

УДК 537.874

DOI 10.24412/2413-7383-2024-4-55-64

Л. А. Лазебная

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий национальный технический университет»
283001, г. Донецк, ул. Артёма, 58

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК СПОСОБ ИМИТАЦИИ РЕАКЦИИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

L. A. lazebnaia

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
"Donetsk National Technical University"
283001, Donetsk, Artyoma str., 58

MATHEMATICAL MODELING AS A WAY TO SIMULATE THE REACTION OF A COAL SEAM TO HYDRODYNAMIC EFFECTS

В статье представлены детерминированные математические модели процесса гидравлического воздействия на угольный пласт, в основу которых положены уравнения нелинейно-упругой фильтрации жидкости в сплошной среде. Методом математического моделирования показано, что процесс увлажнения угольного пласта при гидравлическом воздействии через одиночную скважину обуславливает высокий уровень вариации прироста влажности в обрабатываемом массиве.

Ключевые слова: алгоритм, математическое моделирование, процесс, параметры, имитация.

The article presents deterministic mathematical models of the process of hydraulic action on a coal seam, which are based on the equations of nonlinear elastic filtration of liquid in a continuous medium. It is shown by mathematical modeling that the process of humidification of a coal seam under hydraulic action through a single well causes a high level of variation in the increase in humidity in the treated massif.

Key words: algorithm, mathematical modeling, process, parameters, simulation.

Введение

В комплексе методов решения задач борьбы с основными опасностями при подземной добыче угля очень важное место занимают процессы воздействия на угольные пласты, позволяющие изменить их состояние и за счет этого снизить интенсивность проявления опасных и вредных свойств.

В числе способов воздействия выделяются технологические (схемы вскрытия, системы разработки, порядок отработки пластов, управление проявлениями давления горных пород, системы проветривания) и специальные (предварительное гидравлическое воздействие, увлажнение, пневматическое, физико-химическое воздействие, дегазация, комплексное воздействие).

Эффективность процессов воздействия определяется степенью снижения проявлений основных опасных и вредных свойств угольного пласта при выемке угля.

Актуальность. Существенной особенностью угольного пласта как объекта воздействия, осуществляемого для целенаправленного изменения его состояния, является то, что он «закрыт» от непосредственного наблюдения, определить характеристики пласта без вмешательства в его структуру невозможно. Фактически, в данном случае объект воздействия – это угольный массив с ненаблюдаемыми параметрами, что требует нестандартных решений при реализации управления процессом воздействия.

Вместе с тем, в процессе воздействия имеет место необходимость отслеживать результаты обработки, чтобы обеспечить направленное изменение состояния обрабатываемого массива. Решение данной задачи может быть достигнуто путем математического моделирования процесса. В этой связи тема работы является актуальной.

Цель работы – обоснование математической модели процесса изменения состояния угольного пласта при его гидродинамической обработке.

Основное содержание. Важное значение в процессе обработки имеет возможность прогноза не всегда предсказуемой вариации параметров в результате реакции пласта на внешнее силовое воздействие.

Резкие колебания значений параметров процесса, вызванные характером изменения физических свойств и структуры угольного пласта, оказывают отрицательное влияние на качество обработки пласта жидкостями и эффективность процесса гидровоздействия как средства борьбы с проявлениями опасных и вредных свойств угольных массивов, и первой задачей системы управления процессом является стабилизация технологических параметров.

Вместе с тем, отмечается другой аспект проблемы, заключающийся в том, что выходные каналы насосов, подающих жидкость в скважины, непосредственно гидравлически связаны с входными каналами работающих скважин, при этом режим работы насосов во многом зависит от размаха колебаний давления на скважине и, соответственно, темпа нагнетания. В этой связи возникает опасность гидроудара, когда поток фильтрующейся жидкости встречается с водоупором, определяемым резким снижением проницаемости и этот феномен сопровождается катастрофическим ростом локального давления, которое передается к устью скважины и выхлопу насоса. Такого рода явления приводят к повышенному износу оборудования, следовательно, в системе управления процессом этот аспект должен быть предусмотрен и скомпенсирован.

Поскольку фактические значения проницаемости пласта в каждый конкретный момент определены быть не могут, ставится задача прогноза фильтрационных характеристик на основании математической модели, учитывающей стохастический характер изменения проницаемости.

