

Защита от поверхностных волн сейсмической природы с помощью барьеров сложной формы

Выполнила

Ю.В. Жукова

Руководитель

к. ф.-м. н., доцент

В.А. Братов

Землетрясения



Цели и задачи

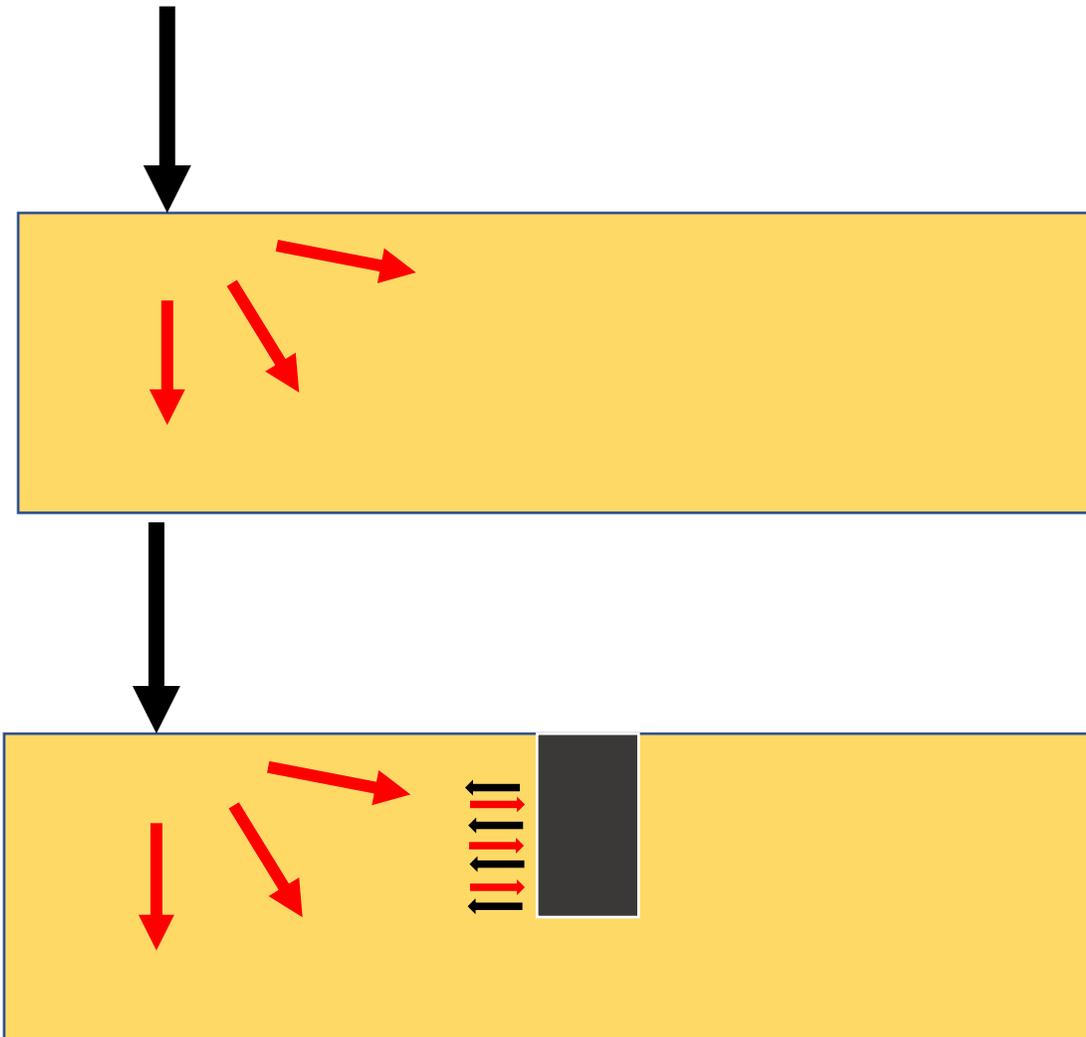
Цель

- Анализ влияния вертикальных сейсмических барьеров сложной формы на распространение поверхностных волн.

Задачи

- Разработать К-Э модель вертикального сейсмического барьера: выбор геометрических параметров, физико-механических свойств барьера, задание граничных условий и внешнего воздействия;
- Сравнить результаты для различных сложных геометрий барьера и выбрать оптимальный для данной нагрузки.

Сейсмические барьеры



Преимущества:

- Можно установить вокруг существующих зданий;
- Защищают не одно здание, а всю территорию и сооружения, которые окружают;
- Защищают как надземную, так и подземную части здания;
- Разрушение барьера не влечет разрушения сооружения.

Внешняя задача Лэмба

Распространение волн без барьера

Уравнение распространения волн в упругой полуплоскости

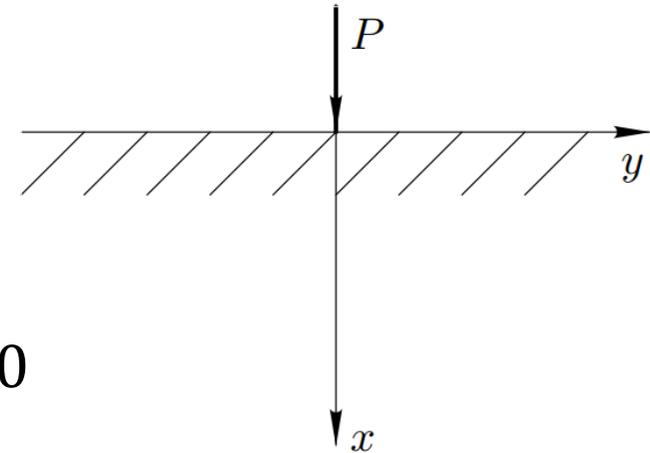
$$\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \underline{u}(\underline{r}, t) = (\lambda + \mu) \nabla(\nabla \cdot \underline{u}(\underline{r}, t)) + \mu \Delta \underline{u}(\underline{r}, t) + \underline{P}(\underline{r}, t)$$

Начальные и граничные условия

$$\underline{t}_n(t, 0, y) = \left(\lambda \operatorname{tr}(\underline{\varepsilon}) \underline{E} + 2\mu \underline{\varepsilon} \right) \cdot \underline{n} = \underline{P}(t, 0, y) \quad \underline{u}(0, x, y) = 0$$
$$\underline{t}(0, x, y) = 0 \quad \dot{\underline{u}}(0, x, y) = 0$$

где ρ – плотность, t – время, \underline{r} – радиус-вектор, λ, μ – параметры Ламе; ρ - плотность среды,

\underline{P} - нагрузка, \underline{t} - тензор напряжений.



