

## МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЙ ЛАВИНЫ С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА МУСАЕВА В.К. В ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ

*Суцев Т.С., Юзбеков Н.С., Ситник С.В., Котов О.Н., Курацков О.В.*

*Российский университет дружбы народов, musayev-vk@yandex.ru*

*Для прогноза безопасности защитных сооружений от ударных воздействий лавины применяется численное моделирование. Показано, что применение полостей уменьшает величину напряжений в предполагаемом сооружении при ударных воздействиях от лавины.*

Ключевые слова: численное моделирование, технические средства, безопасность, сооружение, ударное воздействие, волны напряжений, окружающая среда, вертикальные полости, несущая способность.

### 1. Введение

Для прогноза безопасности окружающей среды при волновых ударных воздействиях применяется численное моделирование уравнений волновой теории упругости.

### 2. Реализация методики и алгоритма

В работах [1–24] 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 волн от ударных воздействий

Одной из главных задач обеспечивающих безопасность защитных сооружений является определение волновых напряжений в сооружении.

Различные вопросы в области моделирования волн напряжений, теории упругости, приведены в следующих работах [1–20].

В работе определяются нестационарные волны напряжений защитного сооружения с основанием от ударных воздействий. Для решения поставленной задачи используются математические модели и методы волновой механики деформируемых сред.

Для обеспечения безопасности защитных сооружений при ударных воздействиях от лавины назрела необходимость применять различные технические средства, которые могли помочь управлять напряженным состоянием.

Для прогноза безопасности защитных сооружений от ударной волны лавины применяется численное моделирование.

Решена задача о воздействии упругой ударной волны от лавины на защитное сооружение без полости. Ударное воздействие моделируется в виде трапеции. Исследуемая расчетная область имеет 21624 узловых точек. Решается система уравнений из 86496 неизвестных. Получены напряжения в точках на поверхности упругой полуплоскости около защитного сооружения без полости. Растягивающее упругое контурное напряжение  $\sigma_k^-$  имеет следующее максимальное значение

$\bar{\sigma}_k = 0,196$ . Сжимающее упругое контурное напряжение  $\sigma_k^-$  имеет следующее максимальное значение  $\bar{\sigma}_k = -0,442$ . Растягивающее упругое нормальное напряжение  $\bar{\sigma}_x$  имеет следующее максимальное значение  $\bar{\sigma}_x = 0,133$ . Сжимающее упругое нормальное напряжение  $\sigma_x^-$  имеет следующее максимальное значение  $\bar{\sigma}_x = -0,402$ . Растягивающее упругое нормальное напряжение  $\sigma_y^-$  имеет следующее максимальное

значение  $\bar{\sigma}_y = 0,026$ . Сжимающее упругое нормальное напряжение  $\bar{\sigma}_y$  имеет следующее максимальное значение  $\bar{\sigma}_y = -0,031$ . Растягивающее упругое касательное напряжение  $\bar{\tau}_{xy}$  имеет следующее максимальное значение  $\bar{\tau}_{xy} = 0,051$ . Сжимающее упругое касательное напряжение  $\bar{\tau}_{xy}$  имеет следующее максимальное значение  $\bar{\tau}_{xy} = -0,051$ .

Решена задача о воздействии упругой ударной волны от лавины на защитное сооружение с полостью в виде прямоугольника (соотношение ширины к высоте один к пяти). Исследуемая расчетная область имеет 21624 узловых точек. Решается система уравнений из 86496 неизвестных. Рассматриваются некоторые точки на свободной поверхности упругой полуплоскости. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пяти, уменьшает величину упругого растягивающего контурного напряжения  $\bar{\sigma}_k$  в 1,55 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пяти, уменьшает величину упругого сжимающего контурного напряжения  $\bar{\sigma}_k$  в 2,63 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пяти, уменьшает величину упругого растягивающего нормального напряжения  $\bar{\sigma}_x$  в 1,53 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пяти, уменьшает величину упругого сжимающего нормального напряжения  $\bar{\sigma}_x$  в 2,91 раза.

Решена задача о воздействии упругой ударной волны от лавины на защитное сооружение с полостью в виде прямоугольника (соотношение ширины к высоте один к десяти). Исследуемая расчетная область имеет 21624 узловых точек. Решается система уравнений из 86496 неизвестных. Рассматриваются некоторые точки на свободной поверхности упругой полуплоскости. Полость, с соотношением ширины к высоте один к десяти, уменьшает величину упругого растягивающего контурного напряжения  $\bar{\sigma}_k$  в 1,87 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к десяти, уменьшает величину упругого сжимающего контурного напряжения  $\bar{\sigma}_k$  в 4,05 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к десяти, уменьшает величину упругого растягивающего нормального напряжения  $\bar{\sigma}_x$  в 1,73 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к десяти, уменьшает величину упругого сжимающего нормального напряжения  $\bar{\sigma}_x$  в 4,62 раза.