Физика процесса такова, что в массиве происходят фазовые переходы, свидетельствующие об изменениях в структуре обрабатываемой зоны пласта. Одним из ключевых показателей, отражающих резкие изменения структуры на коротких промежутках пространства и времени, является наличие пиковых всплесков значений параметров воздействия, по величине и длительности которых формируется оценка состояния, используемая в прогнозной модели, а также для коррекции параметров базовой (исходной) модели.

Следует отметить, что по результатам воздействия может быть фактически определена структура обрабатываемого пласта, однако эта картина формируется уже после реализации процесса, т.е. когда объект воздействия фактически разрушен. Это лишний раз говорит о том, что управление подобным процессом возможно исключительно с применением математических моделей, которые закладываются в структуру САУ. В процессе функционирования они корректируются и могут быть использованы в режиме обучающих при построении соответствующих алгоритмов обучения и настройки систем управления воздействия на новые объекты.

Таким образом, математическое моделирование является базовым атрибутом системы автоматического управления, рассматриваемым сложным динамическим процессом.

Для формирования исходной математической модели рассматривается процесс гидравлического воздействия на пласт в режиме фильтрации через одиночную скважину, пробуренную впереди забоя, с учётом 1 пространственной координаты (в упрощённой формулировке – «одномерная» постановка).

На рис. 1 приведено схематическое изображение данной технологии.

Здесь:

h – мощность пласта;

$L_{л}$ – длина лавы;

l_c – длина скважины;

l_2 – глубина герметизации;

$l_{\phi} = l_c - l_2$ – длина фильтрующей части скважины;

l_3 – расстояние от скважины до линии забоя (опережение).

Математическая модель основывается на уравнении параболического типа. Для численного решения применяется метод конечных разностей.

Исходное уравнение записывается в виде:

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

Начальные и граничные условия формируются из следующих соображений. При данном расположении скважины (рис. 1 а) обрабатываемая зона ограничена, т.к. при длительном нагнетании жидкость выйдет на выработки, оконтуривающие массив угля, подвергаемый воздействию через скважину. Поэтому область фильтрации по оси X ограничена отрезком L , причем величина L может либо задаваться (когда известны размеры зоны, которую необходимо обработать одной скважиной), либо рассчитываться (когда задано ограниченное время обработки $T_{обр}$).

Следовательно, в качестве начальных условий задаются:

а) давление на скважине в начальный момент

$$P(x, t) \Big|_{x=0}^{t=0} = P(0, 0) = P_c; \quad (2)$$

б) распределение давления на отрезке $(0, L]$ при $t=0$

$$P(x, t) \Big|_{0 < x \leq L}^{t=0} = P(x, 0). \quad (3)$$

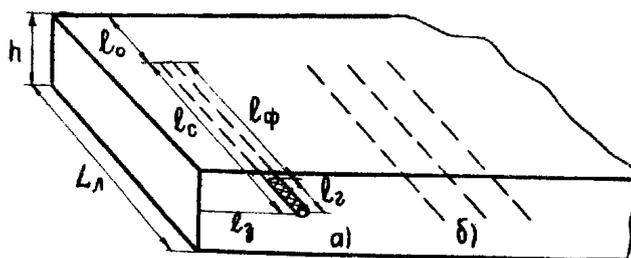


Рисунок 1 – Схема технологии гидравлического воздействия через опережающие скважины:
а) одиночная скважина; б) группа скважин

По смыслу, начальное распределение давления, очевидно, равно давлению газа в пласте: $P(x,0) = P_0$.

Краевые условия.

На левом конце ($x=0$) задается давление на скважине или темп нагнетания, причем эти величины могут быть либо постоянными, либо являться функциями времени:

$$P(x,t)|_{x=0} = P(0,t) = P_c(t) \quad (4)$$

или

$$\frac{k}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} \Big|_{x=0} = cq, \quad (5)$$

где

q – удельный расход (расход на единицу площади фильтрующей поверхности);
 c – коэффициент приведения, зависящий от размерности величин, входящих в выражение (5).

