

**Акатьев С.В., Аксенов В.А., Куранцов В.В., Мусаев А.В., Назаркин А.С.**

**Численное моделирование сооружения с полостью (соотношение ширины к высоте один к десяти) для защиты от лавины с помощью комплекса программ Мусаева В.К.**

**Аннотация:** Решена задача о воздействии упругой ударной волны от лавины на защитное сооружение с полостью. Рассматривается вертикальная полость с соотношением ширины к высоте один к десяти. Ударное воздействие моделируется в виде трапеции. Получены напряжения в точках на поверхности упругой полуплоскости около защитного сооружения.

**Ключевые слова:** гражданская оборона, чрезвычайная ситуация, защитное сооружение, ударное воздействие, лавина, численный метод, алгоритм, комплекс программ Мусаева В.К., вертикальная полость, прямоугольный импульс

В работах [1–6] приведена информация о моделировании нестационарных волн напряжений в деформируемых телах сложной формы.

Некоторая информация о физической достоверности и математической точности рассматриваемого численного метода, алгоритма и комплекса программ приведена в следующих работах [2–3, 5–6].

Рассмотрим задачу о воздействии упругой ударной волны от лавины (рис. 3) на защитное сооружение с полостью в виде прямоугольника (соотношение ширины к высоте один к десяти) (рис. 1). На контуре СВ приложено нормальное воздействие  $\sigma_x$  (рис. 1), которое при  $0 \leq n \leq 11$  ( $n = t/\Delta t$ ) изменяется от 0 до  $P$ , при  $11 \leq n \leq 30$  равно  $P$  и при  $30 \leq n \leq 40$  изменяется от  $P$  до 0 ( $P = \sigma_0$ ,  $\sigma_0 = -0,1$  МПа (-1 кгс/см<sup>2</sup>)).

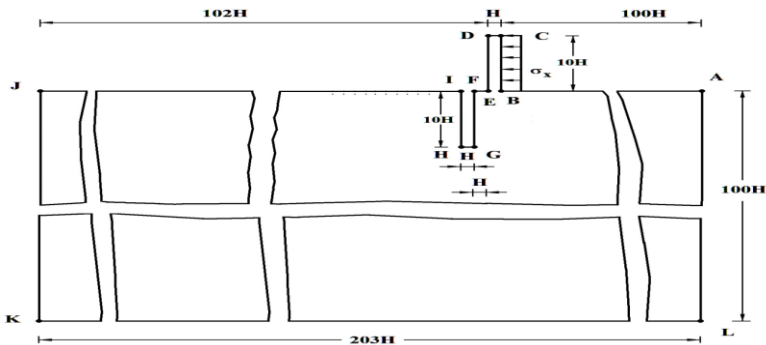


Рис. 1 – Постановка задачи о воздействии упругой ударной волны от лавины на защитное сооружение с полостью в виде прямоугольника (соотношение ширины к высоте один к десяти)

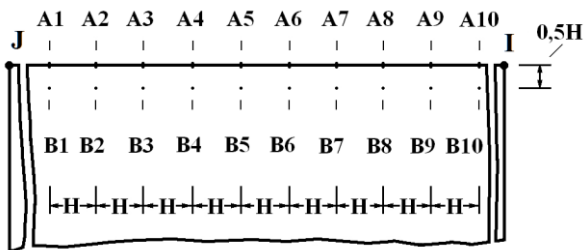


Рис. 2 – Точки A1 - A10 и B1 - B10 , в которых приводятся упругие напряжения во времени для задачи с полостью (соотношение ширины к высоте один к десяти)

Граничные условия для контура JKLA при  $t > 0$   $u = v = \dot{u} = \dot{v} = 0$ . Отраженные волны от контура JKLA не доходят до исследуемых точек при  $0 \leq n \leq 200$ . Контур DEFHJI и BA свободны от нагрузок, кроме точки B, где приложено воздействие.

Расчеты проведены при следующих исходных данных:  $H = \Delta x = \Delta y$ ;  $\Delta t = 1,393 \cdot 10^{-6}$  с;  $E = 3,15 \cdot 10^4$  МПа ( $3,15 \cdot 10^5$  кгс/см<sup>2</sup>);  $\nu = 0,2$ ;  $\rho = 0,255 \cdot 10^4$  кг/м<sup>3</sup> ( $0,255 \cdot 10^5$  кгс с<sup>2</sup>/см<sup>4</sup>);  $C_p = 3587$  м/с;  $C_s = 2269$  м/с.

