

треугольного импульса) на поверхность полуплоскости (задача Лэмба) // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – № 4. – С. 164-174.

6. *Мусаев В.К.* Математическое моделирование нестационарных волн напряжений в деформируемых телах при ударных, взрывных и сейсмических воздействиях. – Москва: Российский университет транспорта, 2021. – 629 с.

7. *Musayev V.K.* Mathematical Modeling of Stresses Under Unsteady Wave Action in Geo-Objects // Power Technology and Engineering. – 2023. – Volume 57. – P. 351-364.

8. *Musayev V.K.* Mathematical Modeling of Explosive and Seismic Impacts on an Underground Structure // Power Technology and Engineering. – 2024. – Volume 57. – P. 875-881.

---

**Мусаев В.К.**

### **Численное моделирование сосредоточенного вертикального взрывного воздействия на плиту со сплошным фундаментом**

**Аннотация:** Приводится информация о математическом моделировании взрывных волн в системе плита со сплошным фундаментом. Решена задача о сосредоточенном воздействии на плиту со сплошным фундаментом.

**Ключевые слова:** вычислительная волновая теория, вычислительная программа Мусаева В.К., плита, сплошной фундамент

Некоторые вопросы в области моделирования нестационарных динамических задач рассмотрены в следующих работах [1-8]. В работах [1-8] приведена информация о верификации моделирования нестационарных волн напряжений.

Рассматривается задача о моделировании взрывного воздействия на плиту со сплошным фундаментом и упругим основанием при воздействии в виде треугольника (рисунки 1-2). Исследуемая задача впервые решена Мусаевым В.К. с помощью разработанной методики, алгоритма и комплекса программ [1-8].

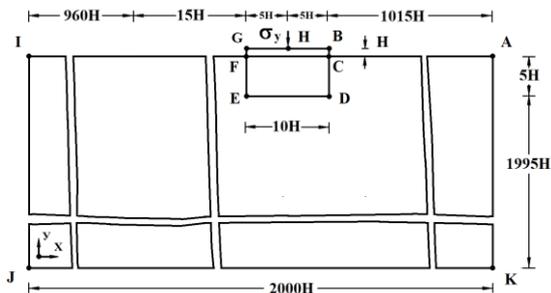


Рисунок 1 – Постановка задачи. Схема В.К. Мусаева

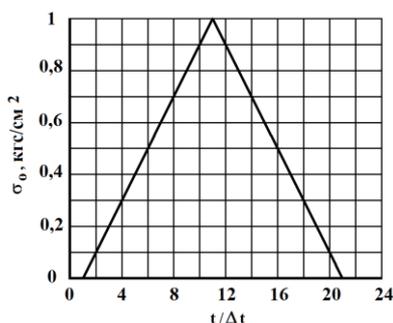


Рисунок 2 – Импульсное воздействие в виде треугольника.  
График В.К. Мусаева

Начальные условия приняты нулевыми. В точке  $H$  приложено сосредоточенное вертикальное взрывное воздействие  $\sigma_y$ , которое при  $0 \leq n \leq 11$  ( $n = t/\Delta t$ ) изменяется линейно от 0 до  $P$ , а при  $11 \leq n \leq 21$  от  $P$  до 0 ( $P = \sigma_0$ ,  $\sigma_0 = -0,1$  МПа ( $-1$  кгс/см<sup>2</sup>)). Граничные условия для контура ИЖА при  $t > 0$   $u = v = \dot{u} = \dot{v} = 0$ . Отраженные волны от контура ИЖА не доходят до исследуемых точек при  $0 \leq n \leq 100$ . При расчетах приняты следующие исходные данные. Для плиты и сплошного фундамента:  $H = \Delta x = \Delta y$ ;  $\Delta t = 2,788 \cdot 10^{-6}$  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 среды:  $H = \Delta x = \Delta y$ ;  $\Delta t = 5,43 \cdot 10^{-6}$  с;  $E = 0,36 \cdot 10^4$  МПа ( $0,36 \cdot 10^5$  кгс/см<sup>2</sup>);  $\nu = 0,36$ ;  $\rho = 0,122 \cdot 10^4$  кг/м<sup>3</sup> ( $0,122 \cdot 10^{-5}$  кгс/см<sup>4</sup>);  $C_p = 1841$  м/с;  $C_s = 1042$  м/с. Решается система уравнений из 16016004 неизвестных.