На правом конце ($x=L$) условия определяются схемой, а именно:

а) если на расстоянии L от нагнетательной скважины пробурена отточная скважина и исследуется движение жидкости от нагнетательной к отточной скважине, то в точке $x=L$ задается постоянное давление, равное давлению на выработке (обычно считают его равным атмосферному):

$$P(x,t)|_{x=L} = P(L,t) = P_K, \quad (6)$$

такое же условие задается, если рассматривать фильтрацию в сторону выработки, но при этом надо учитывать влияние опорного давления [1];

б) если исследовать движение жидкости по мощности пласта в сторону кровли (почвы), то на границе задается условие непроницаемости:

$$\frac{\partial P}{\partial x} \Big|_{x=L} = 0. \quad (7)$$

Решая уравнение (1) с начальными условиями, выбранными из (2) – (7) в соответствии с конкретной задачей исследования, можно найти распределение давления на отрезке $[0,L]$ в любой момент времени, что дает возможность рассчитывать параметры соответствующей схемы воздействия на пласт. При этом, как указывается в [2], решив задачу при некоторых нормированных условиях, можно получить решение большого класса задач, переход к которым осуществляется обратным пересчетом нормированных решений.

Область, внутри которой нужно отыскать функцию $p(x,t)$, покрывается сеткой, образованной прямыми, параллельными осям координат, а непрерывная функция $p(x,t)$ отыскивается в виде таблицы дискретных ее значений в узлах сетки [3], [4]:

$$\left. \begin{aligned} x_i &= i \cdot \Delta x; \quad i = 0,1,2,\dots,n \\ t_j &= j \cdot \Delta t; \quad j = 1,2,3,\dots \\ p(x,t) &\rightarrow \{p(x_i, t_j)\} = \{p_{i,j}\} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Аппроксимируем производные по неявной четырехточечной схеме [3]:

$$\frac{\partial p}{\partial t} \approx \frac{p_{i,j} - p_{i,j-1}}{\Delta t}, \quad (9)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial p}{\partial x} \right) \approx \frac{k_{i+0,5,j} p_{i+1,j} - (k_{i+0,5,j} + k_{i-0,5,j}) p_{i,j} + k_{i-0,5,j} p_{i-1,j}}{\Delta x^2}. \quad (10)$$

Приравняв (10) и (9), получим:

$$\frac{\Delta t}{\Delta x^2} k_{i+0,5,j} p_{i+1,j} - \left[\frac{\Delta t}{\Delta x^2} (k_{i+0,5,j} + k_{i-0,5,j}) + 1 \right] p_{i,j} + \frac{\Delta t}{\Delta x^2} k_{i-0,5,j} p_{i-1,j} = -p_{i,j-1}. \quad (11)$$

Решение полученной системы находится методом прогонки [3].

Поскольку коэффициент $k(p)$ является функцией давления, необходимо применять итерационный процесс. В качестве первого приближения задается значение давления на предыдущем шаге по времени, затем итерационный расчет повторяется до тех пор, пока не будет достигнута заданная точность.

Таким образом, исходя из начальных условий, можно рассчитать распределение давлений в любой момент времени. Критерием окончания может служить момент достижения фронтом фильтрации границы отрезка $0L$. Для контроля за процессом выполнения расчета можно использовать метод материального баланса и другие методы [3], [4]. На рис. 2 приведена обобщенная блок-схема алгоритма.

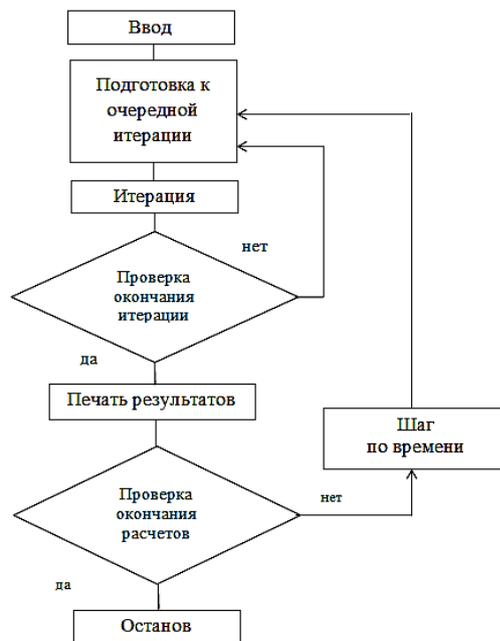


Рисунок 2 - Обобщенная блок-схема алгоритма моделирования процесса «одномерной» фильтрации

Решение задачи в «одномерной» постановке даёт возможность получать любые решения при соответствующей адаптации. В случае исследования процесса обработки угольного массива в плоскости Oxy необходимо использовать «двумерную» модель

Результаты моделирования

Для решения задачи математического моделирования процесса гидравлического воздействия на пласт через опережающие скважины в режиме фильтрации при «двумерной» (плоскостной) постановке задачи применяется схема продольно-поперечных направлений (схема Дугласа) [3].

