

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ВЗРЫВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ОБЪЕКТЕ ХРАНЕНИЯ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА МУСАЕВА В.К. В ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ

Денисенков А.Н., Суцнев Т.С., Ситник В.Г., Тарасенко А.А., Зюбина М.В.

Российский университет дружбы народов, mtsayev-vk@yandex.ru

Для прогноза безопасности сооружений при взрывных воздействиях применяется численное моделирование. Решены задачи о воздействии взрывных воздействий в объекте хранения опасных веществ без полости и с полостями. Показано, что применение полостей уменьшает величину напряжений в окружающей среде при взрывных воздействиях.

Ключевые слова: численное моделирование, метод конечных элементов, явная двухслойная схема, технические средства, защита, сооружение, объект хранения опасных веществ, взрывное воздействие, дельта функция, волны напряжений, окружающая среда, полости, несущая способность.

1. Введение

Для прогноза безопасности объекта хранения опасных веществ при взрывных воздействиях применяется численное моделирование уравнений волновой теории упругости.

2. Реализация методики и алгоритма

В работах [1–20] приводится некоторая информация о практической реализации численного моделирования волн напряжений в сложных деформируемых объектах.

Для решения краевой задачи используется метод конечных элементов в перемещениях. Задачи решаются методом сквозного счета, без выделения разрывов (однородный алгоритм).

3. О распространении взрывных волн напряжений

В настоящее время вопросам безопасности окружающей среды от взрывных воздействий в объектах хранения опасных веществ уделяется большое внимание.

Управление волновым напряженным состоянием можно осуществить с помощью методов численного моделирования рассматриваемого объекта.

В работе применяется один из возможных технических средств защиты окружающей среды от взрывных воздействий в объектах хранения опасных веществ – полости в окрестности предполагаемого сооружения. Взрывное волновое воздействие, на своем пути встречая полость, будет ее обходить. Поэтому будет снижаться напряженное состояние в предполагаемом объекте.

На основании изложенного можно утверждать, что постановка задачи, разработка методики, реализация алгоритма численного моделирования и решение задач о применении технических средств защиты окружающей среды от волновых взрывных воздействий в объектах хранения опасных веществ, является актуальной фундаментальной и прикладной научной задачей.

Решена задача о воздействии взрывной волны в объекте хранения опасных веществ без полости. Исследуемая расчетная область имеет 14250 узловых точек. Решается система уравнений из 57000 неизвестных. Получены напряжения в точках на поверхности упругой полуплоскости около объекта хранения опасных веществ без полости. Растягивающее упругое контурное напряжение σ_k имеет следующее максимальное значение $\bar{\sigma}_k = 0,326$. Сжимающее упругое контурное напряжение σ_k имеет следующее максимальное значение $\bar{\sigma}_k = -0,259$. Растягивающее упругое

нормальное напряжение σ_x^- имеет следующее максимальное значение $\bar{\sigma}_x = 0,301$.

Сжимающее упругое нормальное напряжение σ_x^- имеет следующее максимальное значение $\bar{\sigma}_x^- = -0,204$.

Решена задача о воздействии упругой взрывной волны в объекте хранения опасных веществ с полостью в виде прямоугольника (соотношение ширины к высоте один к пяти). Исследуемая расчетная область имеет 14250 узловых точек. Решается система уравнений из 57000 неизвестных. Получены напряжения в точках на поверхности упругой полуплоскости около объекта хранения опасных веществ с полостью. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пяти, уменьшает величину упругого растягивающего контурного напряжения σ_k^- в 1,462 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пяти, уменьшает величину упругого сжимающего контурного напряжения $\bar{\sigma}_k^-$ в 1,66 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пяти, уменьшает величину упругого растягивающего нормального напряжения σ_x^- в 1,51 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пяти, уменьшает величину упругого сжимающего нормального напряжения $\bar{\sigma}_x^-$ в 1,84 раза.