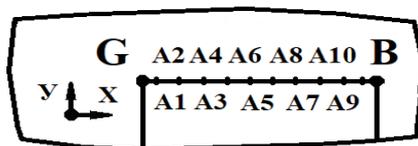


Рисунок 3 – Точки A1-A10, в которых получены контурные напряжения. Схема В.К. Мусаева

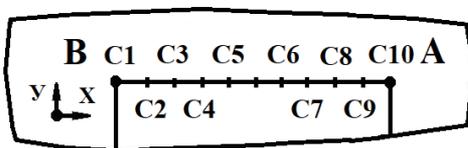


Рисунок 4 – Точки C1-C10, в которых получены перемещения и траектории перемещений. Схема В.К. Мусаева

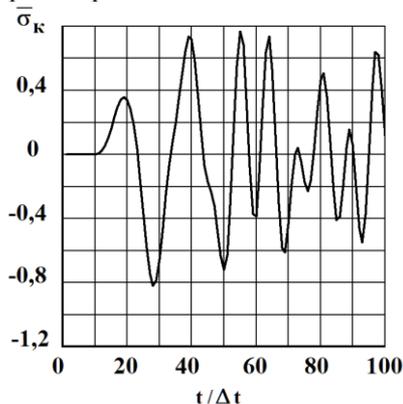


Рисунок 5 – Изменение упругого контурного напряжения во времени в точке A1. График В.К. Мусаева

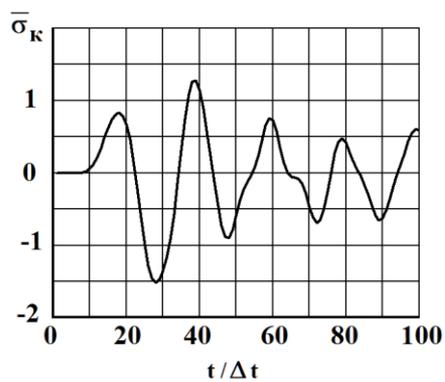


Рисунок 6 – Изменение упругого контурного напряжения во времени в точке А2. График В.К. Мусаева

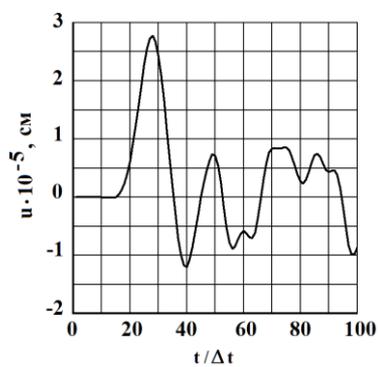


Рисунок 7 – Изменение горизонтального перемещения в точке С1 во времени. График В.К. Мусаева

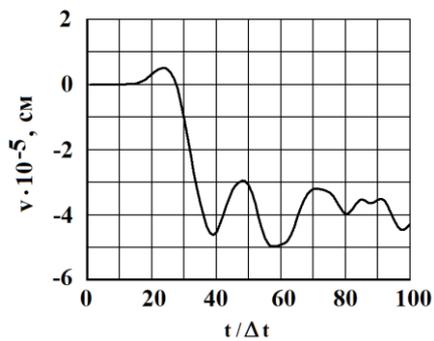


Рисунок 8 – Изменение вертикального перемещения в точке С1 во времени. График В.К. Мусаева

