

клеток поля клеточного автомата. Параметры динамики детерминированной модели могут быть использованы в качестве эталонных значений различных режимов динамики системы.

Данная модель при условии соответствующей модификации может применяться для исследования широкого класса процессов, в которых имеет место конкуренция нескольких пространственно-распределенных акторов

Литература:

1. *Lotka A.J.* Elements of Physical Biology. – Williams and Wilkins, 1925. – 495 p.

2. *May R.M., Leonard W.J.* Nonlinear aspects of competition between three species // SIAM Journal on Applied Mathematics. – 1975. – Vol. 29. Iss. 2. – P. 243-253.

3. *Чернавский Д.С.* Синергетика и информация: динамическая теория информации. – М.: Наука, 2001. – 243 с.

4. *Малков С.Ю., Кирилюк И.Л.* Базовая модель социальных взаимодействий / В книге: Анализ и моделирование мировой и страновой динамики: методология и базовые модели. – М.: Учитель, 2015. – С. 78-93.

5. *Haegerstrand T.* Innovation diffusion as a spatial process. – The University of Chicago Press, 1967. – 334 p.

6. *Малков А.С.* О математическом моделировании товаропотоков. – М.: Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2005. – 45 с.

7. *Тоффоли Т., Марголюс Н.* Машины клеточных автоматов. – М: Мир, 1991. – 280 с.

DOI: 10.25728/iccsm.2023.94.89.064

Мусаев В.К.

Математическое моделирование волновых сейсмических воздействий на подземное сооружение

Аннотация: Приводится информация о математическом (компьютерном) моделировании нестационарных волн в подземном сооружении при сейсмических воздействиях.

Решена задача о внешнем сейсмическом воздействии на подземное сооружение. Получены новые результаты о контурных напряжениях на свободной поверхности при сейсмическом воздействии с учетом подземного сооружения.

Ключевые слова: волновая теория сейсмической безопасности; вычислительный эксперимент; комплекс программ Мусаева В.К.; контурные напряжения; подземное сооружение

Для моделирования нестационарных волн переходного периода в деформируемых телах сложной формы, рассмотрено некоторое тело в прямоугольной декартовой системе координат, которому в начальный момент времени, сообщается импульсное (нестационарное) механическое воздействие [1-7].

Для решения задачи о распространении волн напряжений в деформируемых телах применяем уравнения динамической теории упругости [1-7].

Составлен комплекс программ для решения нестационарной динамической задачи теории упругости для областей разной (сложной) формы [1-7].

В работе приводится компьютерное (цифровое) решение задачи о моделировании нестационарных сейсмических волн в подземном сооружении. Применяется методика неотражающих граничных условий.

Некоторые вопросы в области моделирования нестационарных динамических задач рассмотрены в следующих работах [1-7].

В работах [1-7] приведена информация о верификации моделирования нестационарных волн напряжений в деформируемых телах с помощью рассматриваемого численного метода, алгоритма и комплекса программ.

Приближенное значение уравнения движения в теории упругости приведено в следующих работах [1-7]. В работах приведена информация о явной двухслойной схеме [1-7].

Шаг по времени для устойчивости явной двухслойной схемы для внутренних и граничных узловых точек на квазирегулярных сетках приведен в следующих работах [1-7].

Рассматривается задача о моделировании сейсмического воздействия на подземное сооружение при воздействии в виде ступеньки (рисунок 1, 2).

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

Для перехода в другие единицы измерения были приняты следующие допущения: $1 \text{ кгс/см}^2 \approx 0,1 \text{ МПа}$; $1 \text{ кгс с}^2/\text{см}^4 \approx 10^9 \text{ кг/м}^3$.

Исследуемая задача впервые решена Мусаевым В.К. с помощью разработанной методики, алгоритма и комплекса программ [1-7].

Начальные условия приняты нулевыми. От точки H параллельно свободной поверхности $IHGFE$ приложено нормальное напряжение 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 ($P = \sigma_0$, $\sigma_0 = 0,1 \text{ МПа}$ (1 кгс/см^2)).

