

5. Шульц В.Л., Чернов И.В., Кульба В.В., Шелков А.Б. Сценарное планирование в управлении обеспечением национальной безопасности: методологические основы // Национальная безопасность / nota bene. – 2023. – № 5. – С. 36-61.

6. Чернов И.В. Методология сценарного планирования и управления в системе обеспечения национальной безопасности // Управление большими системами. – 2024. – Вып. 112. – С. 187-232.

Мусаев В.К.

Математическое моделирование безопасности наземного защитного сооружения при внешнем волновом сейсмическом воздействии

Аннотация: Приводится информация о математическом моделировании сейсмических волн в наземном защитном сооружении. Получены контурные напряжения в несущей конструкции (плита перекрытия).

Ключевые слова: вычислительная волновая механика, комплекс программа Мусаева В.К., сейсмическое воздействие, наземное защитное сооружение

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 сейсмического воздействия на наземное защитное сооружение (рисунок 1) в виде функции Хевисайда (рисунок 2). Исследуемая задача впервые решена Мусаевым В.К. с помощью разработанной методики, алгоритма и комплекса программ [1-8]. Начальные условия приняты нулевыми. В точке H приложено сейсмическое воздействие σ_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^2)). Граничные условия для контура $IJKL$ при $t > 0$ $u = v = \dot{u} = \dot{v} = 0$. Отраженные

волны от контура $IJKL$ не доходят до исследуемых точек при $0 \leq n \leq 500$.

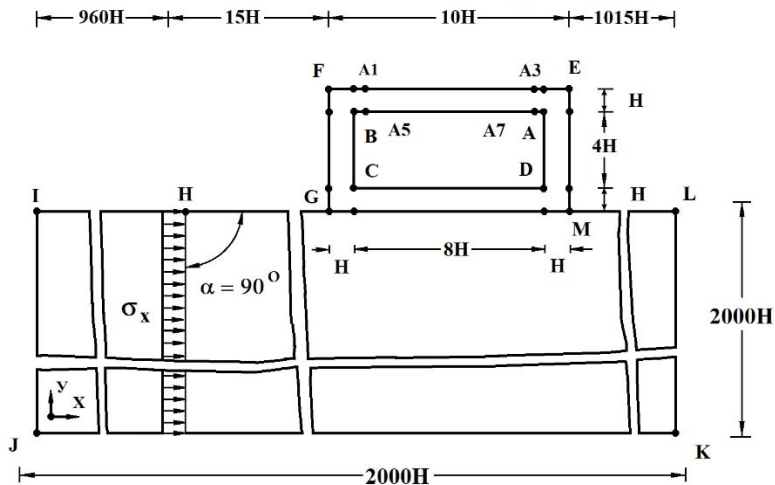


Рисунок 1 – Постановка задачи. Схема В.К. Мусаева

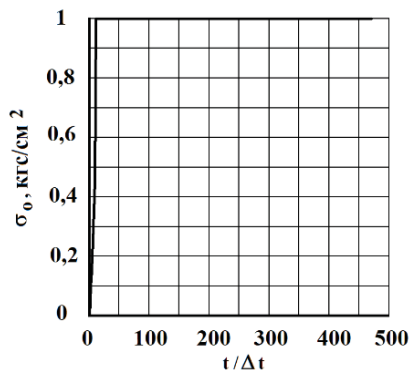


Рисунок 2 – Импульсное воздействие в виде функции Хевисайда.
График В.К. Мусаева

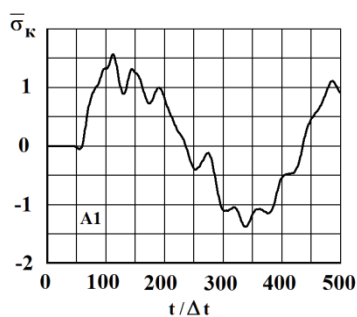


Рисунок 3 – Изменение упругого контурного напряжения во времени в точке A1. График В.К. Мусаева

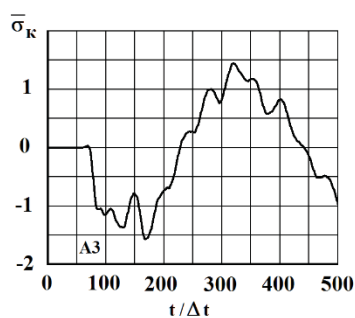


Рисунок 4 – Изменение упругого контурного напряжения во времени в точке A3. График В.К. Мусаева