Решена задача о воздействии упругой взрывной волны в объекте хранения опасных веществ с полостью в виде прямоугольника (соотношение ширины к высоте один к десяти). Исследуемая расчетная область имеет 14250 узловых точек. Решается система уравнений из 57000 неизвестных. Получены напряжения в точках на поверхности упругой полуплоскости около объекта хранения опасных веществ с полостью. Полость, с соотношением ширины к высоте один к десяти, уменьшает величину упругого растягивающего контурного напряжения σ_k^- в 3,2 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к десяти, уменьшает величину упругого сжимающего контурного напряжения $\bar{\sigma}_k^-$ в 1,86 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к десяти, уменьшает величину упругого растягивающего нормального напряжения σ_x^- в 3,07 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к десяти, уменьшает величину упругого сжимающего нормального напряжения $\bar{\sigma}_x^-$ в 2,04 раза.

Решена задача о воздействии упругой взрывной волны в объекте хранения опасных веществ с полостью в виде прямоугольника (соотношение ширины к высоте один к пятнадцати). Исследуемая расчетная область имеет 14250 узловых точек. Решается система уравнений из 57000 неизвестных. Получены напряжения в точках на поверхности упругой полуплоскости около объекта хранения опасных веществ с полостью. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пятнадцати, уменьшает величину упругого растягивающего контурного напряжения σ_k^- в 5,34 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пятнадцати, уменьшает величину упругого сжимающего контурного напряжения $\bar{\sigma}_k^-$ в 2,75 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пятнадцати, уменьшает величину упругого растягивающего нормального напряжения σ_x^- в 5,79 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пятнадцати, уменьшает величину упругого сжимающего нормального напряжения $\bar{\sigma}_x^-$ в 2,61 раза.

Полученные результаты можно оценить как первое приближение к решению сложной комплексной задачи, о применении полостей для увеличения безопасности окружающей среды от воздействия упругой взрывной волны в объекте хранения опасных веществ, с помощью численного моделирования волновых уравнений теории упругости.

Авторы выражают благодарность Мусаеву В.К. за внимание к работе.

4. Выводы

1. Для прогноза безопасности объекта хранения опасных веществ при взрывных воздействиях применяется численное моделирование. С помощью метода конечных элементов в перемещениях разработаны методика, алгоритм и комплекс программ, которые позволяют решать волновые задачи при взрывных воздействиях на уникальные сооружения.
2. Решена задача о безопасности окружающей среды при взрывных воздействиях в объекте хранения опасных веществ без полости и с полостями. Показано, что применение полостей уменьшает величину напряжений в окружающей среде при взрывных воздействиях в объекте хранения опасных веществ.

Литература

1. *Дэйвис Р.* Волны напряжений в твердых телах. – М.: Иностранная литература, 1961. – 104 с.
2. *Ионов В.И., Осипалов П.М.* Напряжения в телах при импульсивном нагружении. – М.: Высшая школа, 1975. – 464 с.
3. *Мусаев В.К.* Применение метода конечных элементов к решению плоской нестационарной динамической задачи теории упругости // *Механика твердого тела.* – 1980. – № 1. – С. 167.
4. *Мусаев В.К.* Решение задачи дифракции и распространения упругих волн методом конечных элементов // *Строительная механика и расчет сооружений.* – 1990. – № 4. – С. 74–78.
5. *Musayev V.K.* Structure design with seismic resistance foundations // *Proceedings of the ninth European conference on earthquake engineering.* – Moscow: TsNIISK, 1990. – V. 4-A. – P. 191–200.
6. *Musayev V.K.* Testing of stressed state in the structure-base system under non-stationary dynamic effects // *Proceedings of the second International conference on recent advances in geotechnical earthquake engineering and soil dynamics.* – St. Louis: University of Missouri-Rolla, 1991. – V. 3. – P. 87–97.
7. *Мусаев В.К.* Численное решение волновых задач теории упругости и пластичности // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия прикладная математика и информатика.* – 1997. – № 1. – С. 87–110.
8. *Musayev V.K.* Problem of the building and the base interaction under seismic loads // *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering.* 2741. – Auckland: University of Canterbury, 2000. – P. 1–6.
9. *Мусаев В.К.* О некоторых возможностях математического моделирования и численного компьютерного эксперимента // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности.* – 2006. – № 1. – С. 81–86.
10. *Мусаев В.К.* Математическое моделирование упругих волн напряжений в сложных деформируемых телах // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности.* – 2007. – № 1. – С. 62–76.
11. *Мусаев В.К.* Об оценке достоверности и точности численного решения нестационарных динамических задач // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности.* – 2007. – № 3. – С. 48–60.
12. *Мусаев В.К.* Численное, аналитическое и экспериментальное решение задачи о концентрации нестационарных динамических напряжений в свободном круглом отверстии // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности.* – 2008. – № 4. – С. 67–71.
13. *Мусаев В.К.* Оценка достоверности и точности результатов вычислительного эксперимента при решении задач нестационарной волновой теории упругости // *Научный журнал проблем комплексной безопасности.* – 2009. – № 1. – С. 55–80.

