

на базе геопортальных технологий, и методика оперативного обновления данных, основанная на технологиях прямого приема спутниковой информации и стандартизированных процедурах технологической и тематической обработки данных.

«Работы по созданию и тестированию методики были выполнены специалистами «СКАНЭКС» с использованием технологических возможностей компании по оперативному приему спутниковой информации. Обработка данных проводилась в собственном программном обеспечении «СКАНЭКС». Прототип информационной системы был создан с использованием технологии ScanExGeoMixer» [3].

Литература:

1. Куликова Г.Г., Новиков В.С., Тихомиров В.Н., Варлыгина Т.И. Опыт разработки системы охраняемых природных территорий Московской области / Тезисы докладов VII Делегатского съезда Всесоюзного ботанического общества (11-14 мая 1983 г. Донецк). – Л.: «Наука», 1983. – С. 11-14.

2. Куликова Г.Г. Сохранение ценных ботанических объектов в Московской области / Изучение редких и охраняемых видов травянистых растений. – М.: МФГО СССР, 1983. – С. 65-69.

3. Круглогодичный мониторинг лесопользования. – URL: <https://new.scanex.ru/thematic/projects/monitoring-lesopolzovaniya/> (дата обращения 14.10.2021).

---

**Мусаев В.К.**

**Математическое моделирование сейсмических волн напряжений в полуплоскости вертикальной полостью из резины: соотношение ширины к высоте один к десяти**

**Аннотация:** Решена задача о математическом моделировании нестационарных упругих волн напряжений в полуплоскости с полостью, заполненной резиной (соотношение ширины к высоте один к десяти), при сейсмическом воздействии в виде ступенчатой функции. Решается система уравнений из 8016008 неизвестных. В характерных областях исследуемой задачи получены

контурные напряжения и компоненты тензора напряжений. Полость (соотношением ширины к высоте один к десяти), заполненная резиной, уменьшает величину упругого контурного напряжения.

**Ключевые слова:** механика экстремальных процессов, математическое и численное моделирование; волновая теория сейсмической безопасности, комплекс программ Мусаева В.К., сейсмическое воздействие, вертикальная прямоугольная полость, резина, контурные напряжения

В работе рассматривается математическое моделирование нестационарных сейсмических волн в упругой полуплоскости с вертикальной прямоугольной полостью (соотношение ширины к высоте один к десяти), заполненной резиной.

Некоторая информация о волнах напряжений приведена в работах [1-5].

В работах [1,2] приведена информация о верификации моделирования нестационарных волн напряжений в деформируемых телах с помощью рассматриваемого численного метода, алгоритма и комплекса программ.

Рассматривается задача о воздействии плоской продольной нестационарной сейсмической волны (рисунок 1) параллельной свободной поверхности упругой полуплоскости с полостью заполненной резиной (соотношение ширины к высоте один к десяти) (рисунок 2).

Исследуемая задача впервые решена Мусаевым В.К. с помощью разработанной методики, алгоритма и комплекса программ [1-5].

Расчеты проводились при следующих единицах измерения: килограмм-сила (кгс); сантиметр (см); секунда (с).

От точки  $F$  параллельно свободной поверхности  $ABEFG$  приложено нормальное напряжение  $\sigma_x$ , которое при  $0 \leq n \leq 11$  ( $n = t/\Delta t$ ) изменяется линейно от 0 до  $P$ , а при  $n \geq 11$  равно  $P$  ( $P = \sigma_0$ ,  $\sigma_0 = 0,1$  МПа (1 кгс/см<sup>2</sup>)).

Граничные условия для контура  $GHI A$  при  $t > 0$   $u = v = \dot{u} = \dot{v} = 0$ . Отраженные волны от контура  $GHI A$  не доходят

до исследуемых точек при  $0 \leq n \leq 1000$ . Контур  $ABEFG$  свободен от нагрузок, кроме точки  $F$ .

Расчеты проведены при следующих исходных данных.

Для области  $ABCDEFGHI$ :  $H = \Delta x = \Delta y$ ;  $\Delta t = 1,393 \cdot 10^{-6}$  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.

