УДК 534

В.Ю. ЛАРИН[1], М.А. КИРИЧЕНКО[2]

[1]Национальный авиационный университет, Киев, Украина
[2]Донецкий национальный технический университет Донецк,Украина

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНОСТИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

В статье исследуется математическая модель прохождения сейсмических колебаний в угольном пласте. Получены сейсмограммы, характеризующие структуру угольного пласта. Математическая модель реализовывалась в среде графического программирования Lab-VIEW, что позволило наглядно увидеть получаемый отклик, на задаваемое возмущение в какой либо точке моделируемого пласта. Применить среду графического программирования Lab-VIEW для решения волновых уравнений позволило использование метода конечных разностей, суть которого заключается в разложении частных производных в ряд Тейлора и получение конечно-разностного аналога с известным порядком точности. Это позволяет достаточно просто перейти от дифференциального представления к алгебраическому, и используя циклические итерационные алгоритмы, получить решение в виде дискретных числовых значений искомой функции и аргумента.

Ключевые слова: *волновое уравнение, угольный пласт, математическая модель, сейсмические колебания, сейсмограммы, неоднородность.*

Введение

Для увеличения машинного времени работы угольного комбайна необходимо регулировать скорость его подачи с учетом коэффициента сопротивляемости угля резанию.

Данная работа направлена на определение структуры неоднородности вырабатываемого угольного массива в реальном времени, что позволит вырабатывать решения на изменение скорости подачи комбайна. Это предупредит быстрый износ режущего органа и увеличит машинное время его работы.

В связи со сказанным работа весьма актуальна.

В последнее время компьютерная техника используется на каждом из этапов проектирования.

Очередным прорывом в этой области является среда графического программирования Lab-VIEW, которая позволяет применять революционные методы разработки масштабируемых приложений для задач тестирования, измерений и управления [1].

1. Анализ известных решений

Сейсмоакустическое волновое поле в углепородном массиве может быть описано системой линейных дифференциальных уравнений (1) волны P, SV и Релея [2]

Конечно-разностное разложение дифференциальных уравнений (1) представляется в виде (2)

$$\begin{cases} u_{t+1} + 2\beta u_t + \beta^2 u_{t-1} = \\ \quad = (au_x)_x + (bw)_{xz} + (cu_z)_z - gw_x; \\ w_{t+1} + 2\beta w_t + \beta^2 w_{t-1} = \\ \quad = (aw_x)_x + (bu)_{xz} + (cw_z)_z - gu_x, \end{cases} \tag{1}$$

где $a = V^2_p$ – скорость P- волн в квадрате; $b = V^2_p - V^2_s$ – разность квадратов скоростей P и S волн; $c = V^2_s$ – скорость S – волн в квадрате; g – ускорение свободного падения; β – коэффициент затухания, передающий эффекты диссипации и рассеяния колебаний; u, w– смешения по x и z- координатам;

$$\begin{aligned} \hat{u}_{i,j} = {} & \frac{\tau^2}{h^2(1+\beta\tau)}(a_{i+1/2,j}u_{i+1,j} + a_{i-1/2,j}u_{i-1,j} + \\ & + c_{i,j+1/2}u_{i,j+1} + c_{i,j-1/2}u_{i,j-1}) + \\ & + [\frac{2+\beta^2\tau^2}{1+\beta\tau} - \frac{\tau^2}{h^2(1+\beta\tau)}(a_{i+1/2,j} + a_{i-1/2,j} + \\ & + c_{i,j+1/2} + c_{i,j-1/2})]u_{i,j} + \\ & + \frac{\tau^2}{4h^2(1+\beta\tau)}(b_{i+1,j+1}w_{i+1,j+1} + b_{i-1,j-1}w_{i-1,j-1} - \\ & - b_{i+1,j-1}w_{i+1,j-1} - b_{i-1,j+1}w_{i-1,j+1}) - \\ & - g\frac{\tau^2}{2h^2(1+\beta\tau)}\left(w_{i+1,j} - w_{i-1,j}\right) - \frac{1-\beta\tau}{1+\beta\tau}\breve{u}_{i,j}; \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} \hat{w}_{i,j} = {} & \frac{\tau^2}{h^2(1+\beta\tau)}(c_{i+1/2,j}w_{i+1,j} + c_{i-1/2,j}w_{i-1,j} + \\ & + a_{i,j+1/2}w_{i,j+1} + a_{i,j-1/2}w_{i,j-1}) + \end{aligned}$$

