

**ОДИН ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ ПОГЛОЩАЮЩИХ
ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ ЧИСЛЕННОМ РЕШЕНИИ
ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ**

*Фирстов Д.В., Бережной Д.В., Биряльцев Е.В.
(Казанский федеральный университет, Россия)*

**ONE APPROACH TO THE IMPLEMENTATION OF THE
ABSORBING BOUNDARY CONDITIONS FOR THE NUMERICAL
SOLUTION OF DYNAMIC PROBLEMS OF CONTINUUM
MECHANICS**

*Firstov D.V., Berezhnoi D.V., Biryaltsev E.V.
(Kazan Federal University, Russia)*

Предложен и исследован вариант построения “поглощающих граничных условий” на основе тела Фойгта в задачах динамики механики сплошной среды, позволяющий при моделировании конечного участка бесконечного пространства пропускать упругие волны за границы расчетной области без ложных отражений. Сформулирован принцип и условия для эффективного применения “поглощающих граничных условий” на основе тела Фойгта, для различных конфигураций исследуемых сред.

В численном моделировании динамических задач механики сплошной среды существует проблема возникновения волн, отраженных от границ изучаемой области. При отсутствии принятых мер борьбы с воздействиями указанных типов волн, результаты моделирования приобретают различного рода артефакты, которые существенно ухудшают их адекватность. Если размеры области определять из принципа «волна, отраженная от границ расчетной области, не должна достигнуть интересующего нас участка ранее завершения основного этапа исследуемого процесса», то либо размеры этой области приходится брать достаточно большими, увеличивая время счета, либо ограничивать временной интервал расчета, что не позволяет провести исследование с достаточной полнотой. Визуализация смоделированной картины волнового поля без наложения дополнительных условий, направленных на исключение эффекта отражения от границ изучаемой области показаны на рис.1.

Известны способы решения данной проблемы, основанные на формировании “прозрачных границ” [1, 2] рис. 2, разработанных для ряда частных случаев “поглощающего слоя” [3, 4, 5] рис. 3, которые требуют ввода дополнительных алгоритмов в численную схему. Так же возможно применение увеличения размера расчетной области до величины, исключающей воздействие отраженных от границ волн (области расширения модели) [1], что ведет к резкому увеличению объема моделирования, особенно в случае моделей 3D.

