

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

Ключевые слова: вычислительная волновая теория, вычислительная программа Мусаева В.К., защитное сооружение, взрывное воздействие

Рассматривается задача о моделировании взрывного воздействия на наземное защитное сооружение при воздействии в виде треугольника (рисунок 1-2). Исследуемая задача впервые решена Мусаевым В.К. с помощью разработанной методики, алгоритма и комплекса программ [1-8].



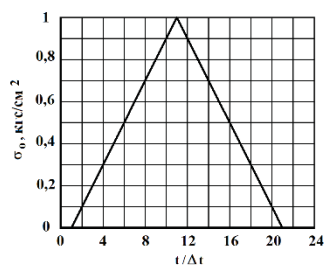


Рисунок 2 – Импульсное воздействие в виде треугольника. График В.К. Мусаева

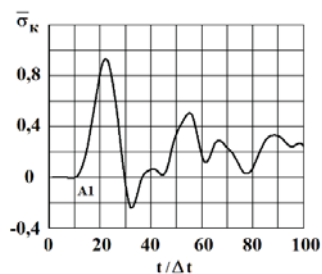


Рисунок 3 – Изменение упругого контурного напряжения во времени в точке А1. График В.К. Мусаева

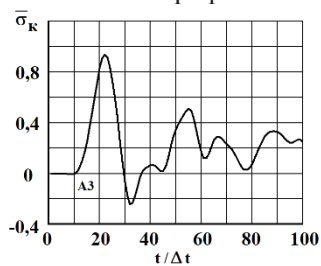


Рисунок 4 – Изменение упругого контурного напряжения во времени в точке А3. График В.К. Мусаева

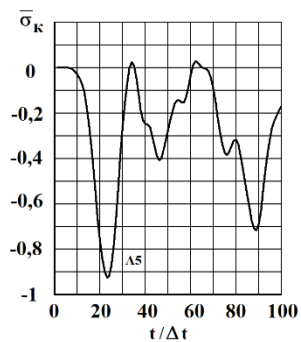


Рисунок 5 – Изменение упругого контурного напряжения во времени в точке A5. График В.К. Мусаева

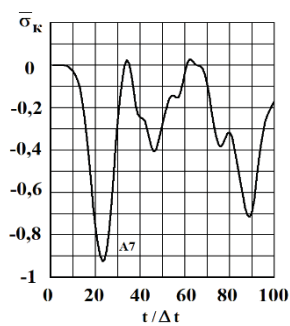


Рисунок 6 – Изменение упругого контурного напряжения во времени в точке A7. График В.К. Мусаева

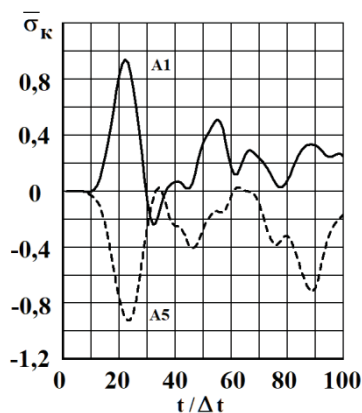


Рисунок 7 – Изменение упругого контурного напряжения во времени в точках A1 и A5. График В.К. Мусаева

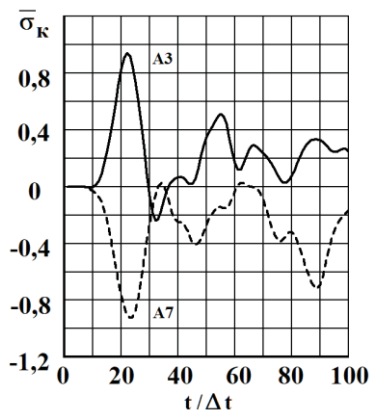


Рисунок 8 – Изменение упругого контурного напряжения во времени в точках A3 и A7. График В.К. Мусаева

Начальные условия приняты нулевыми. В точке F приложено сосредоточенное вертикальное взрывное воздействие σ_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/см²)). Граничные условия для контура $JKLM$ при $t > 0$ $u = v = \dot{u} = \dot{v} = 0$. Отраженные

волны от контура $JKLM$ не доходят до исследуемых точек при $0 \leq n \leq 100$.

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 приводится в точках $A1$, $A3$, $A5$ и $A7$ (рисунок 3-8). Показано изменение контурного напряжения на плите перекрытия защитного наземного сооружения во времени и по толщине горизонтального перекрытия – несущей конструкции.

Выводы

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

2. В результате исследования научных трудов, посвященных динамическому моделированию деформируемых объектов, были получены следующие результаты.

3. Доказано, что для корректного решения задачи необходимо, чтобы все условия были соблюдены, в том числе использование любой системы координат в расчетной схеме.

4. Результаты, которые были получены, должны быть доступны для понимания читателями, чтобы они могли оценить их и воспроизвести другими численными методами.

5. Для того чтобы обеспечить достоверность численного метода расчетов напряженного состояния, необходимо провести верификацию.

6. Решена задача о внешнем сосредоточенном вертикальном взрывном воздействии на наземное защитное сооружение. Взрывное воздействие моделируется в виде треугольного импульса. Получены контурные напряжения в перекрытии наземного защитного сооружения – несущая конструкция.

7. Получены изгибные волны в перекрытии наземного защитного сооружения.

8. Проведенные исследования позволили создать математический мониторинг для оценки безопасности сложных технических объектов при нестационарных взрывных воздействиях

на наземное защитное сооружение.

Литература:

1. Мусаев В.К. Оценка влияния взрывов на объекты геотехники с помощью полостей / Геотехнические проблемы мегаполисов. Труды Международной конференции по геотехнике. – М.: ПИ «Георекострукция», 2010. – С. 1733-1740.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

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.