

2. *Мусаев В.К.* Вычислительный эксперимент в задачах моделирования нестационарных волн напряжений в областях сложной формы//Исследования по теории сооружений. – 2010. – № 2. – С. 138-149.

3. *Мусаев В.К.* О моделировании отражения упругих волн напряжений от свободной поверхности деформируемой области//Двойные технологии. – 2012. – № 4. – С. 61–64.

4. *Мусаев В.К.* О достоверности результатов математического моделирования нестационарных волн напряжений в объектах сложной формы//Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2014. – № 3. – С. 71-76.

5. *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.

6. *Musayev V.K.* Mathematical modeling of seismic nonstationary elastic waves stresses in Kurpsai dam with a base (half-plane)//International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2016. – Volume 12. Issue 3. – P. 73-83.

Мусаев В.К.

Математическое моделирование гасителя волн (резина) в консоли с упругим основанием при нестационарном сейсмическом воздействии

Аннотация: Целью работы является рассмотрение проблем численного моделирования гасителя волн (резина) между консолью и упругим основанием при нестационарных сейсмических волновых воздействиях. На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы: гаситель волн существенно уменьшает величины растягивающих и сжимающих напряжений в консоли; упругое контурное напряжение на гранях консоли является почти зеркальным отражением одна другой, то есть антисимметричным; на контурах консоли при сейсмическом воздействии в основном преобладают изгибные волны.

Ключевые слова: волновая теория сейсмической безопасности, механика деформируемой среды, комплекс программ, консоль, гаситель волн, резина, полуплоскость, контурное напряжение, изгибные волны

Импульсное воздействие характеризуется внезапностью приложения и кратковременностью действия. Для уменьшения напряженного состояния применяются различные гасители волн и колебаний. Проводится исследование о применении резиновых гасителей волн от нестационарных сейсмических воздействий.

Некоторые вопросы в области моделирования нестационарных динамических задач рассмотрены в следующих работах [1–6].

В работах [2–4] приведена информация о достоверности и точности моделирования волн напряжений в деформируемых телах с помощью рассматриваемого комплекса программ.

Рассматривается задача о воздействии плоской продольной упругой волны в виде функции Хевисайда на консоль с основанием (соотношение ширины к высоте один к десяти) (рисунок 1), при учете прослойки из резины между консолью и упругим основанием.

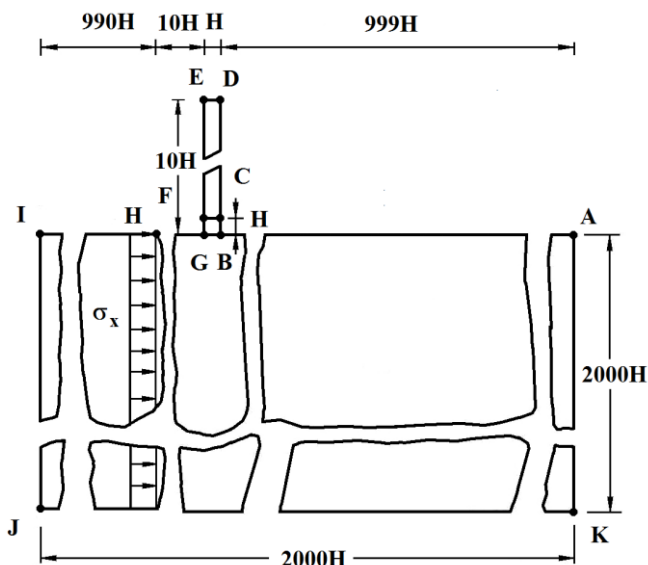


Рисунок 1 – Постановка задачи для консоли с упругим основанием (полуплоскость)

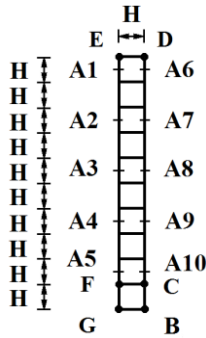


Рисунок 2 – Точки, в которых получены контурные напряжения в консоли

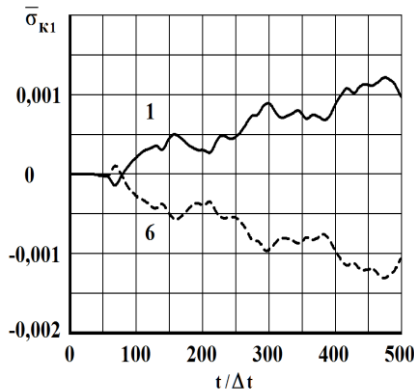


Рисунок 3 – Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_{k1}$ в точках 1 и 6 на контуре консоли во времени $t/\Delta t$

Начальные условия приняты нулевыми. От точки H параллельно свободной поверхности АВGH 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 ($P = \sigma_0$, $\sigma_0 = 0,098$ МПа (1 кгс/см^2)). 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 $0 \leq n \leq 500$. Контур ABCDEFGH свободен от нагрузок, кроме точки H. Решается система уравнений из 16016084 неизвестных.