Решена задача о воздействии упругой ударной волны от лавины на защитное сооружение с полостью в виде прямоугольника (соотношение ширины к высоте один к пятнадцати). Исследуемая расчетная область имеет 21624 узловых точек. Решается система уравнений из 86496 неизвестных. Рассматриваются некоторые точки на свободной поверхности упругой полуплоскости. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пятнадцати, уменьшает величину упругого растягивающего контурного напряжения  $\bar{\sigma}_k$  в 2,23 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пятнадцати, уменьшает величину упругого сжимающего контурного напряжения  $\bar{\sigma}_k$  в 6,14 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пятнадцати, уменьшает величину упругого растягивающего нормального напряжения  $\bar{\sigma}_x$  в 2,01 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пятнадцати, уменьшает величину упругого сжимающего нормального напряжения  $\bar{\sigma}_x$  в 7,18 раз.

Полученные результаты можно оценить как первое приближение к решению сложной комплексной задачи, о применении полостей для увеличения безопасности окружающей среды при воздействии упругой ударной волны от лавины на защитное сооружение, с помощью численного моделирования волновых уравнений теории упругости.

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

#### 4. Выводы

1. Приводится анализ численного моделирования безопасности окружающей среды при волновых ударных воздействиях от лавины.
2. Показано, что применение полостей уменьшает величину напряжений в предполагаемом сооружении при ударных воздействиях от лавины.

#### Литература

1. Кольский Г. Волны напряжений в твердых телах. – М.: Иностранная литература, 1955. – 192 с.
2. Гузь А.Н., Кубенко В.Д., Черевко М.А. Дифракция упругих волн. – Киев: Наукова думка, 1978. – 308 с.
3. Мусаев В.К. Решение задачи дифракции и распространения упругих волн методом конечных элементов // Строительная механика и расчет сооружений. – 1990. – № 4. – С. 74–78.
4. 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. – Sent Louis: University of Missouri-Rolla, 1991. – V. 3. – P. 87–97.
5. 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. – Sent Louis: University of Missouri-Rolla, 1991. – V. 3. – P. 87–97.
6. 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.
7. Musayev V.K. Problem of the building and the base interaction under seismic loads // Proceedings of the 12<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering. 2741. – Auckland: University of Canterbury, 2000. – P. 1–6.
8. Горшков А.Г., Медведевский А.Л., Рабинский Л.Н., Тарлаковский Д.В. Волны в сплошных средах. – М.: Физматлит, 2004. – 472 с.
9. Мусаев В.К. Обращение к специалистам в области комплексной безопасности // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2005. – № 1. – С. 5.
10. Мусаев В.К., Жидков Е.П., Севастьянов Л.А. Аналитические методы теоретической физики в задачах моделирования катастроф // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2005. – № 1. – С. 6–8.
11. Мусаев В.К., Жидков Е.П., Севастьянов Л.А. Вычислительные методы теоретической физики в задачах моделирования катастроф // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2005. – № 1. – С. 9–12.
12. Мусаев В.К. О некоторых фундаментальных проблемах комплексной безопасности // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2005. – № 2. – С. 5.
13. 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.

14. *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.
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. *Ситник С.В., Сазонов К.Б., Шиянов С.М., Куранцов В.В., Кормилицин А.И.* Моделирование волнового напряженного состояния в объектах сложной формы с помощью численного метода Мусаева В.К. в перемещениях // Техносферная безопасность, надежность, качество, энерго- и ресурсосбережение: Т38. Материалы Международной научно-практической конференции. Выпуск XIII. Т. 2. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2011. – С. 262–268.
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. *Ситник С.В., Савичев В.А., Акатьев С.В., Акатьев Д.В., Суцев Т.С.* Достоверность результатов численного метода Мусаева В.К. в перемещениях при моделировании отражения нестационарных упругих волн напряжений в виде дельта функции от свободной поверхности // 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. 482–485.
20. *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.

## MODELING THE SAFETY OF THE ENVIRONMENT FROM THE IMPACTS OF AVALANCHES, USING OF THE NUMERICAL METHOD MUSAYEV V.K. IN DISPLACEMENTS

*Sushchev T.S., Yuzbekov N.S., Sitnik S.V., Kotov O.N., Kurantsov O.V.*

Peoples' Friendship University of Russia, [musayev-vk@yandex.ru](mailto:musayev-vk@yandex.ru)

*For the prediction of safety of protective constructions of a shock avalanches applied numerical simulation. It is shown that application of cavities reduces stress value in the estimated construction in shock impacts from the storm.*

Key words: numerical simulation, hardware, security, construction, shock, a wave of voltages, environment, vertical cavity, bearing capacity.