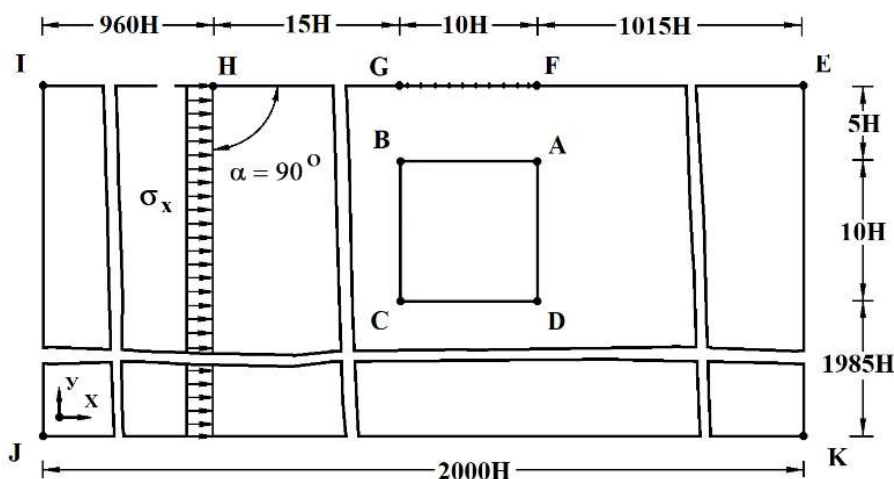


Рисунок 1 – Постановка задачи о сейсмическом воздействии на подземное сооружение. Схема В.К. Мусаева

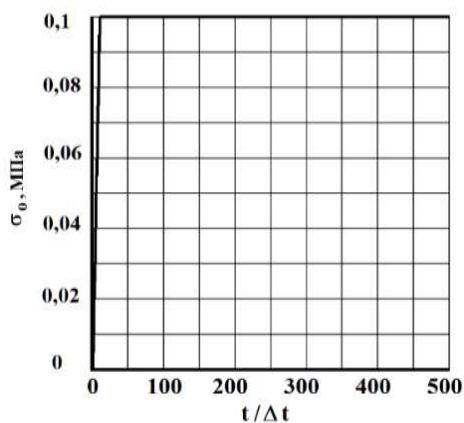


Рисунок 2 – Импульсное воздействие в виде ступеньки (функция Хевисайда). График В.К. Мусаева

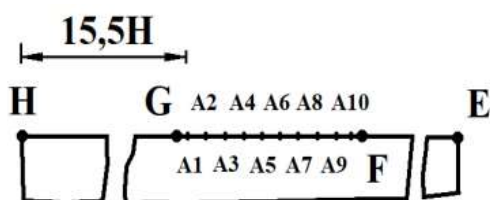


Рисунок 3 – Точки A1-A10, в которых получены контурные напряжения

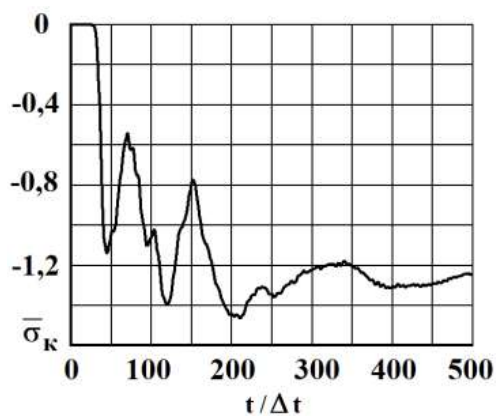


Рисунок 4 – Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ во времени $t/\Delta t$ в точке A1. График В.К. Мусаева

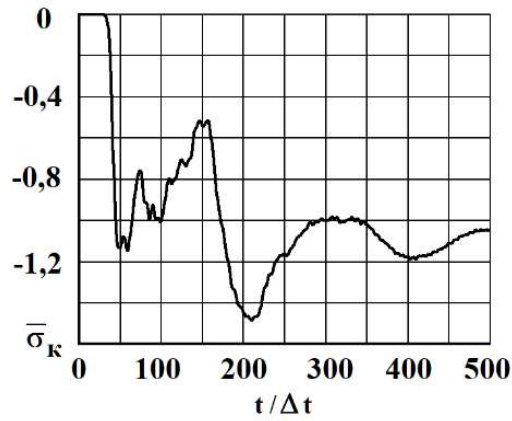


Рисунок 5 – Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ во времени $t/\Delta t$ в точке A2. График В.К. Мусаева

