разработка современных методов расчета параметров и управления процессом возможна на основе теоретических и физических положений о движении жидкости в пористых массивах с применением методов вычислительной математики и средств вычислительной техники. При этом основным в исследованиях становится метод математического моделирования.

Эффективность применения метода определяется корректностью и степенью адекватности математической модели.

Исходные физические предпосылки к построению модели:

- воздействие осуществляется путем создания высокого давления в ограниченном пространстве, в котором концентрируются жидкость и воздух;
- целью воздействия является активизация газовыделения из обрабатываемого массива как средства дегазации;
- во время воздействия происходят механические процессы, в той или иной степени изменяющие состояние массива;
- по окончании собственно воздействия происходят процессы, обусловленные снятием (сбросом) давления, что вызывает ряд остаточных явлений, учет которых обязателен.

Основное содержание работы. Полная математическая модель процесса должна содержать комплекс математических зависимостей, на основе которых можно представить ход процесса и рассчитать его параметры.

В основу математической модели положено уравнение нелинейной нестационарной фильтрации жидкости в трещиновато-пористых анизотропных коллекторах [3, 4]:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k(P) \frac{\partial P}{\partial x} \right]; \quad (1)$$

введем безразмерные (нормированные) переменные:

$$\left. \begin{aligned} p^* &= \frac{P}{P_{xap}}; & P &= P_{xap} p^*; \\ x^* &= \frac{x}{L}; & x &= Lx^*; \\ k^* &= \frac{k(P)}{k_{xap}(P)}; & k(P) &= k_{xap}(P) \cdot k^*; \\ t^* &= \frac{t}{t_{xap}}; & t &= t_{xap} \cdot t^* \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где $P_{xap}, k_{xap}(P), t_{xap}$ - некоторые характерные значения соответствующих величин (часто максимальные, как, например, в данном случае для x : $x_{xap} = x_{max} = L$).

Подставляем полученные переменные в (1):

$$\frac{P_{xap}}{t_{xap}} \frac{\partial p^*}{\partial t^*} = \frac{k_{xap}(P) P_{xap}}{L^2} \frac{\partial}{\partial x^*} \left(k^* \frac{\partial p^*}{\partial x^*} \right); \quad (3)$$

Если положить:

$$t_{xap} = \frac{P_{xap} L^2}{k_{xap}(P)},$$

то получится:

$$\frac{\partial p^*}{\partial t^*} = \frac{\partial}{\partial x^*} \left(k^* \frac{\partial p^*}{\partial x^*} \right); \quad (4)$$

Как видно, уравнения (4) и (3) различны только в обозначениях, поэтому звездочки (*) можно опустить.

Итак, замена позволяет перейти к нормированным безразмерным переменным, уравнение записывается в виде:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial p}{\partial x} \right); \quad (5)$$

Таким же преобразованиям подвергаются начальные и граничные условия.

В данной работе для получения математической модели процесса гидродинамического воздействия уравнение (5) должно быть адаптировано с точки зрения конкретной технологии и целей воздействия, а также дополнено начальными и граничными условиями, которые, в свою очередь, определяются технологическими схемами и режимами обработки. Значит, постановка задачи исследования и расчета параметров процесса формируется в соответствии с конкретной технологической схемой.

Задача ставится следующим образом.

На расстоянии L от поверхности находится определенная масса жидкости, находящейся под давлением P_c , и в момент времени $t=0$ производится сброс давления, что вызывает движение жидкости к поверхности, где давление принимается равным 0.

Исходя из начальных условий, можно рассчитать распределение давления в любой момент времени. Критерием окончания может служить момент достижения фронтом фильтрации границы отрезка $0L$.

В рамках данной работы представляет интерес разработка методик инженерного расчета, позволяющих ориентировочно определить некоторые параметры. В частности, интерес представляет такая величина, как время (или последовательность) сброса давления с целью обеспечения такого завершения процесса, при котором минимизируется влияние на окружающую среду.

Для этого предлагается [4] решить задачу для единичных величин всех характеристик.

Давление жидкости к началу процедуры сброса:

$$P_c = P_{\max}.$$

Размерности входящих в уравнение величин должны быть, разумеется, согласованы. В данном случае:

$$[p] = 1 \text{ ат} = 1 \text{ кг/см}^2; [t] = 1 \text{ сек}; [k] = 1 \text{ мд} = 10^{-11} \text{ см}^2; [x] = 1 \text{ м} = 100 \text{ см};$$

$$[\mu] = 1 \text{ спз} = \frac{10^{-7} \text{ кгс} \cdot \text{сек}}{\text{г} \cdot \text{см}^2}; [n_{\text{э}}] = 1\%;$$

Вводим безразмерные величины, причем нормируем так, чтобы все они были не более 1 (таким путем мы перейдем к «единичным» величинам).

