

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

деформируемых сред; сейсмические процессы; функция Хевисайда; десятиэтажное здание; подвал; волны напряжений; комплекс программ Мусаева В.К.

В работе приводится цифровое решение задачи о моделировании нестационарных сейсмических волн на десятиэтажное здание с упругой полуплоскостью.

Программированный и алгоритмический подход представления научных результатов в настоящее время является приоритетным в цифровой экономике. Каждый ученый имеет свои инструменты для исследования и представления научных результатов.

Некоторые вопросы в области моделирования нестационарных волновых задач рассмотрены в следующих работах [1-7]. Постановка нестационарных динамических задач механики деформируемого твердого тела приведена в следующих работах [1-7].

Применение рассматриваемого численного метода, алгоритма и комплекса программ для решения нестационарных волновых задач в деформируемых телах сложной формы приведено в работах [1-7].

Оценка точности и достоверности рассматриваемого численного метода, алгоритма и комплекса программ приведена в следующих работах [1-7].

На основе метода конечных элементов разработана методика, разработан алгоритм и составлен комплекс программ для решения двумерных волновых задач динамической теории упругости [1-7].

Расчеты проводились при следующих единицах измерения: килограмм-сила (кгс); сантиметр (см); секунда (с). Для перехода в другие единицы измерения были приняты следующие допущения: $1 \text{ кгс/см}^2 \approx 0,1 \text{ МПа}$; $1 \text{ кгс}\cdot\text{с}^2/\text{см}^4 \approx 10^9 \text{ кг/м}^3$.

Рассматривается задача о моделировании напряженного состояния в десятиэтажном здании с подвальным этажом (рисунок 1) при сейсмическом воздействии в виде функции Хевисайда (рисунок 2).

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

Начальные условия приняты нулевыми. От точки P параллельно свободной поверхности QPH приложено нормальное

напряжение σ_x , которое при $0 \leq n \leq 20$ ($n = t/\Delta t$) изменяется линейно от 0 до P , а при $n \geq 20$ равно P ($P = \sigma_0$, $\sigma_0 = 0,1$ МПа (1 кгс/см²)). Граничные условия для контура $QRSA$ при $t > 0$ $u = v = \dot{u} = \dot{v} = 0$. Отраженные волны от контура $QRSA$ не доходят до исследуемых точек при $0 \leq n \leq 2000$. 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 с²/см⁴); $C_p = 3587$ м/с; $C_s = 2269$ м/с.

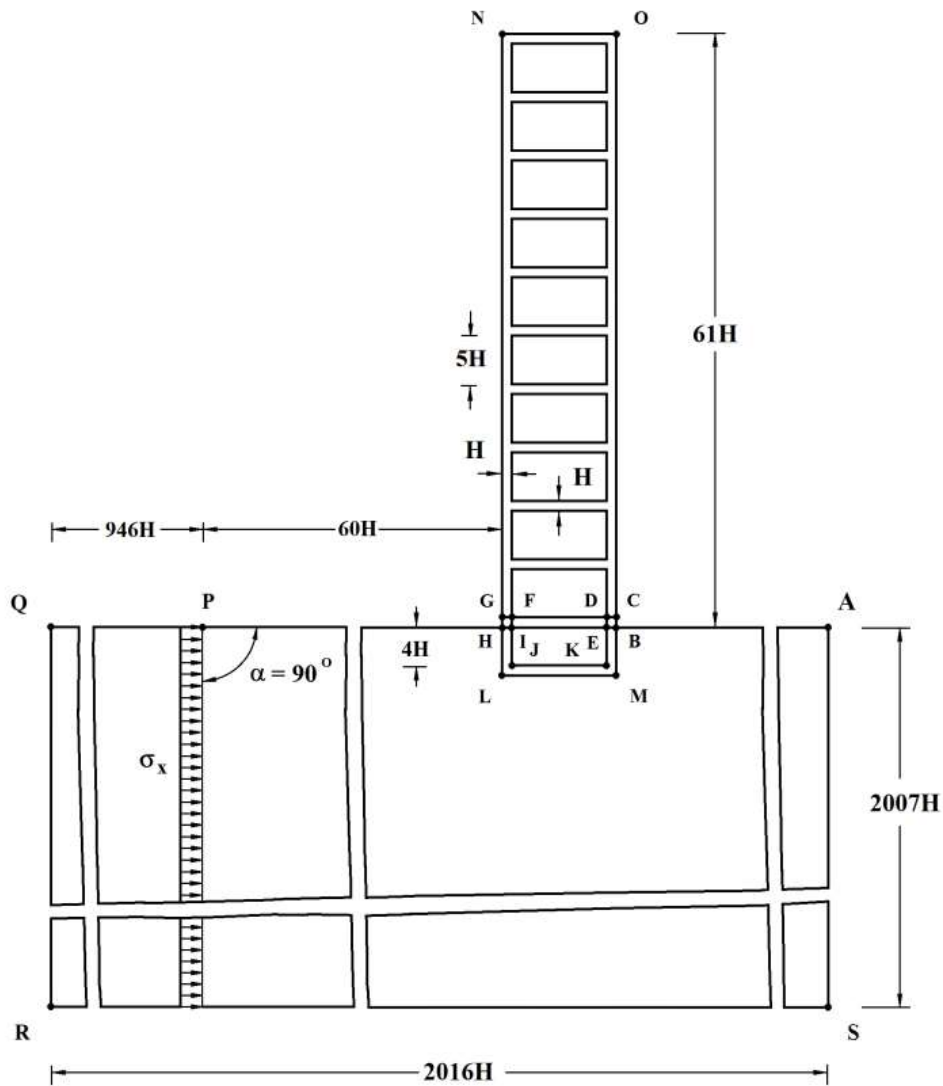


Рисунок 1 – Постановка задачи для десятиэтажного здания с упругим основанием при сейсмическом воздействии (полуплоскость). Схема Мусаева В.К.