Внешняя задача Лэмба

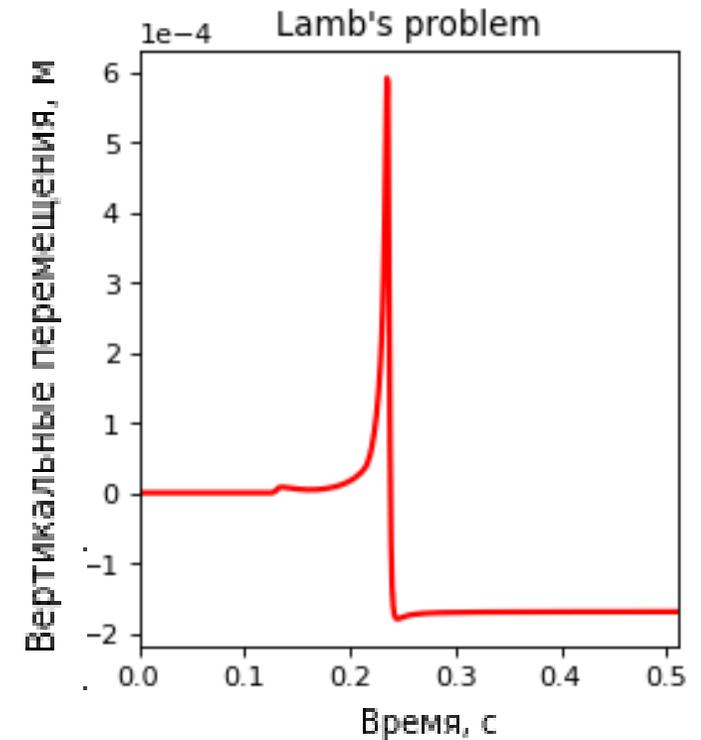
Распространение волн без барьера

$$u_x(\tau, 0, y) = \begin{cases} -\frac{PV_p}{\pi\mu y} \frac{v^2\sqrt{s^2-1}(v^2-2s^2)^2}{(v^2-2s^2)^4-16s^4(1-s^2)(v^2-s^2)}, & 1 < s < v \\ -\frac{PV_p}{\pi\mu y} \frac{v^2\sqrt{s^2-1}}{R(s)}, & v < s \end{cases}$$

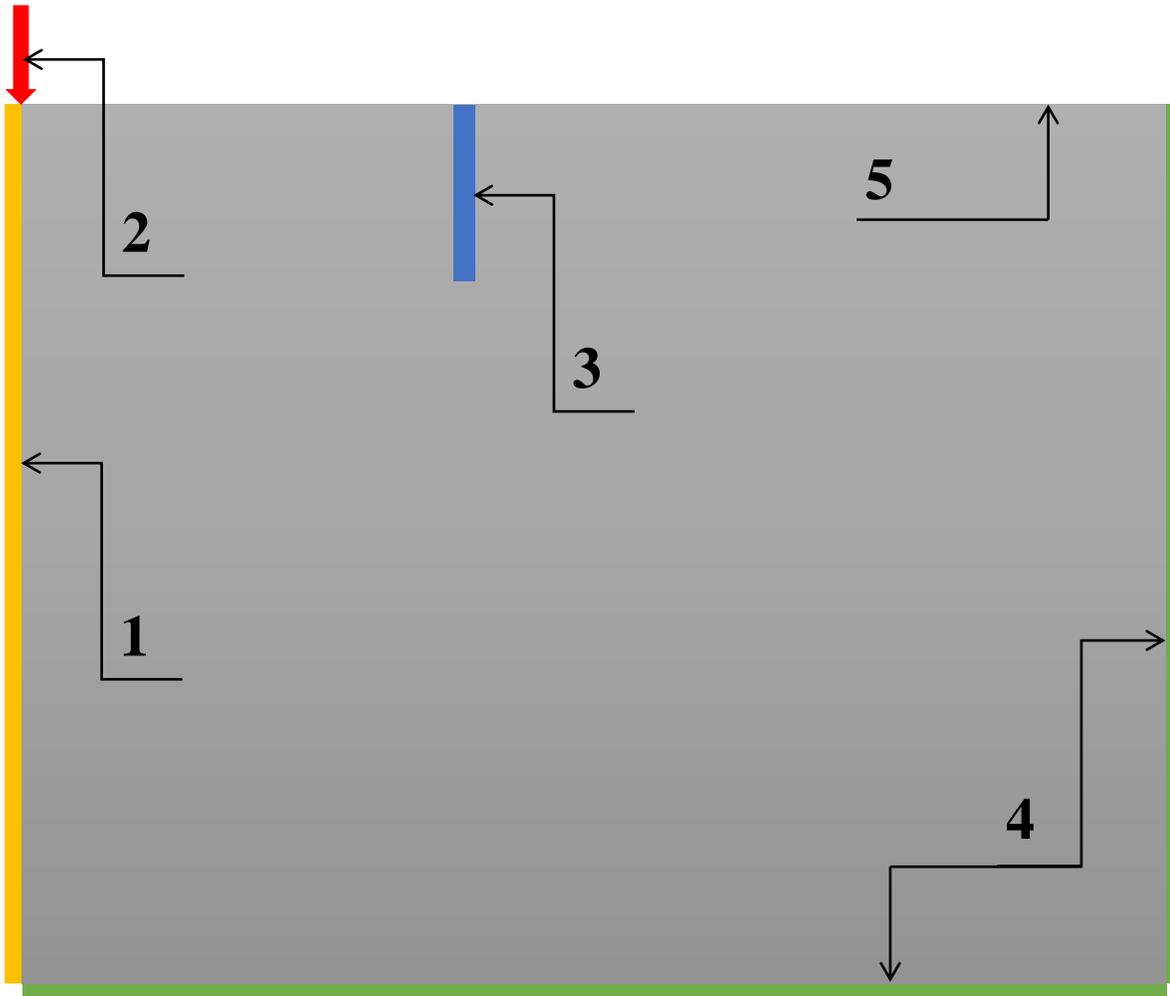
$$u_y(\tau, 0, y) = \begin{cases} \frac{PV_p}{\pi\mu y} \frac{2sv^2(v^2-2s^2)\sqrt{(s^2-1)(v^2-s^2)}}{(v^2-2s^2)^4-16s^4(1-s^2)(v^2-s^2)}, & 1 < s < v \\ -\frac{PV_p}{\pi\mu y} \frac{v^2(v^2-2s^2)\pi\delta(s-s_R)}{2sR(s)}, & v < s \end{cases}$$

$$R(s) = (v^2 - 2s^2)^2 - 4s^2\sqrt{(s^2-1)(v^2-s^2)}$$

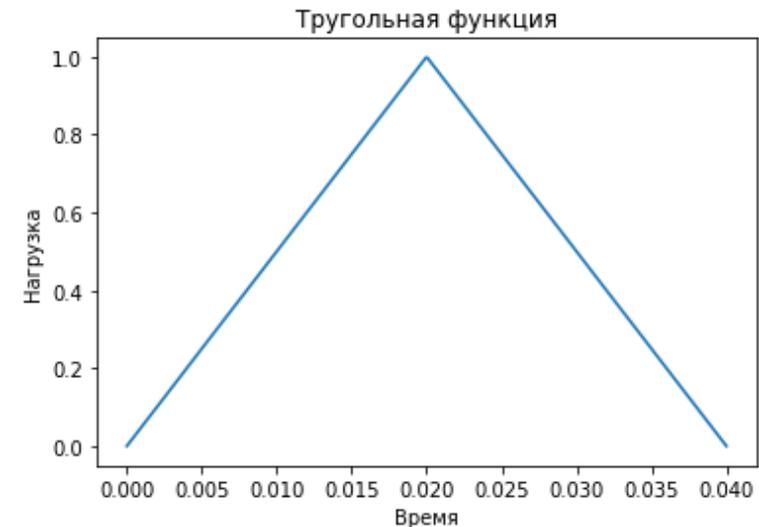
где $P(t) = P_0\delta(t)$ – нагрузка, $v=V_p/V_s$ – отношение продольных и поперечных волн, s – корень функции Рэля $R(s)$



