

УДК 622.23.05: 622.235

Б.М. Кенжин, М.А. Журунова, С.С. Саттаров

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ ПРИ ШАХТНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ**

Исследовано взаимодействие генератора механических колебаний — вибрационно-сейсмического модуля — с углепородным массивом. Установлены качественные и количественные зависимости распространения упругих сейсмических колебаний в углепородном массиве.

Ключевые слова: углепородный массив, чередующиеся импульсы, математическая модель.

В результате аналитических, комплексных и экспериментальных исследований по разработке адаптивного метода воздействия на углепородный массив, установления внутренних параметров и выходных показателей пульсационных гидравлических исполнительных органов и параметров их взаимодействия с массивом установлены аналитические зависимости и их графические интерпретации, которые должны быть проверены на соответствие натурным значениям. В силу того, что проведение экспериментальных исследований в шахтных условиях связано со значительными, и зачастую оправданными с производственной точки зрения трудностями, проводится компьютерный эксперимент. Такой подход при создании новой техники и технологий для различных отраслей промышленности не нов.

Сущность исследований заключается в следующем.

Для экспериментальной проверки полученных теоретическим путем результатов был использован лицензионный пакет прикладных компью-

терных программ ANSYS. Имитационное моделирование динамических процессов взаимодействия основных элементов, исследованных как теоретически, так и экспериментально, ставит своей целью дать наглядную возможность без дорогостоящих экспериментов расчетным путем определять оптимальные и рациональные параметры динамической системы «модуль-массив-нарушение».

Лицензионная прикладная программа ANSYS включает в себя множество широких возможностей, таких как препроцессор, твердотельное моделирование, прочностной, тепловой, магнитный, гидравлический и смешанные виды расчета, процессорную обработку результатов, графические возможности. Данные о модели (включая описание геометрии, конечноэлементное разбиение, материалы и т.д.), записываются в базу данных с помощью препроцессора ANSYS. Решатель программы работает непосредственно с информацией, хранящейся в базе данных, и записывает результаты в ту же базу данных. Во время препроцессорной стадии задаются

все данные, необходимые для расчета. Есть возможность выбора типа конечного элемента, задания свойств материала, создания твердотельных моделей и разбиение их на элементы, а также задать необходимые граничные условия.

После того как модель построена, задается тип и параметры необходимого анализа, нагрузка и ее опции. Указанный тип анализа показывает, какие уравнения будут использованы для получения решения. Во время фазы постпроцессорной обработки выполняются операции с результатами, полученными во время решения. Они могут включать в себя перемещения, температуры, напряжения, деформации, скорости и т.д. Результаты можно получить в графическом виде или в табличной форме. Программа ANSYS содержит мощную подсистему геометрического моделирования, которая создает геометрию детали или конструкции независимо от ее конечно-элементной сетки.

Основной целью на этапе разработки дискретной модели являлось создание адекватной конечно-элементной модели, состоящей из узлов и элементов. При построении конечно-элементной сетки учитывалось следующее.

- в зонах, где требовалось определить напряжения или деформации, использовалась более мелкая сетка по сравнению с той, которая относилась к зонам определения перемещений;
- при учете нелинейности, сетка была построена такой, чтобы нелинейные эффекты могли проявиться, учет пластичности требует разумного увеличения числа точек интегрирования и, следовательно, частой сетки в зонах с высоким градиентом пластических деформаций.

Разработан алгоритм процедур расчета параметров взаимодействия модуля с массивом и нарушением согласно принятой схеме исследования:

1) Определение формы распространения генерируемой модулем сейсмической волны в массиве.

2) Установление параметров взаимодействия волны с нарушением.

3) Обработка результатов для получения зависимостей распространения отраженных от нарушения волн.

4) Получение характерных диаграмм для единичного и чередующихся импульсов.

5) Исследование эффекта биения при наложении вынужденных колебаний в массиве и собственных колебаний в нарушении.

6) Обработка результатов записи отраженных волн и выработка рекомендаций для регистрирующей аппаратуры.

Результаты компьютерного эксперимента показывают, что при возбуждении вибросейсмического сигнала в пласте и при дальнейшем распространении волны имеют место три участка ее распространения (рис. 1). Эти участки различаются, прежде всего, характером изменения амплитуды. Назовем их условно: I — зона до нарушения пласта, II — зона непосредственно нарушения, III — зона после нарушения.

Первая зона характеризуется незначительным уменьшением амплитуды при сохранении частоты сигнала. Это объясняется тем, что при прохождении волны через массив ее энергия тратится на преодоление сопротивления, а при сохранении частоты амплитуда снижается.