Время фильтрации определяется из следующих соображений. Процесс должен быть прекращен, когда жидкость достигнет устья скважины и появится возможность ее выхода на поверхность. Приняв L , можно рассчитать нормирующую величину по времени t_0 :

$$t_0 = \frac{\mu_0 n_{\text{э}} L^2}{k_0 P_c} \quad (6)$$

Учитывая размерности величин, получаем

$$T = \frac{10^3}{432} \cdot \frac{\mu_0 n_{\text{Э0}} L^2}{k_0 P_c}, \text{ час} \quad (7)$$

Используя приведенные теоретические результаты, будем рассматривать методику инженерного расчета для определения времени или процедуры сброса давления.

Примем следующие предположения, упрощающие задачу.

Будем считать, что входящие в (5) коэффициенты постоянны:

$$\mu = \text{const} = \mu_0 = 1 \text{ спз};$$

$$n_{\text{Э}} = \text{const} = n_{\text{Э0}} = 50\%;$$

$$k = \text{const} = k_0.$$

Значение k оказывает основное влияние на время T достижения фронтом жидкости устья скважины.

Для его определения в конкретных условиях можно решить обратную задачу— по фактическим данным о времени сброса определить среднее значение k :

$$k = \frac{10^3}{432} \cdot \frac{\mu_0 n_{\text{Э0}} L^2}{TP_c}.$$

Время сброса должно быть рассчитано так, чтобы в любой момент достижения фронтом жидкости устья скважины давление было равным 0 по всей длине отрезка $0L$.

Примем ориентировочно $k = 150 \cdot 10^5$ мд, $P_c = 50$ ат, $L = 1000$ м, тогда ориентировочное время движения фронта жидкости до устья:

$$T = \frac{10^3}{432} \cdot \frac{10^6 \cdot 50}{150 \cdot 10^5 \cdot 50} \approx 0,15 \text{ час} \approx 10 \text{ мин.}$$

За это время давление достигнет значения

$$P = 50e^{-0,15\delta}, \text{ ат};$$

приняв $\delta=1$, получим:

$$P_1 \approx 42 \text{ ат};$$

тогда
$$T_1 = \frac{10^3}{432} \cdot \frac{10^6 \cdot 50}{150 \cdot 10^5 \cdot 42} \approx 0,18 \text{ час} \approx 11 \text{ мин.}$$

$$P_2 = 42e^{-0,18} \approx 32 \text{ ат};$$

$$T_2 = \frac{10^3}{432} \cdot \frac{10^6 \cdot 50}{150 \cdot 10^5 \cdot 32} \approx 0,25 \text{ час} \approx 15 \text{ мин.}$$

$$P_3 = 32e^{-0,25} \approx 25 \text{ ат};$$

$$T_3 = \frac{10^3}{432} \cdot \frac{10^6 \cdot 50}{150 \cdot 10^5 \cdot 25} \approx 0,3 \text{ час} \approx 18 \text{ мин.}$$

$$P_4 = 25e^{-0,3} \approx 16 \text{ ат;}$$

$$T_4 = \frac{10^3}{432} \cdot \frac{10^6 \cdot 50}{150 \cdot 10^5 \cdot 16} \approx 0,5 \text{ час} \approx 30 \text{ мин.}$$

$$P_5 = 16e^{-0,5} \approx 9 \text{ ат;}$$

$$T_5 = \frac{10^3}{432} \cdot \frac{10^6 \cdot 50}{150 \cdot 10^5 \cdot 9} \approx 0,75 \text{ час} \approx 45 \text{ мин.}$$

Управление сбросом давления осуществляется таким образом, чтобы столб жидкости не опускался ниже продуктивного горизонта. Сброс давления во времени должен производиться либо ступенчато, либо с высоким показателем выполаживания экспоненты.

Периоды ступенчатого сброса рассчитываются в соответствии с выведенными формулами.

На рис. 1 приведен график сброса давления, соответствующий приведенным расчетам.