$$
+[\frac{2+\beta^2\tau^2}{1+\beta\tau}-\frac{\tau^2}{h^2(1+\beta\tau)}(c_{i+1/2,j}+c_{i-1/2,j}+
$$

$$
+a_{i,j+1/2}+a_{i,j-1/2})]w_{i,j}+
$$

$$
+\frac{\tau^2}{4h^2(1+\beta\tau)}(b_{i+1,j+1}u_{i+1,j+1}+b_{i-1,j-1}u_{i-1,j-1}-
$$

$$
-b_{i+1,j-1}u_{i+1,j-1}-b_{i-1,j+1}u_{i-1,j+1})-
$$

$$
-g\frac{\tau^2}{2h^2(1+\beta\tau)}\left(u_{i+1,j}-u_{i-1,j}\right)-\frac{1-\beta\tau}{1+\beta\tau}\breve{w}_{i,j},
$$

где τ и h – шаг дискретизации модели по времени и координатам плоскости XOZ; t – текущее время развития колебательного процесса; $i=1,2,\ldots,N$; $j=1,2,\ldots M$; $N=[X^{гр}/h]$, $M=[Z^{гр}/h]$; $X^{гр}, Z^{гр}$ – границы модели по x и z – координатам.

Известный метод позволяет получать отклики на задаваемые возмущения с целью использования их для построения характеристик пласта в пределах шахтного поля. Однако, для управления скоростью подачи комбайном необходим экспресс-контроль неоднородности пласта, определяемый в реальном времени.

2. Моделирования прохождения сейсмической волны в среде LabView

При решении волнового уравнения конечно-разносным способом, для вычисления каждого последующего значения необходимо знать решение в двух предыдущих слоях.

На рис. 1 показана схема решения.

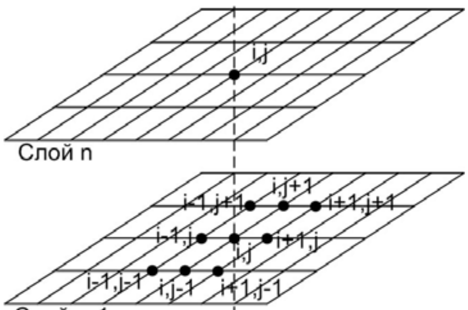
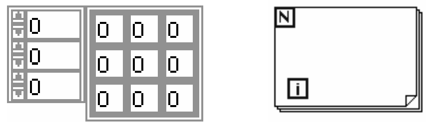


Рис. 1. Схематическое отображения хода решения

Для вычисления значения n-ого слоя в позиции (i:j), необходимо знать значение решения в слое n-1 позиций: (i:j), (i+1:j), (i:j+1), (i-1:j), (i:j-1), (i+1:j+1), (i-1:j-1), (i+1:j-1), (i-1:j+1); и в слое n-2 позиции (i:j). Когда значения координаты точки i или j принимают значения 1, либо N или M соответственно, решение в этой точке принимается как нулевое. Это сделано для упрощения решения с целью, чтобы избежать учёта влияния граничных явлений, например, при достаточно больших значениях N и M решения, получаемые в удалении от границ модели достаточно точны. Каждый n-й слой – это время развития колебательного процесса. Вносить возмущающее воздействие можно в любой точке системы, за исключением её границ.