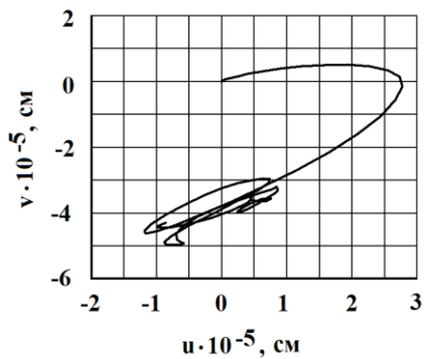


Рисунок 9 – Изменение траектории перемещений в точке С1. График В.К. Мусаева

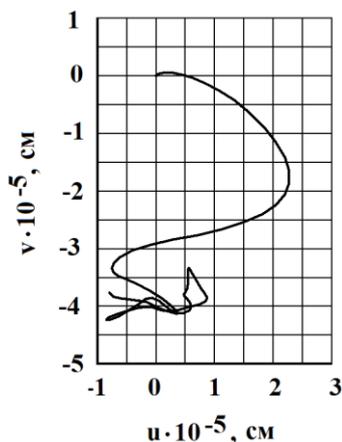


Рисунок 10 – Изменение траектории перемещений в точке С2.  
График В.К. Мусаева

Начальные условия приняты нулевыми. В точке  $H$  приложено сосредоточенное вертикальное взрывное воздействие  $\sigma_y$ , которое при  $0 \leq n \leq 11$  ( $n = t/\Delta t$ ) изменяется линейно от 0 до  $P$ , а при  $11 \leq n \leq 21$  от  $P$  до 0 ( $P = \sigma_0$ ,  $\sigma_0 = -0,1$  МПа ( $-1$  кгс/см<sup>2</sup>)). Граничные условия для контура  $IJKА$  при  $t > 0$   $u = v = \dot{u} = \dot{v} = 0$ . Отраженные волны от контура  $IJKА$  не доходят до исследуемых точек при  $0 \leq n \leq 100$ . При расчетах приняты следующие исходные данные. Для плиты и сплошного фундамента:  $H = \Delta x = \Delta y$ ;  $\Delta t = 2,788 \cdot 10^{-6}$  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 см<sup>2</sup>/см<sup>4</sup>);  $C_p = 3587$  м/с;  $C_s = 2269$  м/с. Для среды:  $H = \Delta x = \Delta y$ ;  $\Delta t = 5,43 \cdot 10^{-6}$  с;  $E = 0,36 \cdot 10^4$  МПа ( $0,36 \cdot 10^5$  кгс/см<sup>2</sup>);  $\nu = 0,36$ ;  $\rho = 0,122 \cdot 10^4$  кг/м<sup>3</sup> ( $0,122 \cdot 10^{-5}$  кгс см<sup>2</sup>/см<sup>4</sup>);  $C_p = 1841$  м/с;  $C_s = 1042$  м/с. Решается система уравнений из 16016004 неизвестных.

Контурное напряжение получено в точках А1-А10 (рисунок 3). В точках А1 и А2 (рисунки 5-6) показано изменение контурного напряжения на свободной поверхности плиты во времени. Компоненты перемещений получены в точках С1-С10 (рисунок 4).

В точке  $C1$  (рисунок 7, 8) показано изменение компонентов перемещений на свободной поверхности плиты во времени. Компоненты траектории перемещений получены в точках  $C1-C10$  (рисунок 4). В точках  $C1$  и  $C2$  (рисунок 9, 10) показано изменение траектории компонентов перемещений на свободной поверхности плиты во времени.

#### Выводы

1. Для решения динамической теории упругости, при нестационарных волновых воздействиях, разработаны методика, алгоритм и комплекс программ.

2. Решена задача о внешнем сосредоточенном вертикальном взрывном воздействии на систему плита со сплошным фундаментом на упругом основании. Взрывное воздействие моделируется в виде треугольного импульса. Получены контурные напряжения, перемещения и траектории перемещений.

3. Проведенные исследования позволили создать математический мониторинг для оценки безопасности сложных технических объектов при нестационарных взрывных воздействиях на плиту с различной конфигурацией фундамента.

#### Литература:

1. *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.

2. *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.

3. *Мусаев В.К.* Математическое моделирование нестационарных волн напряжений в деформируемых телах при ударных, взрывных и сейсмических воздействиях. – М.: Российский университет транспорта, 2021. – 629 с.

4. *Мусаев В.К.* Математическое моделирование переходных процессов в 10-этажном здании, представленных в виде функций Хевисайда // Academia. Архитектура и строительство. – 2022. – № 2. – С. 92-98.

5. *Мусаев В.К.* Компьютерное моделирование нестационарных упругих волн напряжений в консоли и десятиэтажном здании при фундаментальном воздействии в виде функции Хевисайда // РЭНСИТ: Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2022. – № 14(2). – С.187-196.

6. *Musayev V.K.* Modeling of seismic waves stresses in a half-plane with a vertical cavity filled with water (the ratio of width to height is one to ten) // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2022. – Volume 18, Issue 3. – P. 114-125.

7. *Musayev V.K.* Mathematical Modeling of Stresses Under Unsteady Wave Action in Geo-Objects // Power Technology and Engineering. – 2023. – Volume 57. – P. 351-364.

8. *Musayev V.K.* Mathematical Modeling of Explosive and Seismic Impacts on an Underground Structure // Power Technology and Engineering. – 2024. – Volume 57. – P. 875-881.

---

---