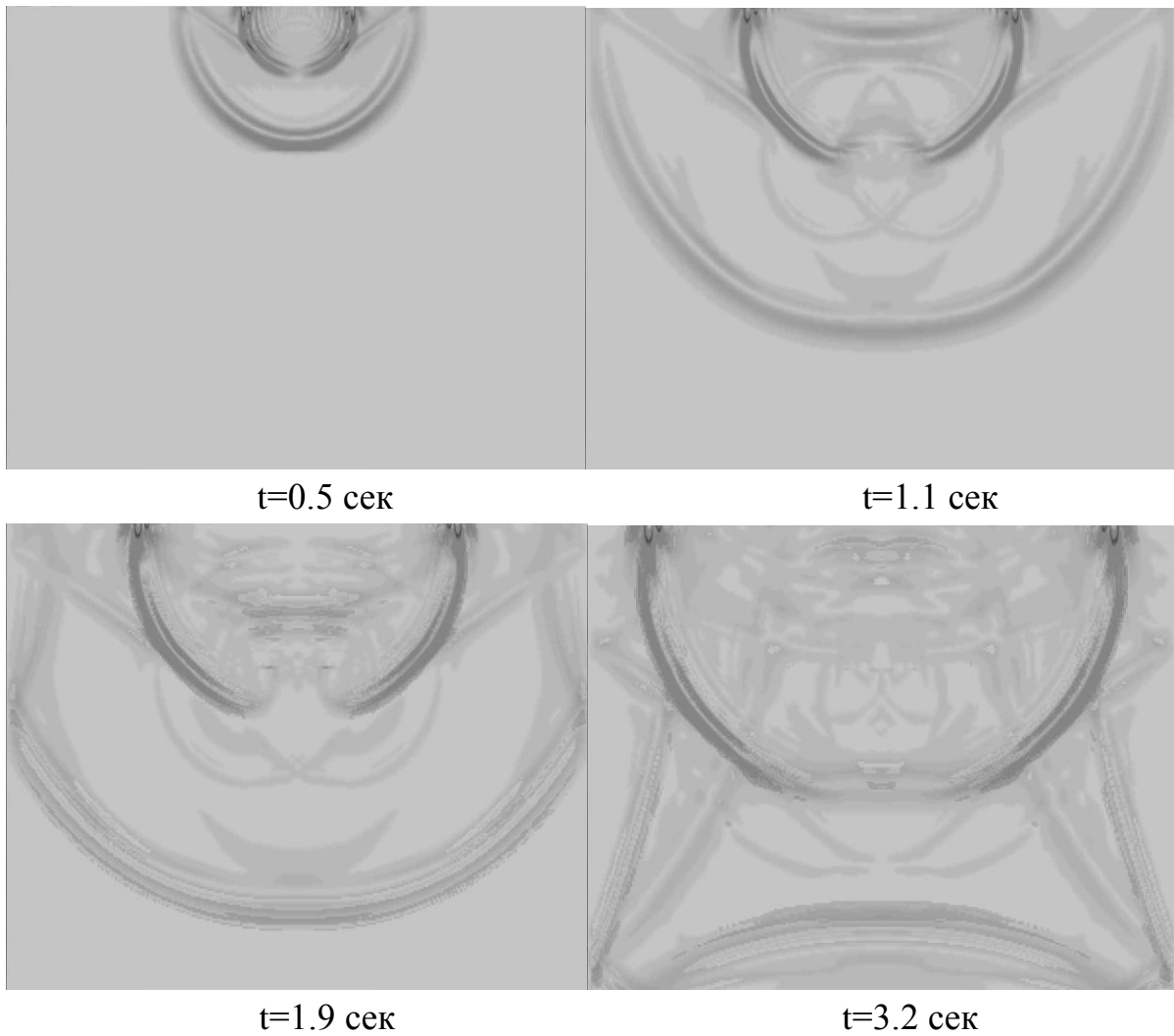


Рис. 1. Использовалась область численного моделирования размером 3 км по простиранию и 3 км в глубину. Геологическая среда моделировалась телом Фойгта. В качестве источника возбуждения использовался точечный удар сверху по поверхности модели. Контрастная область задавалась симметрично относительно центра модели

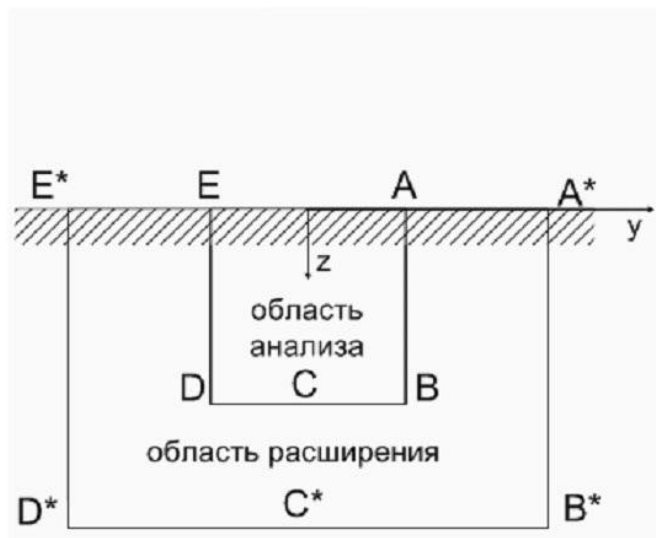


Рис. 2. Определение области расчета при применении “прозрачных границ”

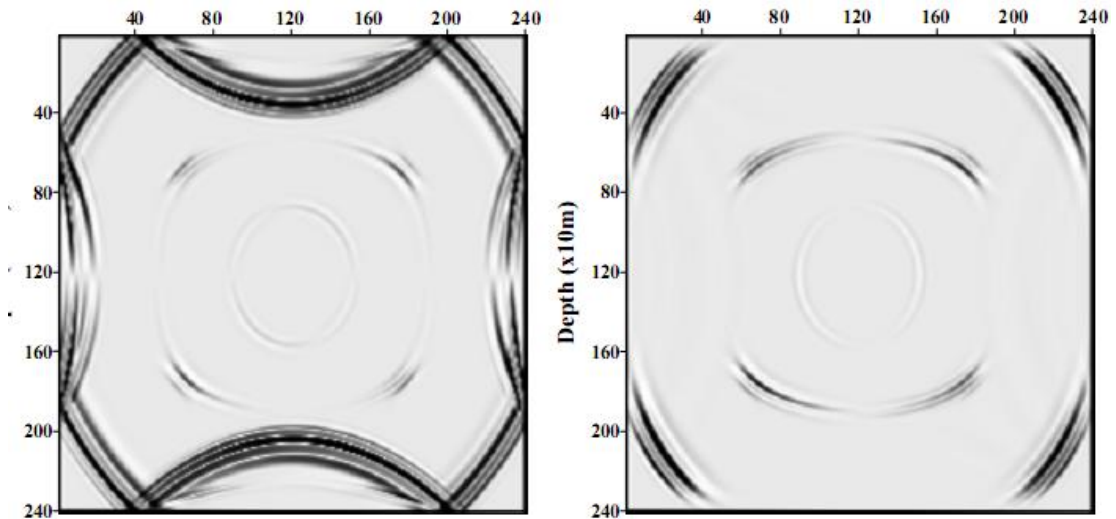


Рис. 3. Результат применения одного из частных случаев “поглощающего слоя”

В предлагаемом подходе к построению “поглощающих граничных условий”, область моделирования и область расширения модели представлены телом Фойгта, без введения дополнительных алгоритмов в расчетную схему. В области расширения параметры, определяющие затухание, плавно увеличиваются от границы области изучения к границе области расширения, как показано стрелками рис. 4. Плавное изменение данного параметра позволяет минимизировать отражения от слоев с различным коэффициентом затухания.