Для области  $BEDC$ :  $H = \Delta x = \Delta y$ ;  $\Delta t = 0,934 \cdot 10^{-4}$  с;  $E = 2,0$  МПа ( $20,39$  кгс/см<sup>2</sup>);  $\nu = 0,5$ ;  $\rho = 0,93 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> ( $0,948 \cdot 10^{-6}$  кгс с<sup>2</sup>/см<sup>4</sup>);  $C_p = 53,55$  м/с;  $C_s = 26,78$  м/с.

При расчетах принимается минимальный шаг по времени  $\Delta t = 1,393 \cdot 10^{-6}$  с.

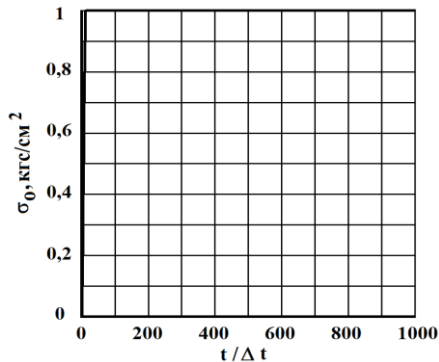


Рисунок 1 – Воздействие в виде функции Хевисайда

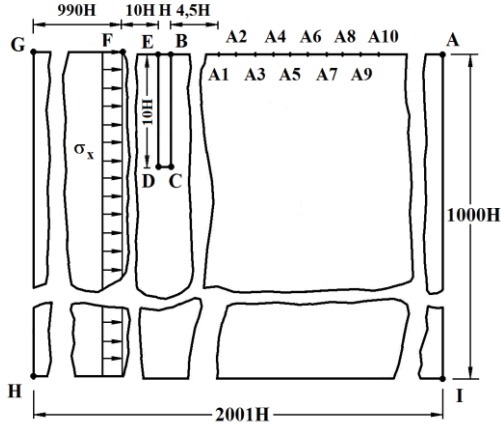


Рисунок 2 – Постановка задачи о воздействии плоской продольной сейсмической волны на упругую полуплоскость с полостью, заполненной резиной (соотношение ширины к высоте один к десяти)

На границе материалов с разными свойствами приняты условия непрерывности перемещений.

Решается система уравнений из 8016008 неизвестных.

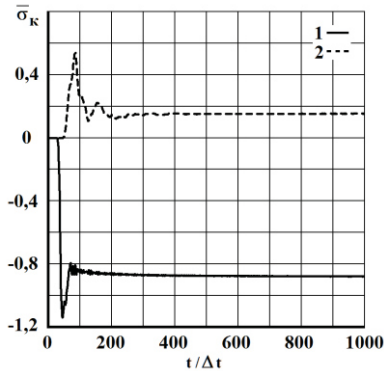


Рисунок 3 – Изменение упругого контурного напряжения  $\bar{\sigma}_k$  во времени  $t/\Delta t$  в точке  $A1$ : 1 – в задаче без полости; 2 – в задаче с полостью, заполненной резиной (соотношение ширины к высоте один к десяти)

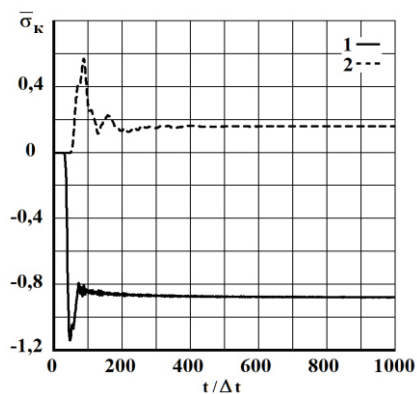


Рисунок 4 – Изменение упругого контурного напряжения  $\bar{\sigma}_k$  во времени  $t/\Delta t$  в точке  $A2$ : 1 – в задаче без полости; 2 – в задаче с полостью, заполненной резиной (соотношение ширины к высоте один к десяти)

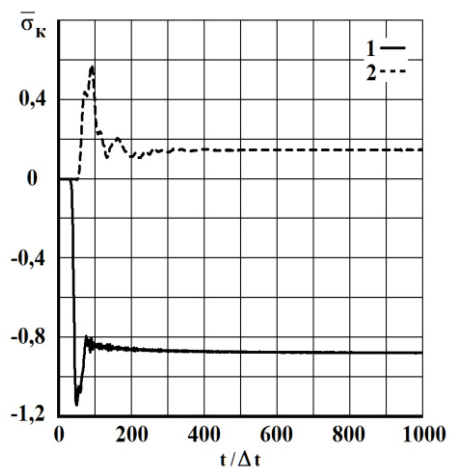


Рисунок 5 – Изменение упругого контурного напряжения  $\bar{\sigma}_k$  во времени  $t/\Delta t$  в точке  $A3$ : 1 – в задаче без полости; 2 – в задаче с полостью, заполненной резиной (соотношение ширины к высоте один к десяти)