Построим модель этого волнового уравнения в Lab-VIEW. Поскольку для решения каждого последующего слоя необходимо знать решение двух предыдущих слоёв – создаём 3-х мерный массив (array constant), который будет содержать решения (рис. 2, а).



а б

Рис. 2. Внешний вид элемента Array (а) и элемент вложенного цикла For Loop (б)

Затем задаёмся необходимым возмущением, занося его в нужную позицию массива при помощи Replace Array Subset. В дальнейшем этот же элемент (Replace Array Subset) будет использоваться для занесения значений вычисленных результатов (рис. 3).

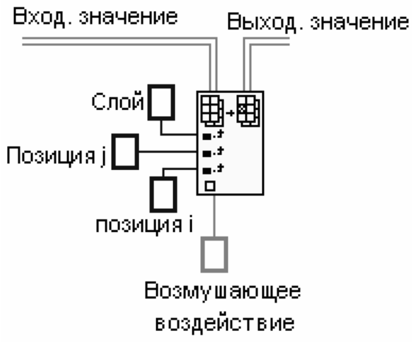


Рис. 3. Replace Array Subset

Для выбора нужного значения в слое необходимо создать три вложенных цикла (For Loop), изображенных на рис 3, б два из которых перебирают позицию в слое, а 1 пройденное время.

Выражения $\frac{\tau^2}{h^2(1+\beta\tau)}$ и $\frac{2+\beta^2\tau^2}{1+\beta\tau}$ реализуются при помощи арифметических функций (рис. 4, 5).

Перебор решетки реализуется при помощи элемента Index Array, на вход которого подаётся значения j, i и сам массив, на выходе этого элемента получаем значение в соответствующем слое и позиции (рис. 6).

Реализация выделения всех 10 значений массива представлена на рис. 7.

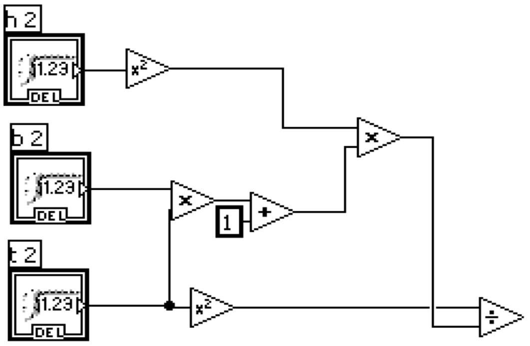


Рис. 4. Реалізация выражения $\dfrac{\tau^2}{h^2(1+\beta\tau)}$

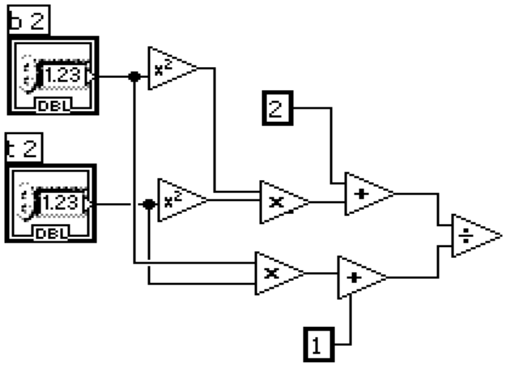


Рис. 5. Реализация выражения $\dfrac{2+\beta^2\tau^2}{1+\beta\tau}$

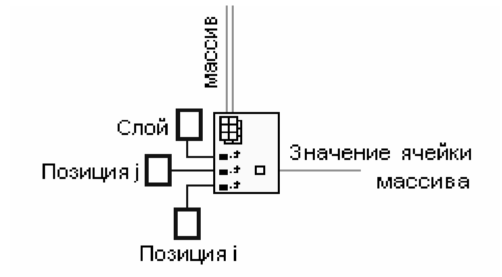


Рис. 6. Index Array

После вычисления всего слоя нижний слой ставится вместо верхнего и в него будут записываться свежие данные, а средний слой смещается вниз (рис. 8). Затем процедура повторяется.