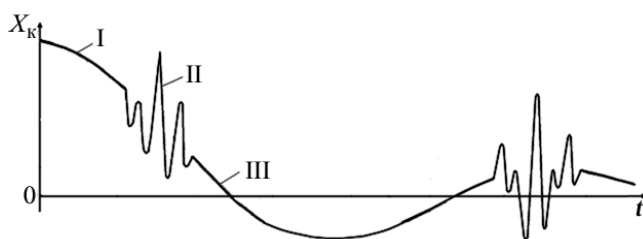


Рис. 1. Качественная картина распространения сейсмической волны в массиве: X_k — смещение частиц массива; t — время; I — зона до нарушения пласта; II — зона непосредственно нарушения; III — зона после нарушения

Сохранение же частоты объясняется неизменностью физико-механических свойств массива в ненарушенной зоне.

Во второй зоне наблюдается хаотическое изменение, как амплитуды, так и формы импульса. Это явление объясняется тем, что объем нарушения заполнен веществом с физико-механическими показателями, отличными от показателей угля. Сейсмические волны, проходя по объему нарушения, неоднократно отражаются от его стенок, что приводит к наложению колебаний и искажению формы импульса. Характер искажения определяется размерами камеры нарушения и видом заполняющего ее вещества.

Все аналитические исследования, проведенные в работе и их результаты, получены для идеально упругой среды, слагающей массив, в который волны распространяются без затухания их амплитуды, а генерируемый сигнал не меняет своей формы. На практике это не так. Всякая реальная среда обладает свойством затухания, которая заметно влияет на амплитуду сейсмических волн на значительных расстояниях от источника. В первую очередь математическая модель, разработанная для компьютерного эксперимента, учитывает силы трения между частицами и

слоями массива и диссипацию энергии, закачиваемой в массив от пульсационно-сейсмического модуля.

В результате решения математической модели получены основные зависимости, характеризующие амплитуду смещения частиц грунта в зависимости от величины начальной деформации груди забоя в точке взаимодействия с исполнительным органом модуля (рис. 2). Как видно,

качественные диаграммы при отсутствии нарушения существенно зависят от величины статической деформации груди забоя. Для абстрагирования от численных значений введен показатель X_0/A_{\max} , показывающий отношение начальной деформации X_0 к максимальной амплитуде сейсмического сигнала A_{\max} , передаваемого в массив. Очевидно, что $X_0 \leq A_{\max}$, так как $X_0/A_{\max} \leq 1$. Зависимости показывают, что имеют место две зоны смещения: I — $X_0/A_{\max} > 0$ — смещение частиц наблюдается в направлении действия сигнала (зона сжатия); II — $X_0/A_{\max} < 0$ — смещение частиц в направлении, обратном действию сигнала (зона восстановления).

Это вполне естественно, поскольку массив принят упругим, и он стремится восстановить свое статическое состояние.

Анализ зависимостей также показывает, что при снижении X_0/A_{\max} вид диаграмм переходит от практической асимптоты к апериодическим колебаниям. При этом зона сжатия максимальная при больших значениях коэффициента X_0/A_{\max} . С физической точки зрения это обусловлено тем, что при малой начальной

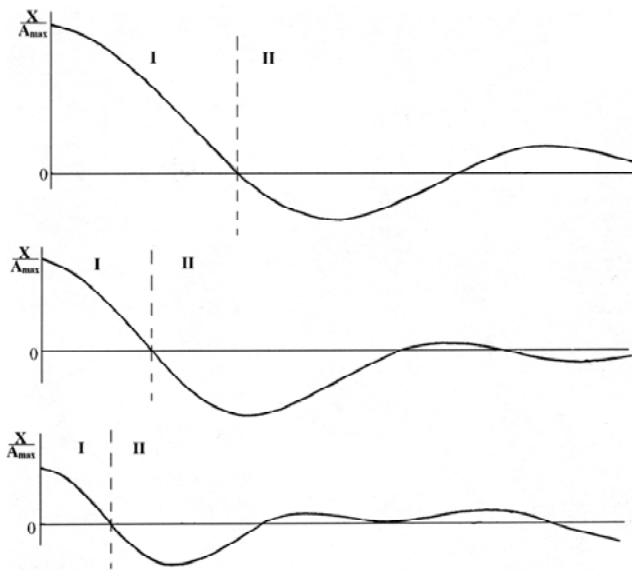


Рис. 2. Приведенные амплитуды смещения частиц массива: I — зона сжатия; II — зона восстановления

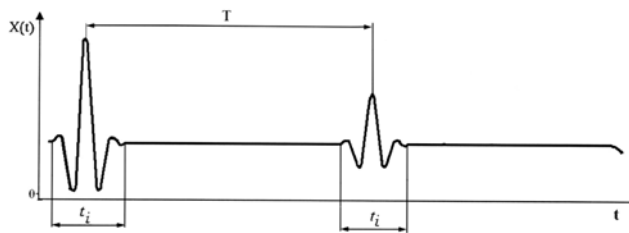


Рис. 3. Диаграмма изменения сигнала без нарушения: T — время чередования; t_i — время импульса