В точках  $A1-A3$  (рисунок 1), получено изменение упругого контурного напряжения  $\bar{\sigma}_k$  ( $\bar{\sigma}_k = \sigma_k / |\sigma_0|$ ) во времени  $t$  (рисунок 2–5), находящихся на свободной поверхности упругой полуплоскости: 1 – в задаче без полости; 2 – в задаче с полостью заполненной нефтью (соотношение ширины к высоте один к десяти).

Расстояние между точками:  $A1$  и  $A2$  равно  $H$ ;  $A2$  и  $A3$  равно  $H$ ;  $A3$  и  $A4$  равно  $H$ ;  $A4$  и  $A5$  равно  $H$ ;  $A5$  и  $A6$  равно  $H$ ;  $A6$  и  $A7$  равно  $H$ ;  $A7$  и  $A8$  равно  $H$ ;  $A8$  и  $A9$  равно  $H$ ;  $A9$  и  $A10$  равно  $H$ .

### **Выводы**

1. Для прогноза природной (стихийной) безопасности объектов при землетрясениях применяется численное моделирование при нестационарных волновых воздействиях. Разработаны методика, алгоритм и комплекс программ для решения линейных двумерных (плоских) задач сложной формы при волновых воздействиях.

2. Решена задача о математическом моделировании нестационарных упругих волн напряжений в полуплоскости с полостью, заполненной резиной (соотношение ширины к высоте один к десяти), при сейсмическом воздействии. Решается система уравнений из 8016008 неизвестных. Полость, заполненная резиной (соотношение ширины к высоте один к десяти), уменьшает величину упругого контурного напряжения.

### **Литература:**

1. *Musayev V.K.* On the mathematical modeling of nonstationary elastic waves stresses in corroborated by the round hole // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2015. – Volume 11. Issue 1. – P. 147-156.

2. *Musayev V.K.* Mathematical modeling of non-stationary elastic waves stresses under a concentrated vertical exposure in the form of delta functions on the surface of the half-plane (Lamb problem) // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2019. – Volume 15. Issue 2. – P. 111-124.

3. *Мусаев В.К.* Численное моделирование нестационарных контурных напряжений в полуплоскости с полостью (соотношение ширины к высоте один к пяти) с помощью волновой теории

сейсмической безопасности / Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии. Коллективная монография. – Владикавказ: ГФИ ВНЦ РАН, 2019. – С. 446-451.

4. Мусаев В.К. Математическое моделирование нестационарных упругих волн напряжений (переходной процесс) при воздействии (вертикальное сосредоточенное в виде треугольного импульса) на поверхность полуплоскости (задача Лэмба) // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – № 4. – С. 164-174.

5. Мусаев В.К. Математическое моделирование волн напряжений при сосредоточенном вертикальном воздействии в виде треугольного импульса: задача Лэмба // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2021. – № 2. – С. 112-120.

---

## Мусаев В.К.

### **Волновая теория сейсмической безопасности в задаче о моделировании напряжений в полуплоскости с вертикальной полостью из металла (соотношение ширины к высоте один к десяти)**

**Аннотация:** Решена задача о математическом моделировании нестационарных упругих волн напряжений в полуплоскости с полостью, заполненной металлом (соотношение ширины к высоте один к десяти), при сейсмическом воздействии в виде ступенчатой функции. Решается система уравнений из 8016008 неизвестных. В характерных областях исследуемой задачи получены контурные напряжения и компоненты тензора напряжений. Полость (соотношением ширины к высоте один к десяти), заполненная металлом, увеличивает величину упругого контурного напряжения. Это связано с увеличением акустической жесткости полости.

**Ключевые слова:** волновая теория сейсмической безопасности, комплекс программ Мусаева В.К., сейсмическое воздействие, ступенчатая функция,