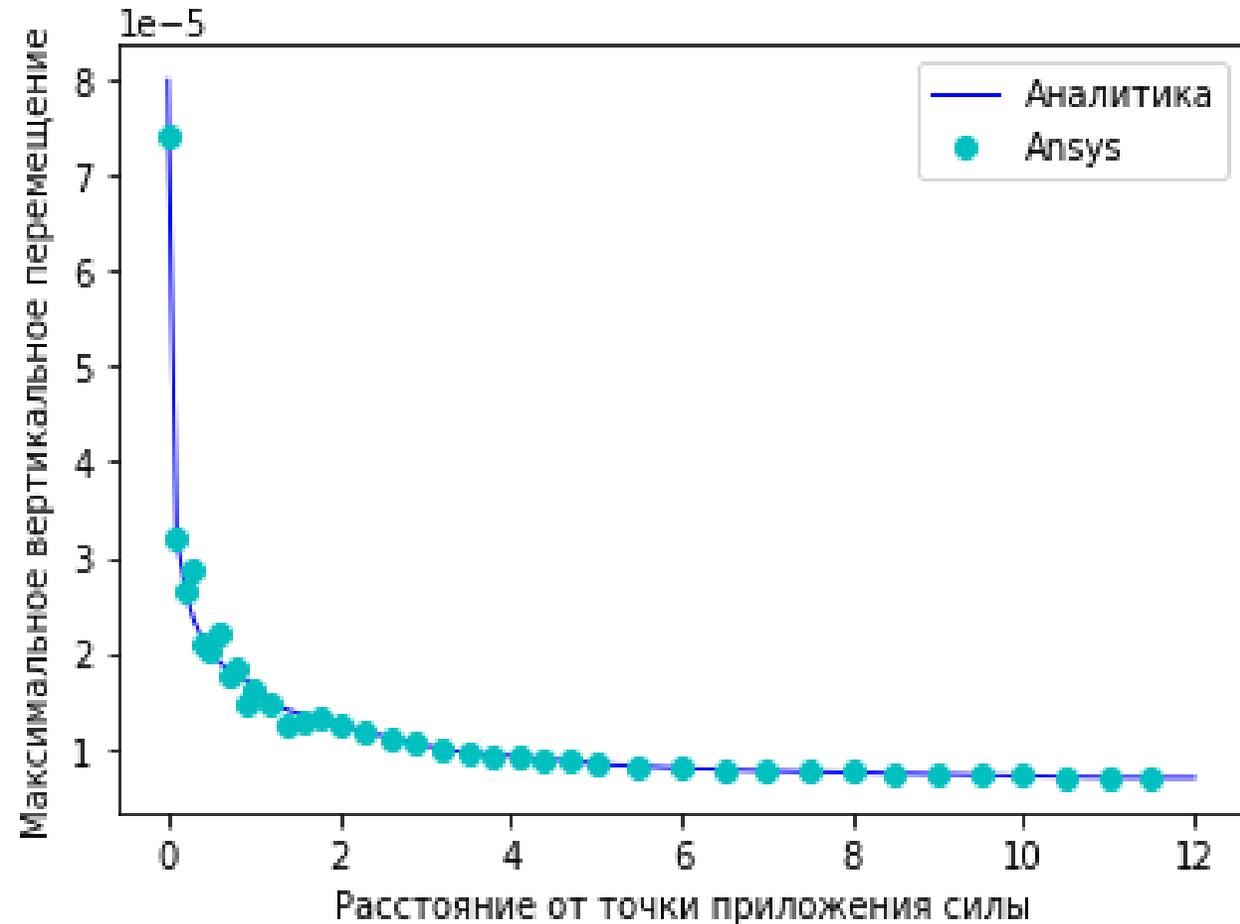
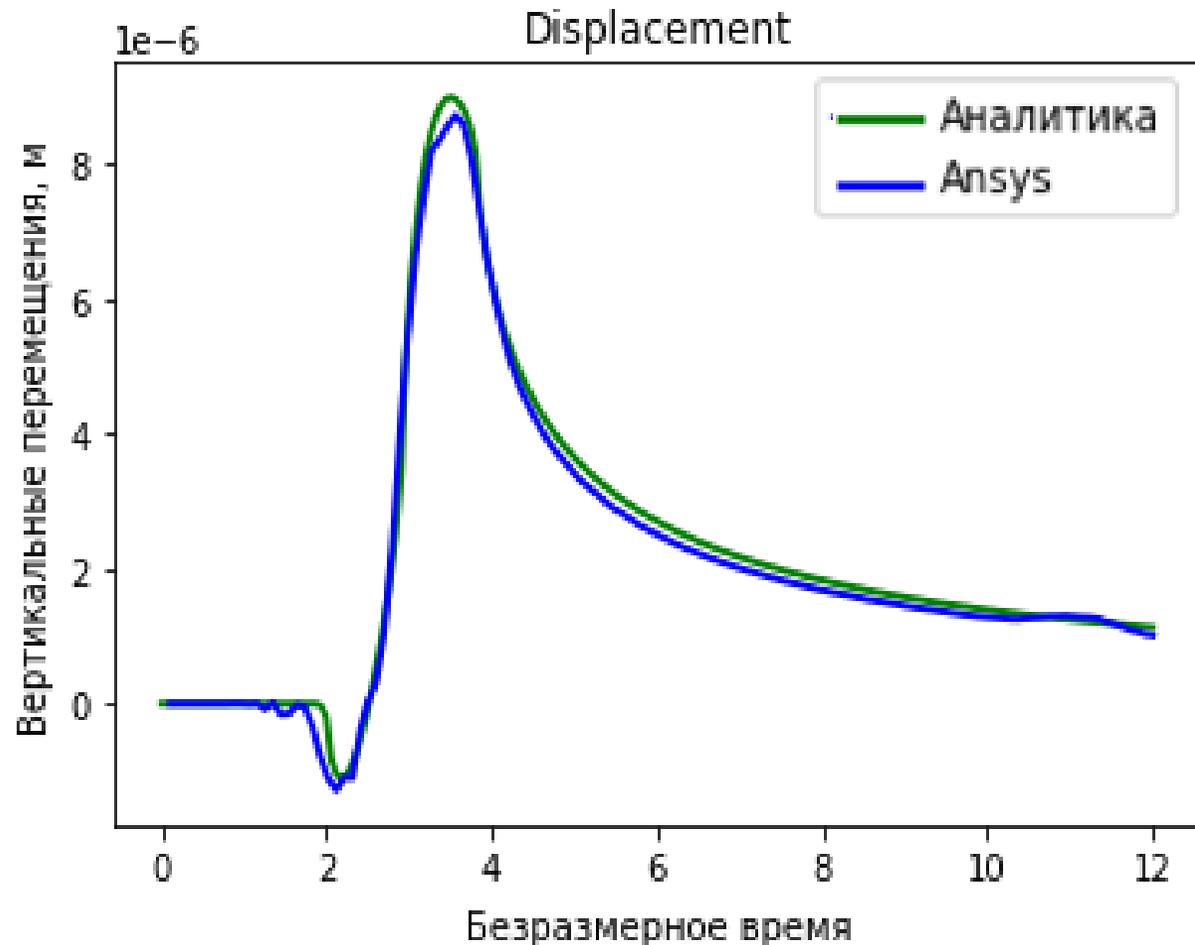
Задание нагрузок и граничных условий