14. *Мусаев В.К.* О достоверности результатов численного метода решения сложных задач волновой теории упругости при ударных, взрывных и сейсмических воздействиях // Ученые записки Российского государственного социального университета. – 2009. – № 5. – С. 21–33.
15. *Мусаев В.К.* Моделирование волн напряжений в сложных областях с помощью метода вычислительной механики // Исследования по теории сооружений. – 2010. – № 2. – С. 44–52.
16. *Мусаев В.К.* Вычислительный эксперимент в задачах моделирования нестационарных волн напряжений в областях сложной формы // Исследования по теории сооружений. – 2010. – № 2. – С. 138–149.
17. *Мусаев В.К.* Практическая реализация численного моделирования распространения нестационарных упругих волн напряжений в сложных деформируемых областях // Инновационные технологии в развитии строительства, машин и механизмов для строительства и коммунального хозяйства, текущего содержания и ремонта железнодорожного пути. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Смоленск: Смоленский филиал МИИТ, 2012. – С. 287–295.
18. *Ситник С.В., Куранцов В.В., Ситник В.Г., Савичев В.А., Денисюк Д.А.* Численное моделирование нестационарного волнового напряженного состояния в деформируемых объектах сложной формы с помощью численного метода Мусаева В.К. в перемещениях // Инновационные технологии в развитии строительства, машин и механизмов для строительства и коммунального хозяйства, текущего содержания и ремонта железнодорожного пути. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Смоленск: Смоленский филиал МИИТ, 2012. – С. 478–481.
19. *Мусаев В.К.* Математическое моделирование системы «сооружение-окружающая среда» на ударные, взрывные и сейсмические воздействия // Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. – М.: РУДН, 2013. – С. 197–200.
20. *Юзбеков Н.С., Сузцев Т.С., Ситник С.В., Тарасенко А.А., Зюбина М.В.* Математическое моделирование безопасности сооружений при волновых сейсмических воздействиях с помощью численного метода Мусаева В.К. в перемещениях // Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. – М.: РУДН, 2013. – С. 234–237.

MODELING OF ENVIRONMENTAL PROTECTION FROM EXPLOSIVE IMPACTS IN THE OBJECT STORAGE OF DANGEROUS SUBSTANCES WITH THE HELP OF THE NUMERICAL METHOD MUSAYEV V.K. IN DISPLACEMENTS

Denisenkov A.N., Sushchev T.S., Sitnik V.G., Tarasenko A.A., Zyubina M.V.

Peoples' Friendship University of Russia, musayev-vk@yandex.ru

For the forecast of the security structures for blast effects applied numerical simulation. Solved the problem on the impact of explosive impacts in the object storage of hazardous substances without a cavity and with cavities. It is shown that application of cavities reduces stress value in the environment by the explosive effects.

Key words: numerical simulation, finite element method, explicit two-layer scheme, technical means of protection, structure, object storage of hazardous substances, explosive impact Delta function, a wave of voltages, environment, cavity-bearing capacity.