Уравнение представляется в виде:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k(p) \frac{\partial p}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k(p) \frac{\partial p}{\partial y} \right]. \quad (12)$$

Область определения функции $p(x, y, t)$ покрывается сеткой:

$$x_i = i \cdot \Delta x, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n;$$

$$y_j = j \cdot \Delta y, \quad j = 0, 1, 2, \dots, m;$$

$$t_k = k \cdot \Delta t, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Каждый шаг по времени осуществляется в два приема.

$$1) \quad \frac{p_{i,j}^{k+0,5} - p_{i,j}^k}{0,5 \cdot \Delta t} = \frac{1}{\Delta x^2} \left(k_{i+0,5,j}^{k+0,5} p_{i+1,j}^{k+0,5} - (k_{i+0,5,j}^{k+0,5} + k_{i-0,5,j}^{k+0,5}) p_{i,j}^{k+0,5} + k_{i-0,5,j}^{k+0,5} p_{i-1,j}^{k+0,5} \right) + \\ + \frac{1}{\Delta y^2} \left(k_{i,j+0,5}^k p_{i,j+1}^k - (k_{i,j+0,5}^k + k_{i,j-0,5}^k) p_{i,j}^k + k_{i,j-0,5}^k p_{i,j-1}^k \right); \quad (13)$$

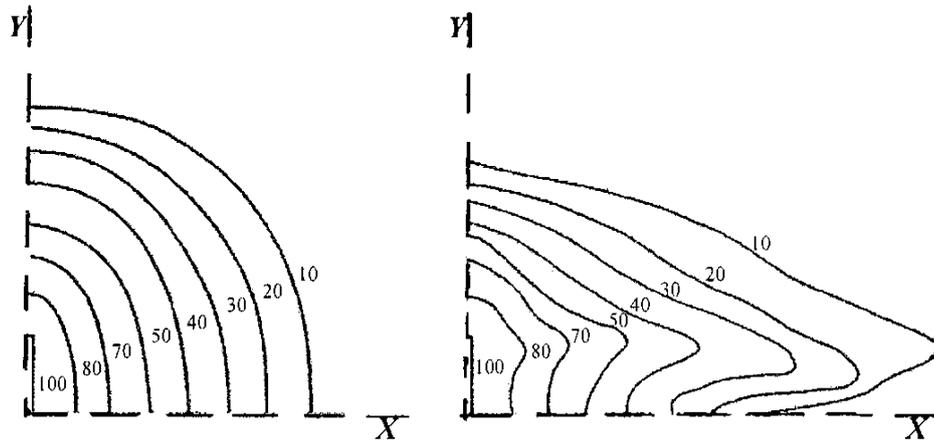
$$2) \quad \frac{p_{i,j}^{k+0,5} - p_{i,j}^k}{0,5 \cdot \Delta t} = \frac{1}{\Delta x^2} \left(k_{i+0,5,j}^{k+0,5} p_{i+1,j}^{k+0,5} - (k_{i+0,5,j}^{k+0,5} + k_{i-0,5,j}^{k+0,5}) p_{i,j}^{k+0,5} + k_{i-0,5,j}^{k+0,5} p_{i-1,j}^{k+0,5} \right) + \\ + \frac{1}{\Delta y^2} \left(k_{i,j+0,5}^{k+1} p_{i,j+1}^{k+1} - (k_{i,j+0,5}^{k+1} + k_{i,j-0,5}^{k+1}) p_{i,j}^{k+1} + k_{i,j-0,5}^{k+1} p_{i,j-1}^{k+1} \right); \quad (14)$$

Исследование схем удобно производить с масштабированными (нормированными) переменными.