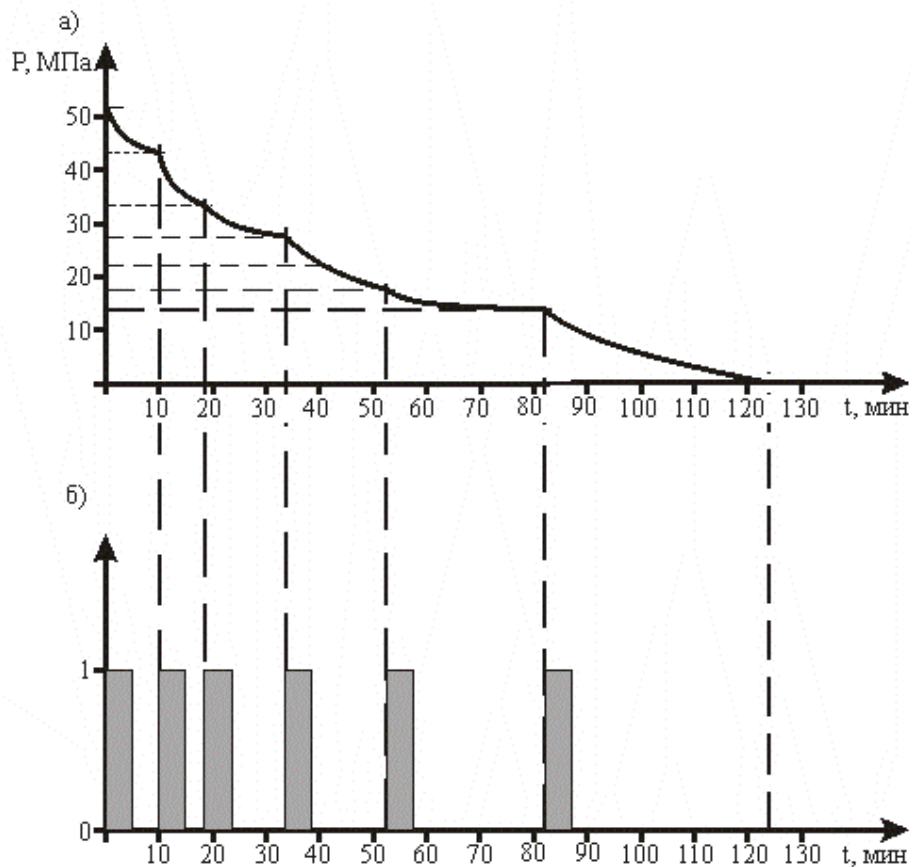


Рис. 1. График сброса давления: а) изменение давления $P(t)$;

б) 1 – задвижка открыта, 0 – закрыта

Если управлять сбросом в таком режиме неудобно по тем или иным причинам, его можно производить плавным снижением давления в течение времени

$$T_c = \sum T_i = 120 \text{ мин} = 2 \text{ час.}$$

Выводы

Таким образом, на основании теоретических представлений о процессе гидродинамического воздействия получены практические рекомендации по выбору технологических параметров и разработан алгоритм управления сбросом давления, при котором предотвращается отрицательное влияние процесса на прилегающую к нагнетательной скважине территорию.

Список литературы

1. Чередников В.В. Теоретическое обоснование алгоритма управления процессом гидродинамического воздействия на газонасыщенный пористый массив в условиях шахты им. А.Ф. Засядько / В.В. Чередников, К.К. Софийский // Сб. научн. тр.: «Геотехнологии и управление производством XXI века»: материалы II Международной научно-практической конференции (2-3 окт. 2007 г). – Донецк, 2007. – С. 46-51.
2. Применение пневмогидродинамического воздействия на углепородный массив через поверхностные дегазационные скважины для повышения экологической безопасности угледобывающих регионов / В.В. Чередников, П.Е. Филимонов, Б.В. Бокий и др. // «Екологічна безпека техногенно перевантажених регіонів. Оцінка та прогноз екологічних ризиків»: матеріали 5-ої науково-практичної конференції (7-11 юнія 2010). – К.: «Екологія наука техніка», 2010. – С. 49-54.
3. Механика насыщенных пористых сред / В.Н. Николаевский, К.С. Басниев, А.Т. Горбунов, и др. – М.: Недра, 1970. – 336 с.
4. Павлыш В.Н. Развитие теории и совершенствование технологии процессов воздействия на угольные пласты: монография / В.Н. Павлыш. – Донецк: РВА ДонНТУ, 2005. – 347 с.

Надійшла до редколегії 29.03.2012

В.М. Павлиш, Хасер Исмаїл Даєх

Донецький національний технічний університет, Донецьк

ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ ДІЇ НА ПІДЗЕМНІ АНІЗОТРОПНІ КОЛЕКТОРИ

Розглянуто задачу побудови алгоритму керування процесом скидання тиску при гідродинамічній обробці анізотропних глибинних пластів, насичених рідинними та газоподібними субстанціями, з метою активізації їх виділення у свердловини, пробурені з поверхні.

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

V.N. Pavlysh, Haser Ismail Daeh

Donetsk National Technical University, Donetsk

INVESTIGATION OF THE ALGORITHM OF CONTROL OF THE PROCESS OF HYDRODYNAMIC ACTION ON UNDERGROUND COLLECTORS

The problem of construction of an algorithm of control of reducing of press during hydrodynamic action of underground layers full of liquid and gas is considered.

Keywords: process, algorithm, mathematical model, control, press.