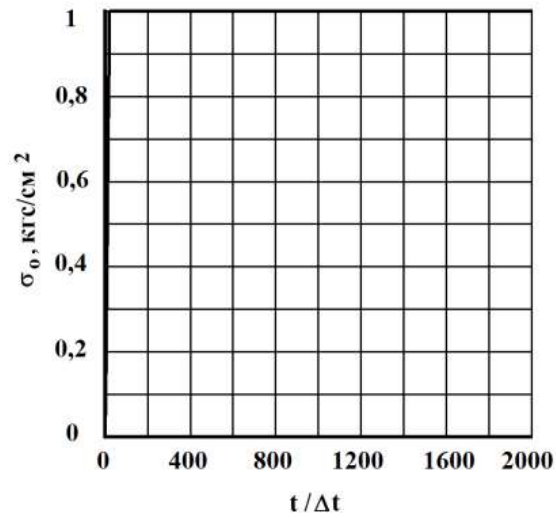


Рисунок 2 – Воздействие в виде функции Хевисайда.
График Мусаева В.К.

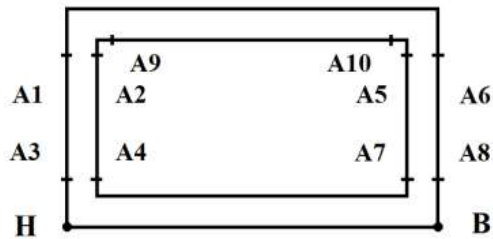


Рисунок 3 – Точки, в которых получены упругие напряжения во времени. Схема Мусаева В.К.

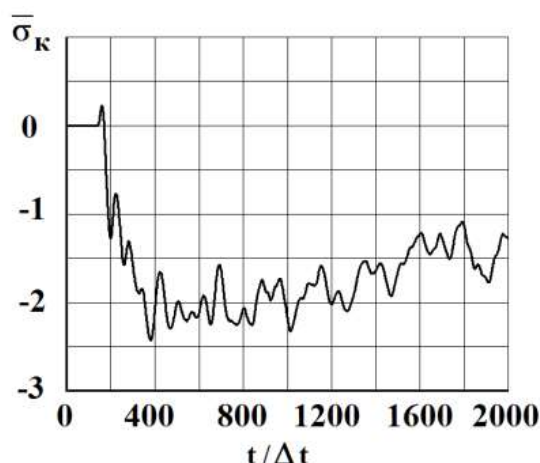


Рисунок 4 – Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в точке $A9$ на контуре десятиэтажного здания во времени $t/\Delta t$.
График Мусаева В.К.

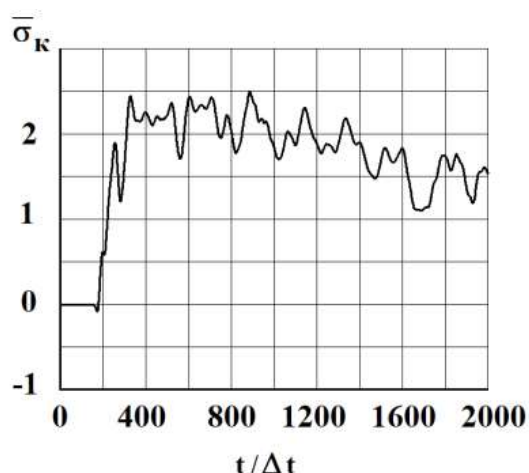


Рисунок 5 – Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в точке $A10$ на контуре десятиэтажного здания во времени $t/\Delta t$.
График Мусаева В.К.

Решается система уравнений из 16202276 неизвестных. Контурное напряжение $\bar{\sigma}_k$ получено в точках $A1-A10$ (рисунок 3). В точках $A9$ и $A10$ (рисунки 4, 5) показано изменение контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в десятиэтажном здании с подвальным этажом во времени $t/\Delta t$.

Выводы

Исследование поставленной задачи реализуется с помощью численного моделирования уравнений нестационарной динамической теории упругости.

На основе метода конечных элементов (вычислительный эксперимент) разработана методика, разработан алгоритм и составлен комплекс программ для решения уравнений динамической теории упругости для областей разной формы.

Десятиэтажное здание с подвалом моделируется с упругим основанием в виде упругой полуплоскости. Сейсмическое воздействие моделируется в виде функции Хевисайда (ступенчатая функция). В характерных точках исследуемого объекта получены контурные 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.* 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.

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

5. *Мусаев В.К.* Вычислительная механика в задачах волновой теории сейсмической безопасности. – М.: Российский университет транспорта, 2021. – 652 с.

6. *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.

7. *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.