На рис. 3 приведены результаты решения задачи в виде рассчитанных линий равного давления (в процентах от давления на скважине) в области воздействия. На рис. 3 а приведены результаты моделирования при постоянном значении коэффициента проницаемости ($k = Const$).

Однако, как отмечалось выше, проницаемость пласта различается не только вдоль различных осей. Структура пласта весьма сложна, и картины фильтрации, полученные выше, дают идеализированное представление о характере процесса.

При такой форме области воздействия распространение влаги должно происходить равномерно, чего на самом деле не наблюдается. Следовательно, необходимо так подобрать параметры модели, чтобы получить более реальную картину процесса.



а) одиночная скважина, $k=Const$; б) одиночная скважина, $k=Var$

Рисунок 3 - Результаты моделирования процесса воздействия через одиночную скважину при постоянном и варьируемом значениях проницаемости

Выводы

Сформированы детерминированные математические модели процесса гидравлического воздействия на угольный пласт, в основу которых положены уравнения нелинейно-упругой фильтрации жидкости в сплошной среде.

Методом математического моделирования показано, что процесс увлажнения угольного пласта при гидравлическом воздействии через одиночную скважину обуславливает высокий уровень вариации прироста влажности в обрабатываемом массиве. Повышение равномерности увлажнения обеспечивается учетом коэффициента проницаемости пласта как переменной величины стохастического характера.

Список литературы

1. Павлыш В.Н., Штерн Ю.М. Основы теории и параметры технологии процессов гидропневматического воздействия на угольные пласты / монография.– Донецк : ВИК, 2007. – 400с.
2. Физико-технические основы процессов гидравлического воздействия на угольные пласты / монография / В.Н. Павлыш, С.С. Гребенкин. – Донецк : ВИК, 2006. – 269с.
3. Самарский А.А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1977. – 656с.
4. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1977. – 736с.
5. В. Н. Павлыш, И. В. Тарабаева, Л. А. Лазебная. Алгоритмы функционирования и технические элементы подсистемы автоматизированного управления процессом нагнетания жидкости в угольный пласт. // Проблемы искусственного интеллекта – Донецк 2017 3(6) – С. 32-39.
6. В. Н. Павлыш, Е. В. Перинская. Математическое моделирование процессов функционирования специализированных аппаратов конвективного типа / В. Н. Павлыш, Е. В. Перинская. // Проблемы искусственного интеллекта – Донецк 2015 0(1) – С. 89-101.
7. В. Н. Павлыш, А. В. Гром. Дискретное моделирование анизотропной сплошной среды. // Проблемы искусственного интеллекта – Донецк 2023 1(28) – С. 43-49.
8. В. Н. Павлыш, И. В., Л. А. Лазебная. Математические модели и алгоритмы управления процессами динамического воздействия на анизотропные подземные массивы// Проблемы искусственного интеллекта – Донецк 2019 2(13) – С. 4-13.
9. Л. А. Лазебная. Математические модели и вычислительные алгоритмы в системе управления аэрогидродинамическими процессами в анизотропной среде // Проблемы искусственного интеллекта – Донецк 2022 3(26) – С. 14-27.

10. В. Н. Павлыш, Г. Б. Перетолчина. Математическое моделирование нестационарных процессов в среде с нечётко определёнными параметрами // Проблемы искусственного интеллекта – Донецк 2018 2(9) – С. 33-45.
11. В. Н. Павлыш, И. В. Тарабаева. Математическое моделирование процессов тепломассопереноса в подвижном слое // Проблемы искусственного интеллекта – Донецк 2017 2(5) – С. 70-77.
12. Е. В. Перинская. Применение метода вычислительного эксперимента к исследованию параметров конвективных процессов // Проблемы искусственного интеллекта – Донецк 2021 3(22) – С. 57-65.
13. В. Н. Павлыш, С. А. Зори, Е. И. Бурлаева. Задача классификации информации при формировании баз данных в компьютерных обучающих системах процессов // Проблемы искусственного интеллекта – Донецк 2018 4(11) – С. 71-81.
14. В. Н. Павлыш, Г. И. Турчанин, О. А. Тихонова. Модификация компьютерных методов представления и анализа геотехнической информации. // Проблемы искусственного интеллекта – Донецк 2016 1(2) – С. 15-24.
15. В. Н. Павлыш, С. В. Сторожев. Математическое моделирование в задачах устойчивости на основе теории нечетко-множественного анализа. // Проблемы искусственного интеллекта – Донецк 2021 2(21) – С. 44-51
16. В. Н. Павлыш, И. В. Тарабаева. Математическое моделирование процесса движения газовоздушной смеси в сплошной среде (на примере угольного пласта) // Проблемы искусственного интеллекта – Донецк 2018 3(10) – С. 104-111.