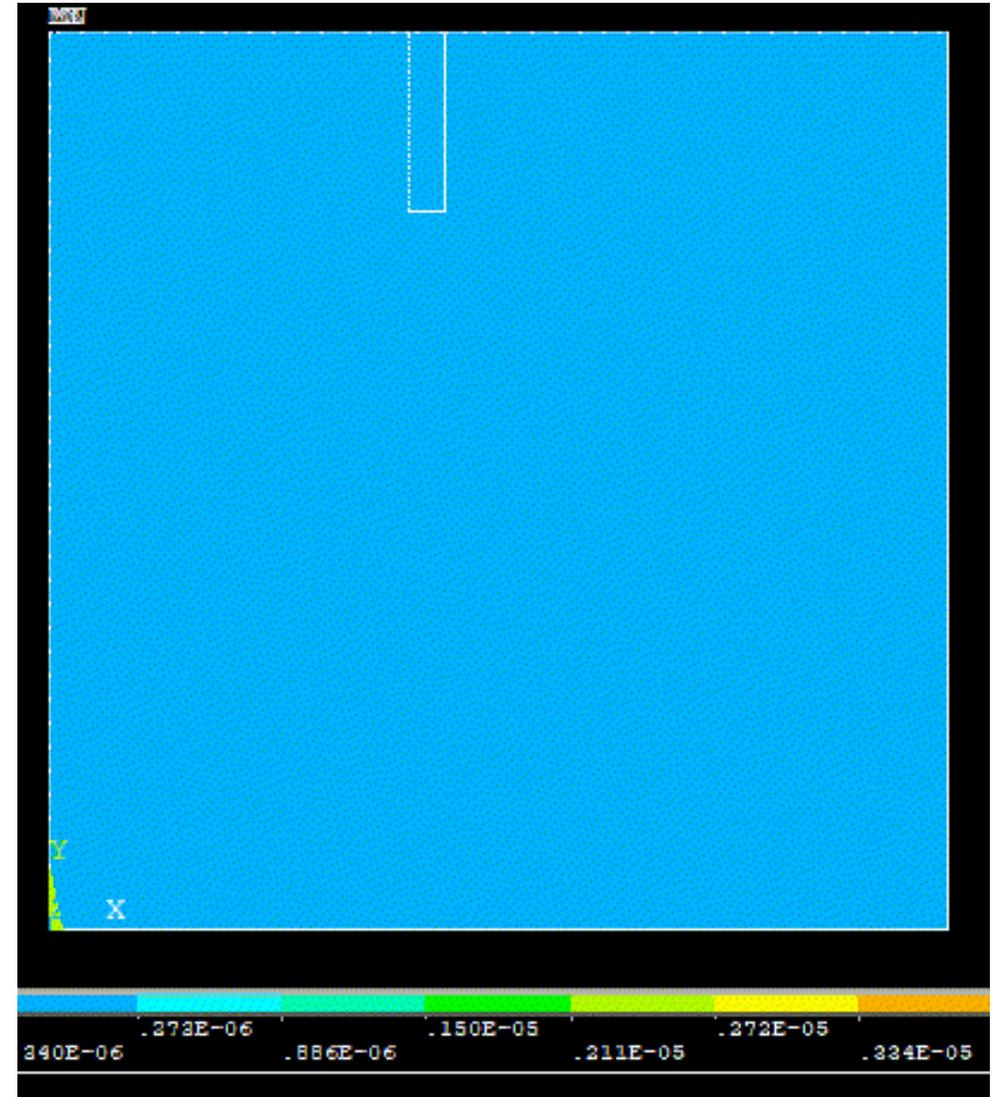
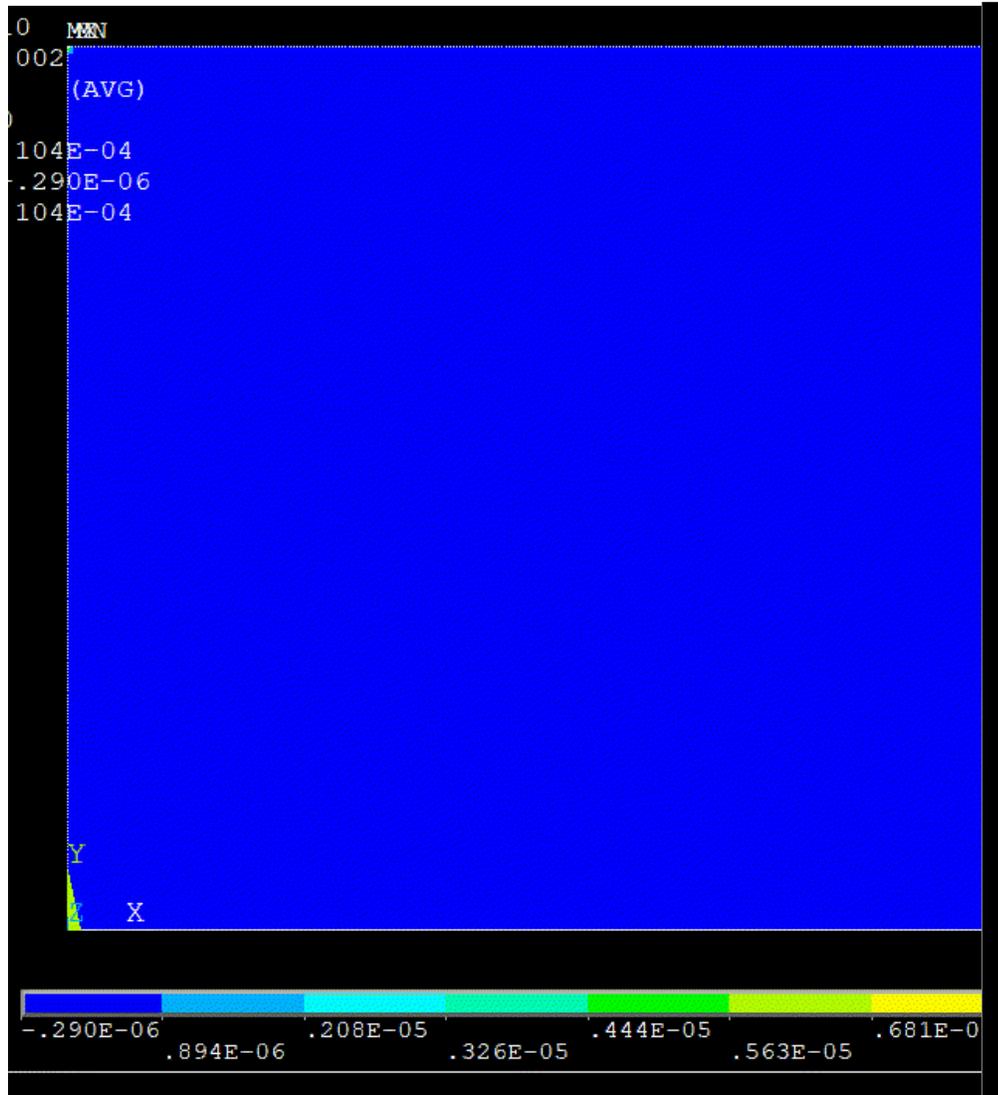
1. Граничное условие симметрии;
2. Приложенная сила;
3. Барьер;
4. Граничное условие закрепления;
5. Свободная граница.