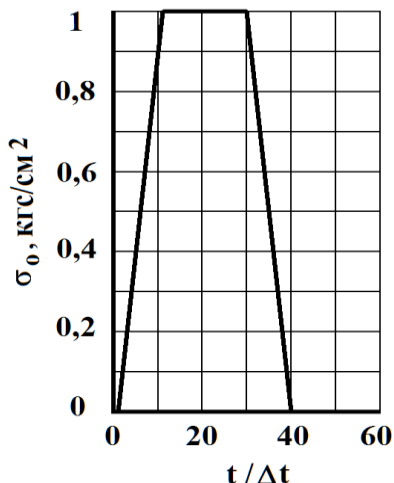


Рис. 3 – Ударное воздействие в виде трапеции для задачи с полостью (соотношение ширины к высоте один к десяти)

Исследуемая расчетная область имеет 21624 узловых точек. Решается система уравнений из 86496 неизвестных.

Результаты расчетов получены в виде изменения упругого контурного напряжения  $\bar{\sigma}_k$  ( $\bar{\sigma}_k = \sigma_k / |\sigma_0|$ ) во времени  $n$  в точках А1-А10 (рис. 2), находящихся на свободной поверхности упругой полуплоскости.

Результаты расчетов получены в виде изменения компонентов тензора упругих напряжений во времени  $n$  в точках В1-В10 (рис. 2), находящихся около свободной поверхности упругой полуплоскости.

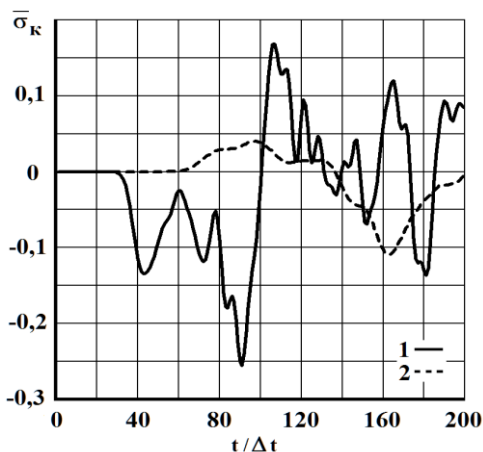


Рис. 4 – Изменение упругого нормального напряжения  $\bar{\sigma}_k$  во времени  $t/\Delta t$  в точке A1: 1 – в задаче без полости; 2 – в задаче полостью (соотношение ширины к высоте один к десяти)

На рис. 4 показано изменение нормального напряжения  $\bar{\sigma}_k$  во времени  $t/\Delta t$  в точке B1: 1 – численное решение; 2 – аналитическое решение.

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 оказанную помощь и внимание к работе.

#### Литература:

1. Мусаев В.К. Моделирование вертикальных полостей для защиты окружающей среды от ударных воздействий лавины // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XXI Международной конференции. – М.: РГГУ, 2013. – С. 421–424.
2. Мусаев В.К. О достоверности результатов математического моделирования нестационарных волн напряжений в объектах

сложной формы // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2014. – № 3. – С. 71–76.

3. *Musayev V.K.* Estimation of accuracy of the results of numerical simulation of unsteady wave of the stress in deformable objects of complex shape // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. – 2015. – Volume 11, Issue 1. – P. 135–146.

4. *Акатьев С.В.* Моделирование технических средств защиты окружающей среды от воздействий лавины с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В.К. // *Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XXIV Международной конференции*. – М.: РГГУ, 2016. – С. 242–245.

5. *Стародубцев В.В., Акатьев С.В., Мусаев А.В., Шиянов С.М., Куранцов О.В.* Моделирование упругих волн в виде импульсного воздействия (восходящая часть – четверть круга, нисходящая часть – четверть круга) в полуплоскости с помощью численного метода Мусаева В.К. // *Проблемы безопасности российского общества*. – 2017. – № 1. – С. 36–40.

6. *Стародубцев В.В., Акатьев С.В., Мусаев А.В., Шиянов С.М., Куранцов О.В.* Моделирование с помощью численного метода Мусаева В.К. нестационарных упругих волн в виде импульсного воздействия (восходящая часть – четверть круга, средняя – горизонтальная, нисходящая часть – линейная) в сплошной деформируемой среде // *Проблемы безопасности российского общества*. – 2017. – № 1. – С. 63–68.