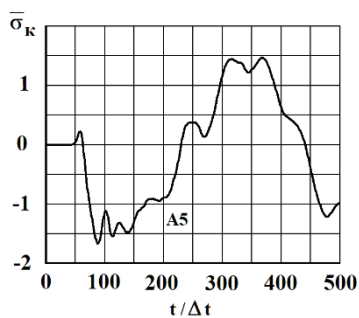


Рисунок 5 – Изменение упругого контурного напряжения во времени в точке A5. График В.К. Мусаева

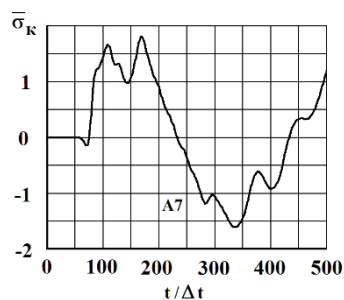


Рисунок 6 – Изменение упругого контурного напряжения во времени в точке А7. График В.К. Мусаева

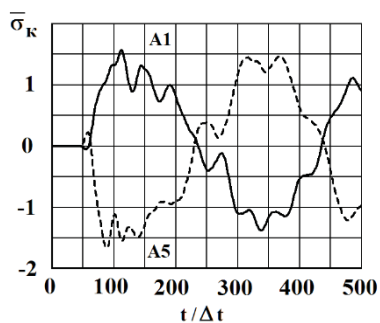


Рисунок 7 – Изменение упругого контурного напряжения во времени в точках А1 и А5. График В.К. Мусаева

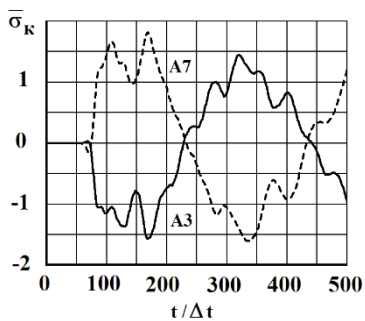


Рисунок 8 – Изменение упругого контурного напряжения во времени в точках А3 и А7. График В.К. Мусаева

Расчеты проведены при следующих физико-механических данных: $H = \Delta x = \Delta y$; $\Delta t = 2,786 \cdot 10^{-6}$ с; $E = 3,15 \cdot 10^4$ МПа ($3,15 \cdot 10^5$ кгс/см²); $\nu = 0,2$; $\rho = 0,255 \cdot 10^4$ кг/м³ ($0,255 \cdot 10^{-5}$ кгс с²/см⁴); $C_p = 3587$ м/с; $C_s = 2269$ м/с. Решалась система из 16016184 неизвестных.

Контурное напряжение представлено в точках $A1$, $A3$, $A5$ и $A7$ (рисунок 3-8). Показано изменение контурного напряжения на свободной поверхности перекрытия наземного защитного сооружения во времени – несущей конструкции.

Выводы

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

2. Доказано, что для корректного решения задачи необходимо соблюдать все требования, предъявляемые к волновым задачам.

3. Результаты исследования должны быть доступны для понимания читателями, чтобы они могли оценить их и воспроизвести с помощью других вычислительных методов.

4. Необходимо обеспечить соответствие физическим законам и математическую корректность при анализе напряженного состояния. Дело в том, что переход от перемещений к деформациям осуществляется через производную, что может привести к потере точности результатов.

5. В данной работе изучается сейсмическое воздействие на наземный защитный объект. Решена задача о внешнем сейсмическом воздействии (функция Хевисайда или ступенька) на наземное защитное сооружение.

6. Получены контурные напряжения в перекрытии. Показаны изгибные волны по толщине перекрытия наземного защитного сооружения.

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 сейсмических волн напряжений в полуплоскости вертикальной полостью из резины: соотношение ширины к высоте один к десяти / Проблемы управления безопасностью сложных систем: Материалы XXIX международной научно-практической конференции. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2021. – С. 373-379.

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. *Musayev V.K.* Computer simulation of unsteady elastic stress waves in a console and a ten-storey building under fundamental influence in the form of a Heaviside function // RENSIT: Radioelectronics. Nanosystems. Information technologies. – 2022. – Vol. 14. №2. – P. 187-196.

6. *Мусаев В.К.* Математическое моделирование нестационарных волн напряжений в деформируемых телах при ударных, взрывных и сейсмических воздействиях. – М.: 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 безопасности наземного защитного сооружения при сосредоточенном внешнем волновом взрывном воздействии

Аннотация: Приводится информация о математическом моделировании взрывных волн в наземном защитном