References

1. Pavlysh V.N., Stern Yu.M. Fundamentals of theory and parameters of technology of processes of hydropneumatic action on coal seams / monograph.– Donetsk : VIC, 2007. – 400s.
2. Physico-technical foundations of the processes of hydraulic action on coal seams / monograph / V.N. Pavlysh, S.S. Grebenkin. Donetsk : VIC, 2006. – 269s.
3. Samarsky A.A. Theory of difference schemes. – M.: Nauka, 1977. – 656s.
4. Tikhonov A.N., Samarsky A.A. Equations of mathematical physics. – M.: Nauka, 1977. – 736s.
5. V. N. Pavlysh, I. V. Tarabaeva, L. A. Lazebnaya. Algorithms of functioning and technical elements of the subsystem of automated control of the process of injection of liquid into the coal seam. / Problems of artificial intelligence – Donetsk 2017 3(6) – pp. 32-39.
6. V. N. Pavlysh, E. V. Perinskaya. Mathematical modeling of the processes of functioning of specialized convective type apparatuses / V. N. Pavlysh, E. V. Perinskaya. // Problems of artificial intelligence – Donetsk 2015 0(1) – pp. 89-101.
7. V. N. Pavlysh, A.V. Grom. Discrete modeling of an anisotropic continuous medium. / Problems of artificial intelligence – Donetsk 2023 1(28) – pp. 43-49.
8. V. N. Pavlysh, I. V., L. A. Lazebnaya. Mathematical models and algorithms for controlling the processes of dynamic impact on anisotropic underground massifs// Problems of artificial intelligence – Donetsk 2019 2(13) – pp. 4-13.
9. L. A. Lazebnaya. Mathematical models and computational algorithms in the control system of aerohydrodynamic processes in an anisotropic environment // Problems of artificial intelligence – Donetsk 2022 3(26) – pp. 14-27.
10. V. N. Pavlysh, G. B. Peretolchina. Mathematical modeling of nonstationary processes in an environment with vaguely defined parameters // Problems of artificial intelligence – Donetsk 2018 2(9) – pp. 33-45.
11. V. N. Pavlysh, I. V. Tarabaeva. Mathematical modeling of heat and mass transfer processes in a mobile layer // Problems of artificial intelligence – Donetsk 2017 2(5) – pp. 70-77.
12. E. V. Perinskaya. Application of the computational experiment method to the study of parameters of convective processes // Problems of artificial intelligence – Donetsk 2021 3(22) – pp. 57-65.
13. V. N. Pavlysh, S. A. Zori, E. I. Burlaeva. The task of classifying information in the formation of databases in computer learning systems of processes // Problems of artificial intelligence – Donetsk 2018 4(11) – pp. 71-81.
14. V. N. Pavlysh, G. I. Turchanin, O. A. Tikhonova modification of computer methods of representation and analysis of geotechnical information. // Problems of artificial intelligence – Donetsk 2016 1(2) – pp. 15-24.
15. V. N. Pavlysh , S. V. Storozhev. Mathematical modeling in stability problems based on the theory of fuzzy multiple analysis. // Problems of artificial intelligence – Donetsk 2021 2(21) – pp. 44-51.
16. V. N. Pavlysh, I. V. Tarabaeva. Mathematical modeling of the process of movement of a gas–air mixture in a continuous medium (on the example of a coal seam) // Problems of artificial intelligence – Donetsk 2018 3(10) - pp. 104-111

RESUME

L. A. Lazebnaya

Computational algorithm for assessing the efficiency of protection against electromagnetic fields depending on the parameters of shielding materials

In the complex of methods for solving problems of combating the main hazards in underground coal mining, the processes of influencing coal seams occupy a very important place, allowing them to change their condition and thereby reduce the intensity of dangerous and harmful properties. Among the methods of influence, technological (opening schemes, development systems, the procedure for mining formations, control of rock pressure manifestations, ventilation systems) and special (preliminary hydraulic action, humidification, pneumatic, physico-chemical action, degassing, complex action) are distinguished. The effectiveness of the impact processes is determined by the degree of reduction in the manifestations of the main dangerous and harmful properties of the coal seam during coal mining. The purpose of the work is to substantiate a mathematical model of the process of changing the state of a coal seam during its hydrodynamic treatment..