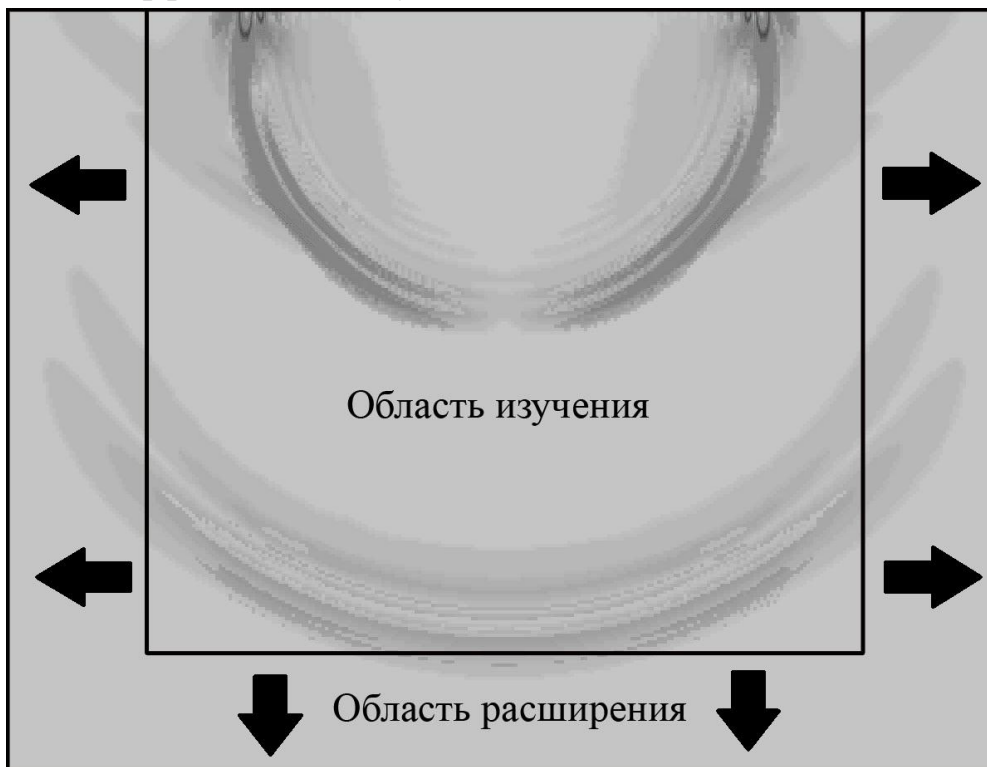


Рис. 4. Схема построения “поглощающих граничных условий”

На основе данного подхода разработан алгоритм определения распределения коэффициента затухания в области расширения. С помощью программного комплекса [6] проведен ряд численных экспериментов, показавших хорошее совпадение модельных упругих волн при использовании предложенного подхода и моделирования с областью расширения, исключая приход отраженных волн от границ расчетной области в область моделирования.