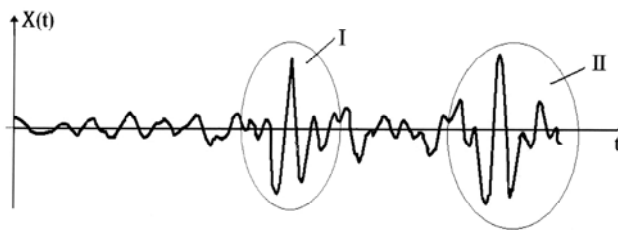


Рис. 4. Диаграмма изменения сигнала при наличии нарушений: I — нарушение первое; II — нарушение последующее

деформации массив быстрее может восстановить свое статическое состояние.

Диаграмма изменения сигнала без нарушения характеризуется рис. 3. Отсюда видно, что подаваемый на грудь забоя синусоидальный импульс за время T снижает свою амплитуду. Длительность импульса t_i остается неизменной. Это определяется тем, что в модели учтены диссипативные силы, снижающие энергию волны и, соответственно ее скорость. Интересен факт неизменности продолжительности импульса при различных физико-механических свойствах массива.

При наличии различного рода нарушений диаграмма принимает форму по рис. 1. Как видно, основная кривая $X_R(t)$ в местах нарушений разрывается, и место нарушения заполняется соответствующими кривыми, характеризующимися свойствами вещества, находящимся в нарушении, и геометрическими размерами. Отражаясь от границ «пласт-нарушение», смещение волны принимает соответствующую форму. Расстояние до нарушения, между нарушениями и формами определяется по известным значениям скорости распространения волны v_c и зафиксированному времени.

Форма сигнала при наличии нарушений меняется согласно диаграмме, приведенной на рис. 4. Су-

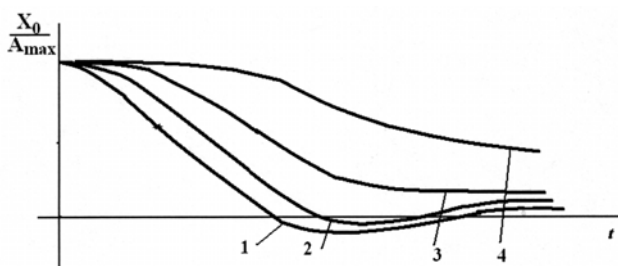


Рис. 5. Приведенные амплитуды смещения частиц массива при неоднократном чередовании импульсов: 1 — 5 имп.; 2 — 10 имп.; 3 — 15 имп.; 4 — 20 имп

шественный результат этих исследований — резкое увеличение амплитуды сигнала внутри нарушения. Отражаясь от границы «массив-нарушение» за счет упругих восстанавливающих сил массива и дополнительной энергии частицы вещества нарушения приобретают дополнительную скорость, и за счет этого увеличивается энергия объема нарушения.

Результаты, полученные при моделировании процессов чередующихся импульсов, показывают следующее. Качественная картина, полученная для единичного импульса, при неизменных начальных условиях процесса аналогична серии импульсов. Различие наблюдается в количественной величине и распределении зон смещения частиц пласта.

На рис. 5 представлены результаты обработки эксперимента для амплитуды смещения массива при нескольких чередующихся сигналах заданной формы.

Отсюда видно, что с увеличением количества импульсов кривая $X_0/A_{\max} = f(t)$ поднимается по отношению к оси абсцисс, и ее радиус кривизны увеличивается. При

этом зона сжатия возрастает, а зона растяжения уменьшается и исчезает. Это обусловлено тем, что с течением времени массив не успевает восстанавливать свое статическое равновесие. Очевидно, что при бесконечном увеличении количества импульсов кривая стремится к горизонтали. Такое обстоятельство на практике недопустимо по следующим соображениям.

При подходе волны от каждого импульса к нарушению в него закачивается определенная мощность, которая при неизменном объеме повышает давление и температуру. В зависимости от состояния массива прирост этой мощности может привести к разрушению массива и спровоцировать внезапный выброс. **■▲Б**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Кенжин Б.М. — доцент, кандидат технических наук, директор ТОО «МашЗавод № 1»,

e-mail: kbmzk@mail.ru

Журунова М.А. — Карагандинский государственный технический университет,

e-mail: mairashka@mail.ru

Саттаров С.С. — доцент, кандидат технических наук, ТОО «Объединенная химическая компания», e-mail: satsapar52@mail.ru