The article presents deterministic mathematical models of the process of hydraulic action on a coal seam, which are based on the equations of nonlinear elastic filtration of liquid in a continuous medium. It is shown by mathematical modeling that the process of humidification of a coal seam under hydraulic action through a single well causes a high level of variation in the increase in humidity in the treated massif.

To solve the problem of mathematical modeling of the process of hydraulic impact on the reservoir through advanced wells in the filtration mode with a "two-dimensional" (planar) formulation of the problem, a scheme of longitudinal and transverse directions (Douglas scheme) is used. The results of solving the problem are presented in the form of calculated lines of equal pressure (as a percentage of the pressure at the well) in the impact area. The simulation results are presented at a constant value of the permeability coefficient ($k = \text{Const}$).

Deterministic mathematical models of the process of hydraulic action on the coal seam have been formed, which are based on the equations of nonlinear elastic filtration of liquid in a continuous medium. It is shown by mathematical modeling that the process of humidification of a coal seam under hydraulic action through a single well causes a high level of variation in the increase in humidity in the treated massif. The increase in the uniformity of humidification is ensured by taking into account the permeability coefficient of the formation as a variable of a stochastic nature.

РЕЗЮМЕ

Л. А. Лазебная

Математическое моделирование как способ имитации реакции угольного пласта на гидродинамическое воздействие

В комплексе методов решения задач борьбы с основными опасностями при подземной добыче угля очень важное место занимают процессы воздействия на угольные пласты, позволяющие изменить их состояние и за счет этого снизить интенсивность проявления опасных и вредных свойств.

В числе способов воздействия выделяются технологические (схемы вскрытия, системы разработки, порядок отработки пластов, управление проявлениями давления горных пород, системы проветривания) и специальные (предварительное гидравлическое воздействие, увлажнение, пневматическое, физико-химическое воздействие, дегазация, комплексное воздействие).

Эффективность процессов воздействия определяется степенью снижения проявлений основных опасных и вредных свойств угольного пласта при выемке угля.

Цель работы - обоснование математической модели процесса изменения состояния угольного пласта при его гидродинамической обработке.

В статье представлены детерминированные математические модели процесса гидравлического воздействия на угольный пласт, в основу которых положены уравнения нелинейно-упругой фильтрации жидкости в сплошной среде.

Методом математического моделирования показано, что процесс увлажнения угольного пласта при гидравлическом воздействии через одиночную скважину обуславливает высокий уровень вариации прироста влажности в обрабатываемом массиве.

Для решения задачи математического моделирования процесса гидравлического воздействия на пласт через опережающие скважины в режиме фильтрации при «двумерной» (плоскостной) постановке задачи применяется схема продольно-поперечных направлений (схема Дугласа). Приведены результаты решения задачи в виде рассчитанных линий равного давления (в процентах от давления на скважине) в области воздействия. Приведены результаты моделирования при постоянном значении коэффициента проницаемости ($k = Const$).

Сформированы детерминированные математические модели процесса гидравлического воздействия на угольный пласт, в основу которых положены уравнения нелинейно-упругой фильтрации жидкости в сплошной среде.

Методом математического моделирования показано, что процесс увлажнения угольного пласта при гидравлическом воздействии через одиночную скважину обуславливает высокий уровень вариации прироста влажности в обрабатываемом массиве. Повышение равномерности увлажнения обеспечивается учетом коэффициента проницаемости пласта как переменной величины стохастического характера.

Лазебная Л. А. - к.т.н., доцент ФГБОУ ВО ДонНТУ, кафедра прикладной математики и искусственного интеллекта, 283001, Донецк, ул. Артема, 58, тел. +7(949) 334-9184, L_Lazebnay@mail.ru

Область научных интересов: математическое моделирование процессов в сложных технических системах и численное решение задач гидрогазодинамики

Статья поступила в редакцию 31.10.2024.