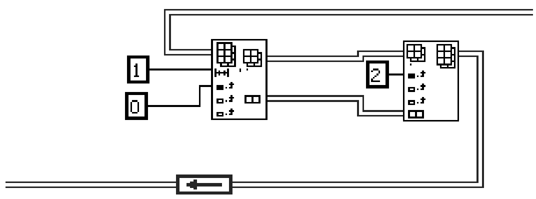


Рис. 8. Сдвиг и замещение слоёв массива

Результаты моделирования (рис. 9, 10) позволяют наглядно посмотреть на амплитуду сейсмической волны и скорость затухания.

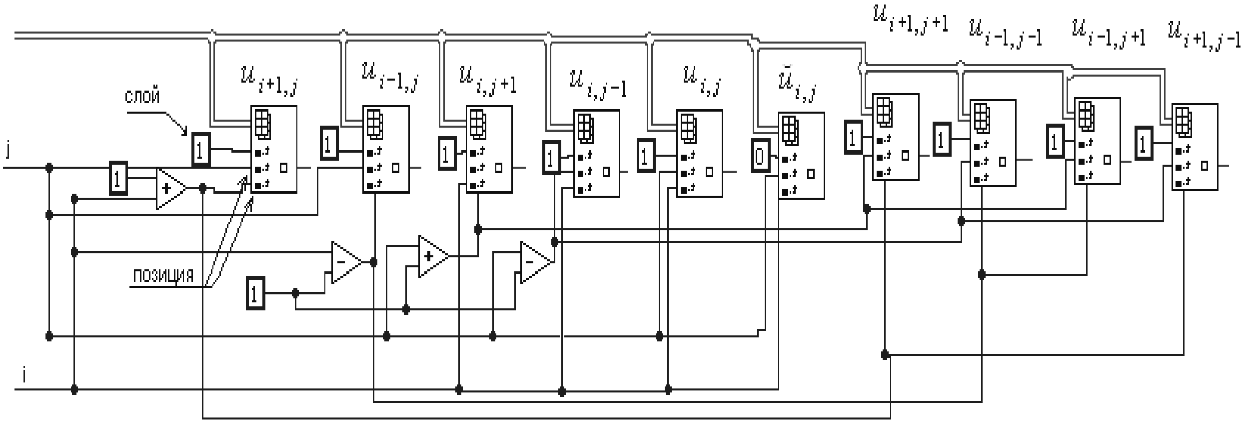


Рис. 7. Выделение значений массива

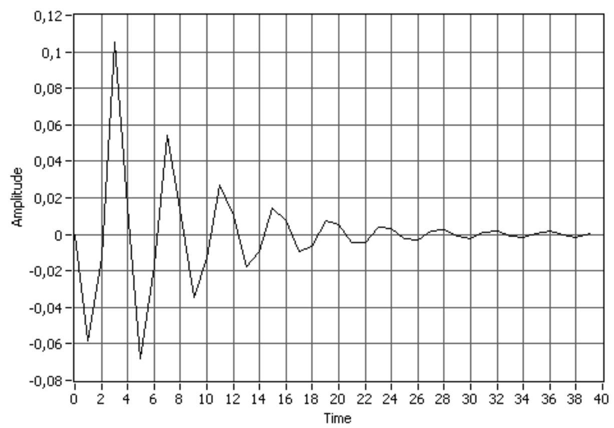


Рис. 9. Отклик на возмущение по оси X

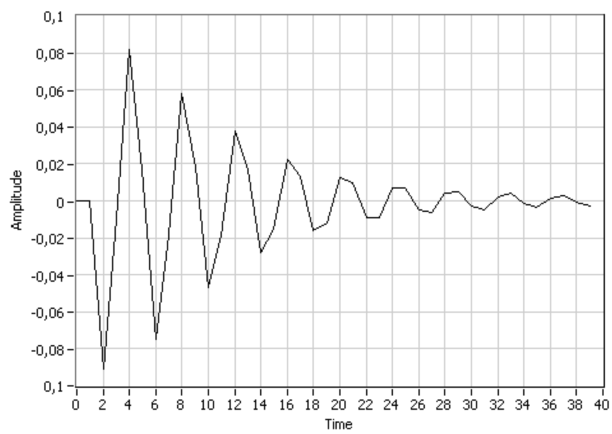


Рис. 10. Отклик на возмущение по оси Y

Заключение

Результаты математического моделирования прохождения сейсмических колебаний в угольном пласте, позволяют получить информативный отклик в любой точке пласта на задаваемое возмущение. Разработанный математический аппарат позволяет получить сейсмограммы в трехмерном пространстве по ходу движения комбайна, идентифицировать их и использовать их в системе интеллектуального управления комбайном. Управление скоростью подачи комбайном с учетом оценок структуры пласта с помощью разработанной математической модели обеспечивает повышение производительности и надежности работы угольного комбайна, а также равномерное продвижение линии забоя, что в свою очередь повысит также безопасность ведения горных работ. Получаемые с помощью математической модели данные позволяют определять коэффициент сопротивления угля резанию для выбора уставок на изменение скорости подачи.

Литература

1. *Жарков Ф.П. Использование виртуальных инструментов Lab-VIEW / Ф.П. Жарков, В.А. Каратаев, В.Ф. Никифоров, В.С. Панов. – М.: Радио и связь, 1999. - 68 с.*

2. *Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки / А.В. Анциферов. – Донецк: ТОВ «АЛАН», 2003. – 312 с.*

3. *Алешкевич В.А. Колебания и волны. Лекции (университетский курс общей физики) / В.А. Алешкевич, Л.Г. Деденко, В.А. Караваев. – М.: Физический факультет МГУ, 2001. – 144 с.*

Поступила в редакцию 20.09.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. кафедры электронной техники Н.И. Чичикало, Донецкий национальный технический университет, Донецк.

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ НЕОДНОРІДНОСТІ ВУГІЛЬНОГО ПЛАСТА

В.Ю. Ларін, М.О. Кириченко