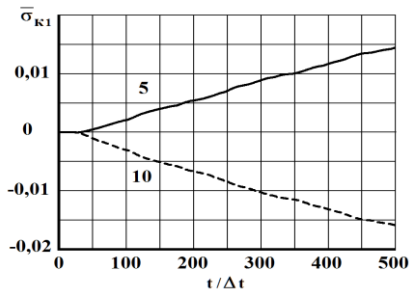


Рисунок 4 – Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_{k1}$ в точках 5 и 10 на контуре консоли во времени $t/\Delta t$

Таблица 1 – Сравнение результатов расчета с резиной и без резины

№, точек	max $\bar{\sigma}_k$, без резины	min $\bar{\sigma}_k$, без резины	max $\bar{\sigma}_{k1}$, с резиной	min $\bar{\sigma}_{k1}$, с резиной
1	0,471173	-0,263899	0,001220	-0,000138
2	1,346614	-1,038565	0,010711	-0,000311
3	1,073725	-1,322855	0,022585	-0,000175
4	0,612148	-1,725892	0,02722	-0,000029
5	0,168218	-1,911756	0,014462	-0,000005
6	0,253589	-0,443184	0,000106	-0,001304
7	1,157436	-1,246461	0,000103	-0,011143
8	1,358660	-1,004953	0,0	-0,023351
9	1,800496	-1,052529	0,0	-0,028274
10	1,861262	-0,536494	0,0	-0,015892

Для исследуемых материалов приняты следующие исходные данные. Для областей CDEF и ABGIJK приняты следующие исходные данные: $H = \Delta x = \Delta y$; $\Delta t = 2,788 \cdot 10^{-6}$ с; $E = 3,09 \cdot 10^4$ МПа ($3,15 \cdot 10^5$ кгс/см²); $\nu = 0,2$; $\rho = 0,25 \cdot 10^4$ кг/м³ ($0,255 \cdot 10^{-5}$ кгс см²/см⁴); $C_p = 3587$ м/с; $C_s = 2269$ м/с. Для области CFGV (резина) приняты следующие исходные данные: $H = \Delta x = \Delta y$; $\Delta t = 0,934 \cdot 10^{-4}$ с; $E = 2,0$ МПа ($20,39$ кгс/см²); $\nu = 0,5$; $\rho = 0,93 \cdot 10^3$ кг/м³ ($0,948 \cdot 10^{-6}$ кгс см²/см⁴); $C_p = 53,55$ м/с; $C_s = 26,78$ м/с.

Таблица 2 – Сравнение максимальных и минимальных напряжений с резиной и без резины

№, точек	$G_1 = \frac{\max \bar{\sigma}_k}{\max \bar{\sigma}_{k1}}$	$G_2 = \frac{\min \bar{\sigma}_k}{\min \bar{\sigma}_{k1}}$
1	386,207377	1912,311594
2	125,722528	3339,437299
3	47,541510	7559,17143
4	22,488901	59513,517241
5	11,631725	382351,2
6	2392,349057	339,865031
7	11237,242718	111,860451
8	-	43,036829
9	-	37,226038
10	-	33,758747

На рисунках 3–4 показано изменение контурных напряжений $\bar{\sigma}_{k1}$ в консоли с основанием (рисунок 2) во времени $t/\Delta t$.

В работах [5–6] приведены результаты численного решения задачи о воздействии плоской продольной упругой волны в виде функции Хевисайда на консоль с основанием (соотношение ширины к высоте один к десяти), без резины в области примыкания консоли с упругим основанием.

В таблицах 1 и 2 приведено сравнение результатов расчета без резины и с резиной в области примыкания консоли с упругим основанием.

Выводы:

1. Консоль (соотношение ширины к высоте один к десяти) моделируется с упругим основанием в виде упругой полуплоскости.
2. Между консолью и упругим основанием моделируется гаситель волн в виде резины.
3. Сравнение результатов контурных напряжений показывает, что применение гасителей волн в виде резины дает хороший результат.

4. Упругое контурное напряжение на гранях консоли является почти зеркальным отражением одна другой, то есть антисимметричным.

5. Консоль при сейсмическом воздействии работает как стержень переменного сечения, то есть если на одной грани растягивающие напряжения, то на другой сжимающие напряжения.

6. На контурах консоли при сейсмическом воздействии в основном преобладают изгибные волны.

Литература:

1. *Мусаев В.К.* О моделировании сейсмической волны параллельной свободной поверхности упругой полуплоскости//Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2009. – № 4. – С. 61-64.

2. *Мусаев В.К.* Вычислительный эксперимент в задачах моделирования нестационарных волн напряжений в областях сложной формы//Исследования по теории сооружений. – 2010. – № 2. – С. 138-149.

3. *Мусаев В.К.* О моделировании отражения упругих волн напряжений от свободной поверхности деформируемой области//Двойные технологии. – 2012. – № 4. – С. 61-64.

4. *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.

5. *Мусаев В.К.* Математическое моделирование нестационарных упругих волн напряжений в консоли с основанием (полуплоскость) при фундаментальном сейсмическом воздействии//Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2019. – № 6. – С. 29-33.

6. *Мусаев В.К.* Численное моделирование упругих волн напряжений в консоли (соотношение ширины к высоте один к десяти) с основанием (полуплоскость) с помощью волновой теории сейсмической безопасности//Проблемы безопасности российского общества. – 2020. – № 1. – С. 16-22.