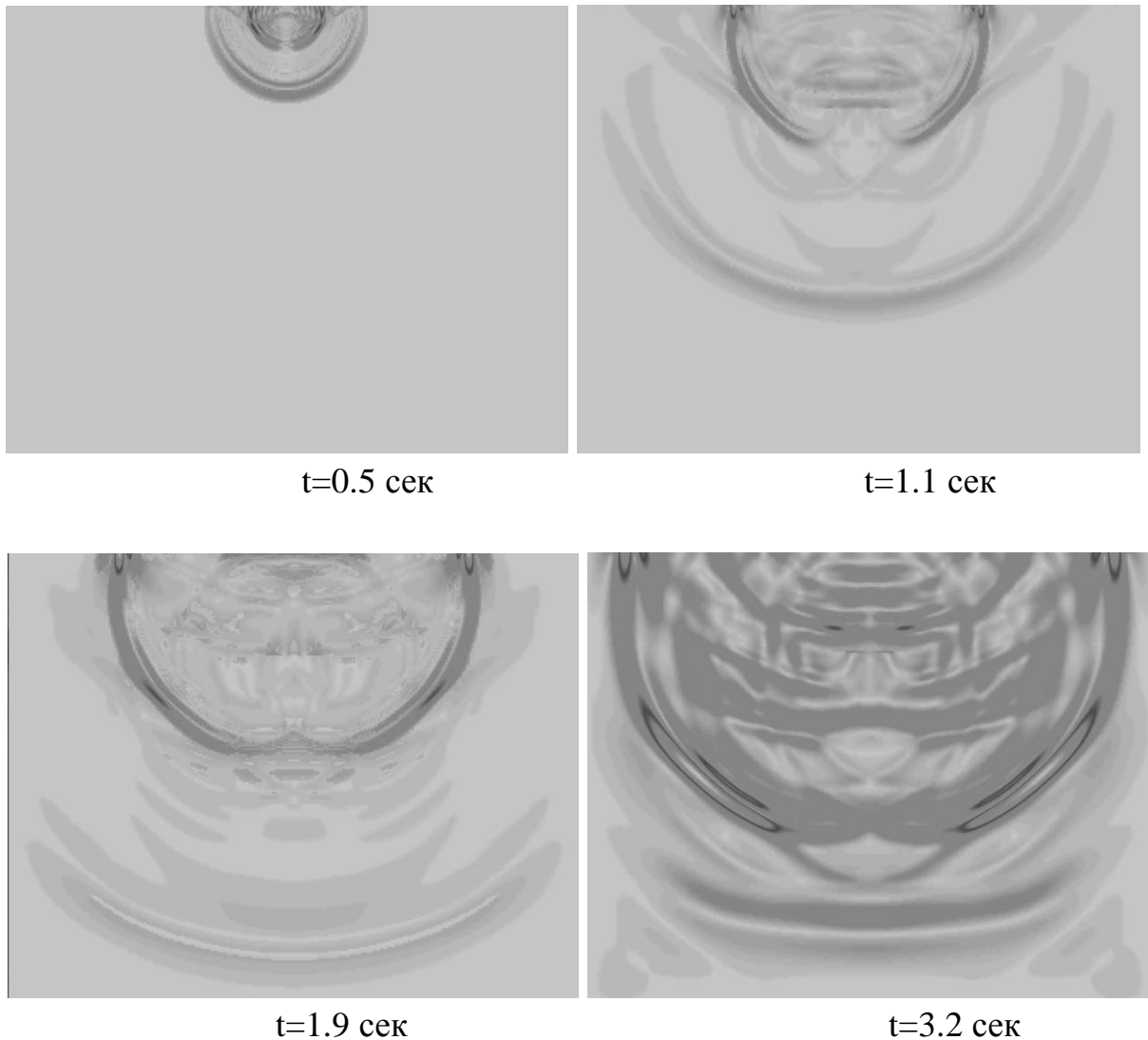


Рис. 5. Использовалась область численного моделирования размером 3 км по простиранию и 3 км в глубину. Геологическая среда моделировалась телом Фойгта. В качестве источника возбуждения использовался точечный удар сверху по поверхности модели. Контрастная область задавалась симметрично относительно центра модели. Поглощающие граничные условия реализованы соответственно схеме на рис. 4

Выявлено отличие получаемых модельных волн в низкочастотной части спектра, что обусловлено недостаточным поглощением данной части спектра вязко-упругой средой области расширения.

Предложенный подход не требует введения специальных процедур и функций в используемую численную схему. Требуемая область расширения существенно меньше, чем в классическом случае области расширения без затухания. Отличия в низкочастотной части спектра могут регулироваться путем задания размера области расширения до допустимых величин. Для улучшения поглощения низкочастотной части спектра может быть также предложено увеличение в области расширения не только коэффициентов затухания, но и размеров ячеек, что является направлением дальнейших исследований.

Литература

1. Софронов И.Л. Математическое моделирование. Москва. 2007. том 19. номер 8. 105-112.
2. Винниченко А.А., Зайцев Н.А. Прозрачные граничные условия для волнового уравнения в квадратной области. Москва. 2009.
3. Пашков С.В. Герасимов А.В. Прозрачные границы. Уменьшение погрешности, вносимой границей расчетной области при численном моделировании конечного участка бесконечного пространства. Томск. 2008.
4. <http://www.spectraseis.com/jahia/webdav/site/spectraseis/shared/publications/PhDSteinerBrian_Onlineversion.pdf>, Steiner B. Time reverse modeling of low-frequency tremor signals, "A dissertation submitted to the degree of Doctor of Natural Sciences" Zurich, 2009.
5. Chen J., Bording R.P. The Application of The Nearly Optimal Sponge Boundary Conditions for Seismic Wave Propagation in Poroelastic Media. Frontiers Innovation. Canada. 2009.
6. Галимов М.Р., Биряльцев Е.В. Некоторые технологические аспекты применения высокопроизводительных вычислений на графических процессорах в прикладных программных системах, Вычислительные методы и программирование Т 11, 77, 2010.