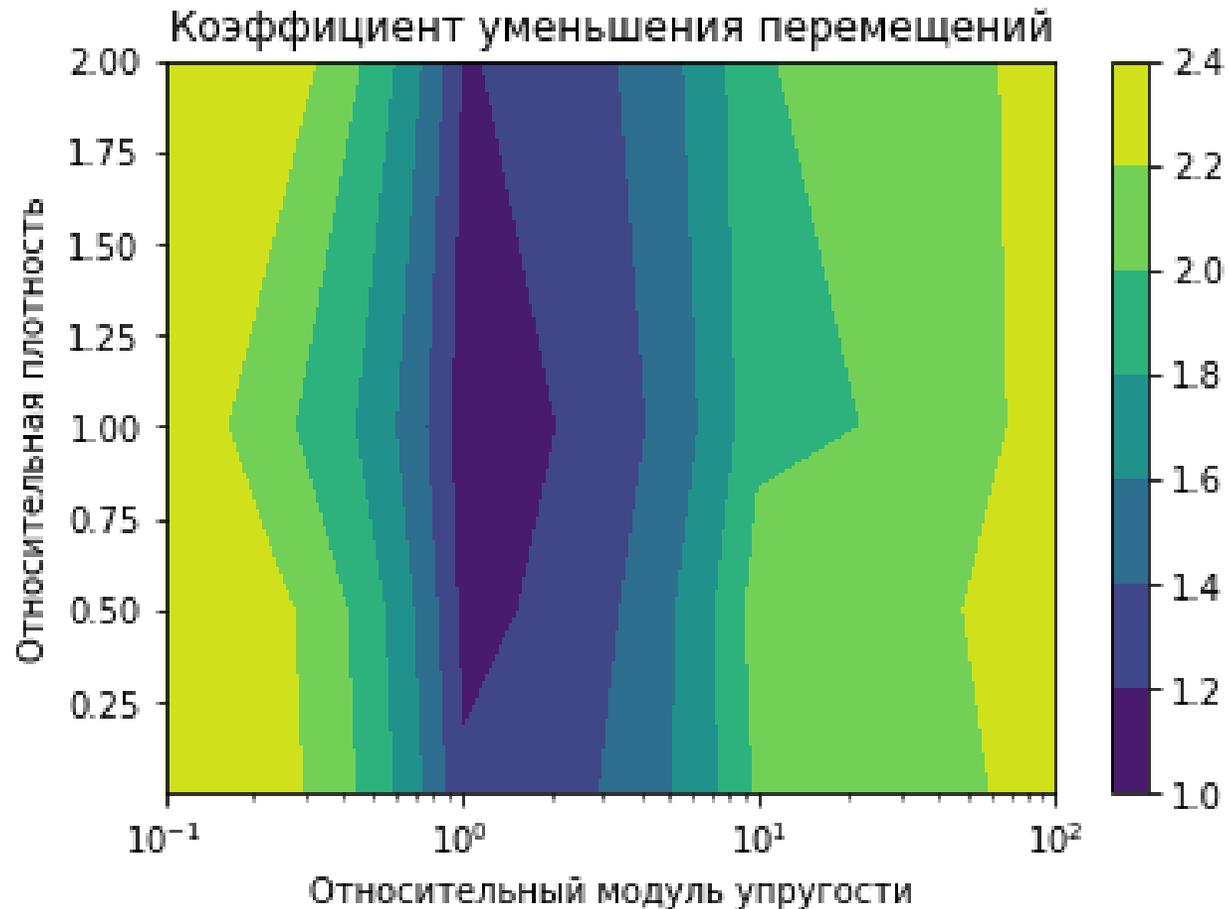
Сравнение численного и аналитического решения



Распространение волн без и с барьером



Выбор материала барьера



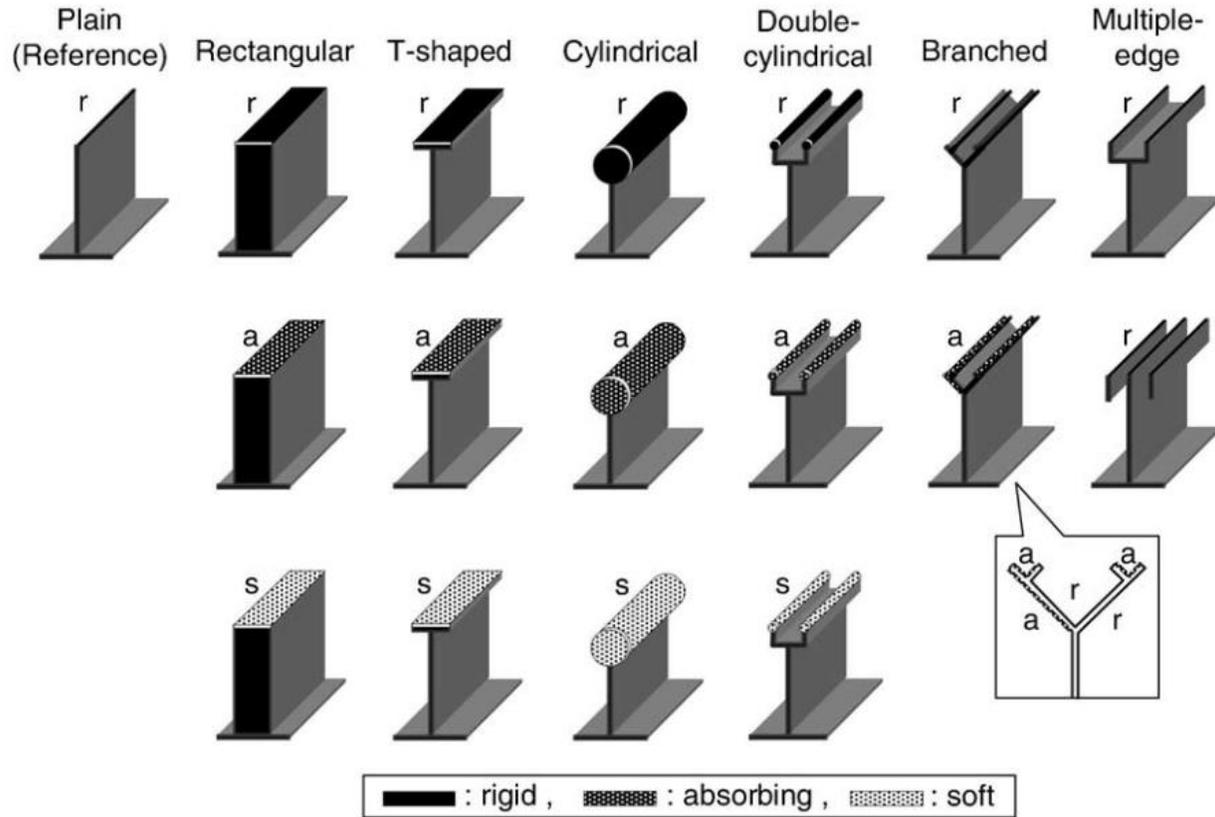
Коэффициент уменьшения перемещений:

$$k = \frac{u_0}{u_b}$$

	Плотность, кг/м ³	Модуль Юнга, МПа	Коэффициент Пуассона
Грунт	1600	30	0.3
Геопена EPS29*	28.8	16.5	0.1
Бетон	2300	30000	0.18

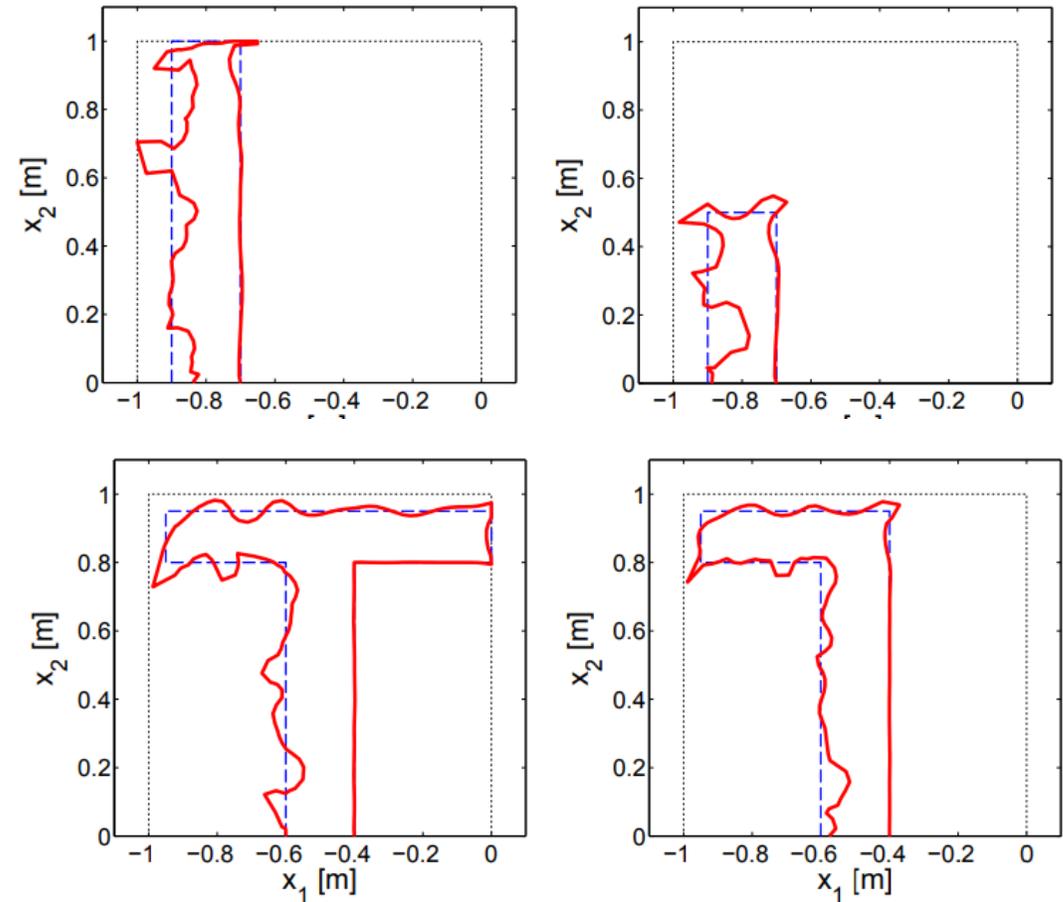
*Zarnani, S., & Bathurst, R. J. (2009). Numerical parametric study of expanded polystyrene (EPS) geofam seismic buffers.

Акустические барьеры



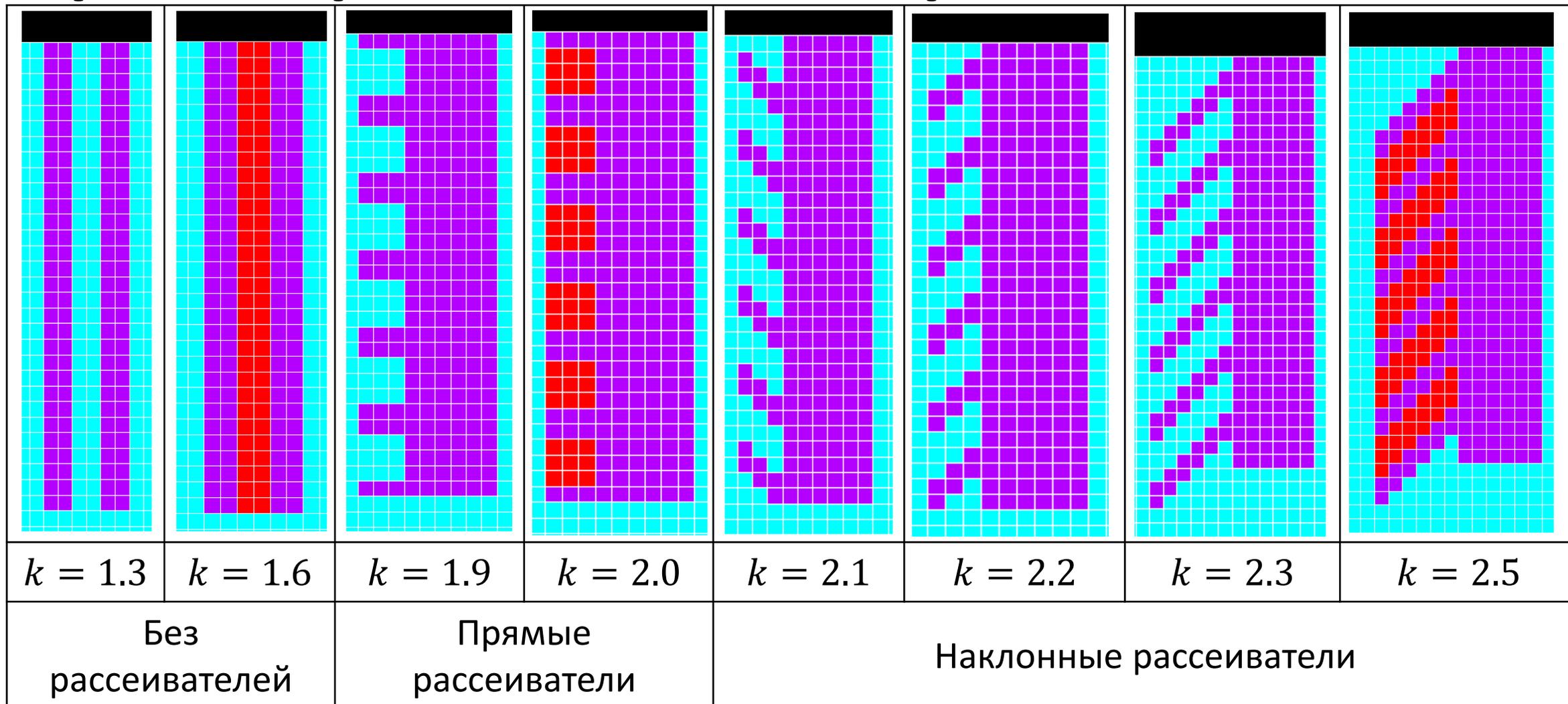
Ishizuka T., Fujiwara K.

