

РАСЧЕТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ВОЗДЕЙСТВИЮ СЕЙСМОВЗРЫВНЫХ ВОЛН НА ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЭТАПНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

*Е. В. Шувалова, А. А. Краюхин, Е. И. Наумова, Т. В. Резвова, Д. Ю. Дьянов, М. В. Ильина,
А. П. Тихонова, Т. Е. Синатова*

ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ», Саров, Россия

В настоящее время возрастает актуальность задач определения степени воздействия на заглубленные объекты сейсмовзрывной волной. Особенностью таких расчетов является разномасштабность изучаемых процессов как по временной характеристике, так и по пространству. Подобные расчеты являются комплексными и требуют учета целого ряда физических процессов с сохранением высокой точности их описания. Высокую точность можно достигнуть, в том числе, и проведением сквозных расчетов, охватывающих максимально возможное число этапов численного моделирования при минимальном вмешательстве в расчетный процесс.

В докладе представлена расчетная технология, состоящая из трех этапов, согласно временной структуре процессов рассмотренных экспериментов:

- 1 этап – расчет начальной стадии развития взрыва;
- 2 этап – расчет формирования и распространения сейсмовзрывной волны;
- 3 этап – расчет взаимодействия сейсмовзрывной волны с подземным сооружением.

Первый этап предполагает расчет взрыва заряда с учетом при необходимости распространения тепла по грунтовой среде. Расположение заряда относительно поверхности грунта может быть различным. Расчет второго и третьего этапов требует использования моделей описания поведения грунта в широком диапазоне изменения характеристик его деформирования. Для возможности проведения сквозного расчета предложено применение комбинированной модели грунта для ближней и дальней зоны распространения ударной волны.

Для решения задачи третьего этапа была использована технология счета связанных задач с применением метода лагранжево-эйлерова связывания FSI (Fluid Structure Interaction). Суть метода заключается в том, что для решения задач о деформировании прочных конструкций и задач о распространении возмущений в среде их окружения применяются различные численные методики, а граничное взаимодействие обеспечивается использованием алгоритма связи. Деформация прочной конструкции рассчитывается с помощью лагранжева решателя «Логос Прочность» [1], распространение волн в окружающей среде – с помощью эйлерова подхода методики ЛЭГАК [2].

Связь между этапами расчетной технологии осуществляется с помощью программы пересчета величин в случае изменения размерности задачи или топологии математической сетки. По мере распространения волны в грунтовой среде применялась процедура увеличения математической области в процессе счета. Размерность задач каждого из этапов зависит от характеристик постановки.

В работе представлено численное исследование двух экспериментов по оценке воздействия сейсмовзрывной волны на подземный тоннель [3] и по оценке воздействия сейсмовзрывной волны на заглубленную железобетонную конструкцию [4]. Сквозная технология была отработана на расчетах с целью описания результатов этих экспериментов. Результаты расчетов согласуются с результатами опытов с точки зрения характера поврежденности бетонного тоннеля и деформации железобетонной плиты.

Литература

1. Пакет программ «Логос» [Электронный ресурс]. – URL: <http://logos.vniief.ru/products/logos>.
2. Бахрах, С. М. Комплекс программ ЛЭГАК для расчета нестационарных течений многокомпонентной сплошной среды и принципы реализации комплекса на многопроцессорных ЭВМ с распределенной памятью [Текст] / С. М. Бахрах, С. В. Величко, В. Ф. Спиридонов и др. // Вопросы атомной науки и техники. Сер. «Математическое моделирование физических процессов». – 2001. – Вып. 3. – С. 14–18.

3. **Mobaraki, B.** Numerical study of the depth and cross-sectional shape of tunnel under surface explosion [Text] / B. Mobaraki, M. Vaghefi // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2015. – Vol. 47. – P. 114–122.
 4. Modeling coupled blast/structure interaction with Zapotec, benchmark calculations for the Conventional Weapon Effects Backfill (CONWEB) tests [Text] : preprint / Sandia; Bessette G. C.; SAND2004-4096. Sandia, 2004.
-