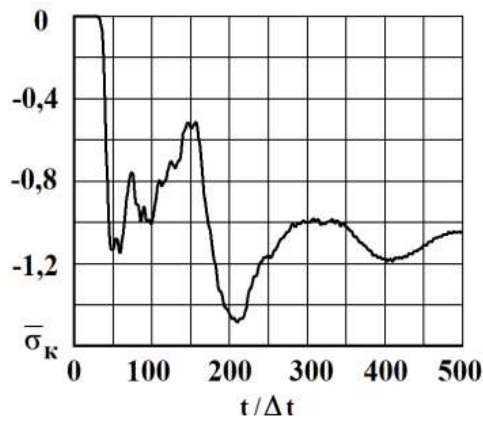


Рисунок 6 – Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ во времени $t/\Delta t$ в точке A3. График В.К. Мусаева

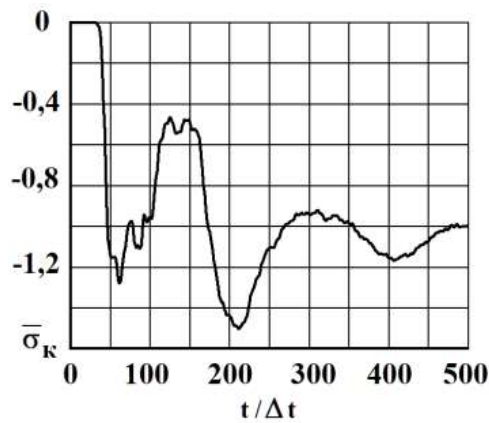


Рисунок 7 – Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ во времени $t/\Delta t$ в точке A4. График В.К. Мусаева

Граничные условия для контура $IJKE$ при $t > 0$ $u = v = \dot{u} = \dot{v} = 0$. Отраженные волны от контура $IJKE$ не доходят до исследуемых точек при $0 \leq n \leq 500$.

При расчетах приняты следующие исходные данные: $H = \Delta x = \Delta y$; $\Delta t = 2,788 \cdot 10^{-6}$ с; $E = 3,15 \cdot 10^4$ МПа ($3,15 \cdot 10^5$ кгс/см²); $\nu = 0,2$; $\rho = 0,255 \cdot 10^4$ кг/м³ ($0,255 \cdot 10^5$ кгс/см⁴); $C_p = 3587$ м/с; $C_s = 2269$ м/с. Решается система уравнений из 16016004 неизвестных.

Контурное напряжение $\bar{\sigma}_k$ получено в точках $A1-A10$ (рисунок 3). В точках $A1$, $A2$, $A3$ и $A4$ (рисунки 4-7) показано изменение контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ на свободной поверхности во времени $t/\Delta t$ (сейсмическое воздействие).

Выводы

Для решения динамической теории упругости, при нестационарных волновых воздействиях, разработаны методика, алгоритм и комплекс программ (комплекс программ Мусаева В.К.). При разработке комплекса программ использовался алгоритмический язык Фортран-90.

Решена задача о внешнем сейсмическом воздействии в подземном сооружении на окружающую среду. Сейсмическое воздействие моделируется в виде ступеньки, функция Хевисайда. Получены контурные напряжения на свободной поверхности.

Величина контурных напряжений в задачах с учетом подземного сооружения выше по сравнению с задачами без подземного 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.* Numerical simulation of non-stationary seismic stresses in elastic waves dam Koyna with base (half-plane) // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2016. – Volume 12. Issue 3. – P. 84-94.

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. *Мусаев В.К.* Математическое моделирование напряжений при нестационарных волновых воздействиях в геообъектах // *Гидротехническое строительство.* – 2023. – № 3. – С. 14-28.

DOI: 10.25728/iccss.2023.58.50.065

Мусаев В.К.

Численное моделирование сейсмических воздействий (волновая теория сейсмической безопасности) на десятиэтажное здание с подвалом

Аннотация: Приводится информация о математическом (компьютерном) моделировании нестационарных волн в десятиэтажном здании с подвалом при внешних сейсмических воздействиях. Разработаны методика, алгоритм и комплекс программ для решения волновых уравнений механики деформируемых тел Решена задача о внешнем сейсмическом воздействии на десятиэтажное здание с подвалом. Получены новые результаты о контурных напряжениях в исследуемом объекте.

Ключевые слова: компьютерное моделирование; нестационарные волновые уравнения; динамика сплошных