У статті досліджується математична модель проходження сейсмічних коливань у вугільному пласті. Отримані сейсмограми, що характеризують структуру вугільного пласта. Математична модель реалізовувалася в середовищі графічного програмування LAB-VIEW, що дозволило наочно побачити отримуваний відгук, на обурення, що задається, в якій або точці модельованого пласта. Застосувати середовище графічного програмування LAB-VIEW для вирішення хвильових рівнянь дозволило використання методу кінцевих різниць, суть якого полягає в розкладанні приватних похідних в ряд Тейлора і отримання кінцеворізницевого аналога з відомим порядком точності. Це дозволяє досить просто перейти від диференціального уявлення до алгебри, і використовуючи циклічні ітераційні алгоритми, отримати рішення у вигляді дискретних числових значень шуканої функції і аргументу.

Ключові слова: хвильове рівняння, вугільній пласт, математична модель, сейсмічні коливання, сейсмограмі, неоднорідний

ELABORATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE SYSTEM WHICH ENDICATES INHOMOGINEOUSNESS OF THE COAL LAYER

V.J. Larin, M.A. Kirichenko

In this article the mathematical model of transmitijn of seismic vibrations in the coal layer is used. Seismograms which characterize the structure of the coal layer have been received. The mathematical model was realized in the environment of graphical programming Lab-VIEW which allow to see evidently the received response on the set distarbunce at any point of the modeling layer. For appling the environment of the graphic programming Lab-VIEW for the decision of waving equation the method of the final differences was used.

Key words: wave equation, coal layer, mathematical model, seismic vibrations, seismograms, inhomogeneousnees

Ларин Виталий Юрьевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры аэронавигационных систем Национального авиационного университета, Киев, Украина.

Кириченко Максим Александрович – магистрант кафедры электронной техники, Донецкий национальный технический университет «ДонНТУ», Донецк, Украина, e-mail: max_dn@mail.ru.