Performance of noise barriers with various edge shapes and acoustical conditions



Jolibois A., Duhamel D., Sparrow V., Defrance J., Jean P.
Sensitivity-based shape optimization of a rigid tramway low-height noise barrier

Протестированные геометрии

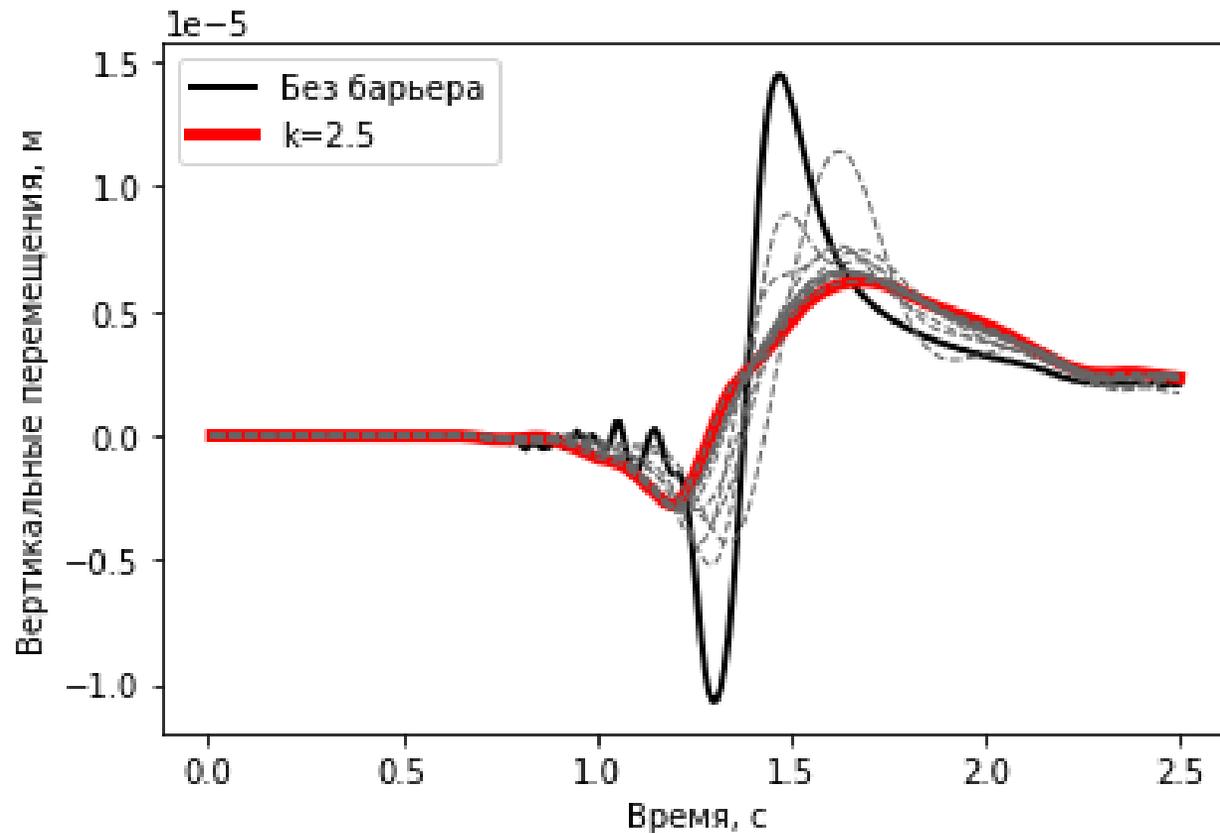


 - грунт

 - бетон

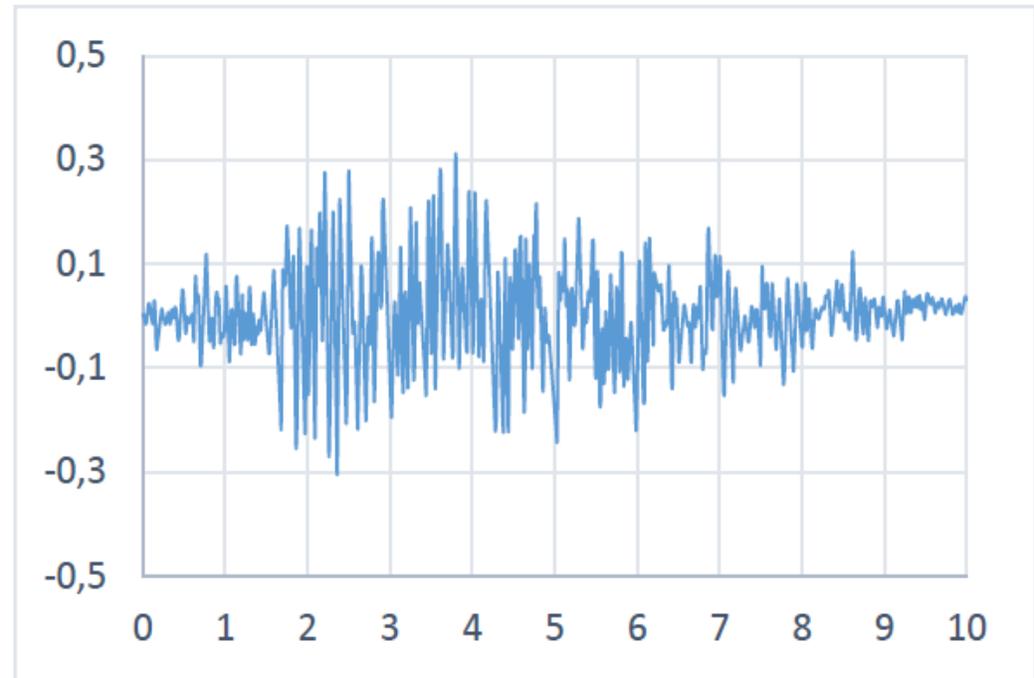
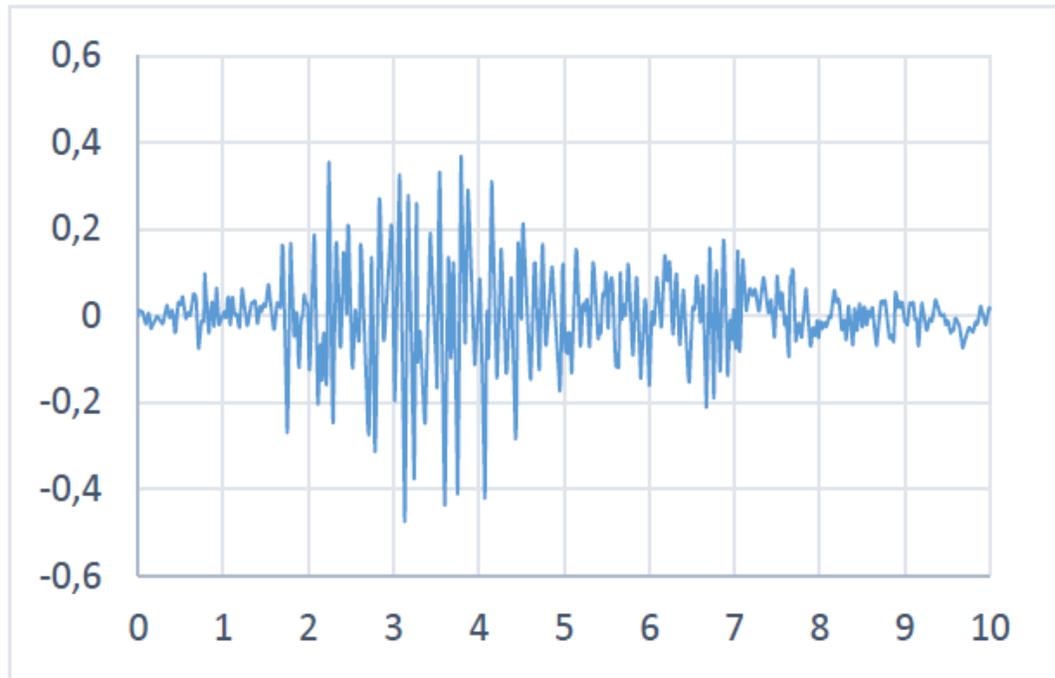
 - геопена

Сравнение эффективности барьеров



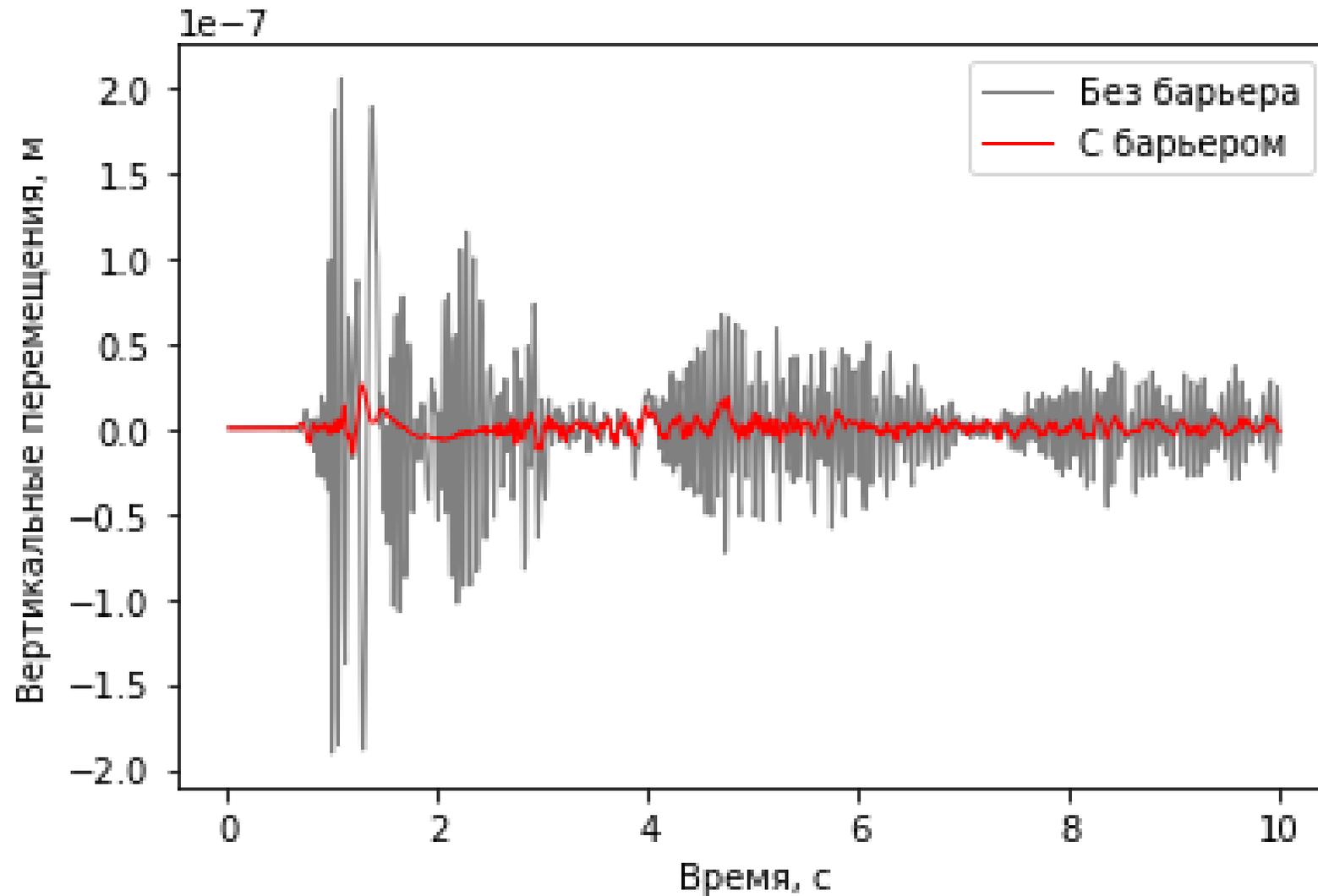
- Рассеиватели на барьере со стороны набегающей волны позволяют уменьшить перемещения в защищаемой зоне;
- При увеличении длины рассеивателей эффективность барьеров увеличивается;
- Для увеличения эффективности барьера необходимо хотя бы 3-4 рассеивателя;
- Наклонные рассеиватели эффективнее прямых;
- Барьеры, состоящие из материалов с сильно отличающимися свойствами (геопена и бетон) более эффективны, чем барьеры из единого материала.

Задание внешнего сейсмического воздействия с помощью акселерограммы



Горизонтальная и вертикальная компоненты ускорения (время – с, ускорение – м/с²).
Morrison P.W., Maley R.P., Brady G., Porcella R.L. Earthquake recordings on or near Dams

Сравнение эффективности барьеров



$$k = 7.9$$

Выводы и результаты

- Разработана численная модель взаимодействия сейсмических барьеров с поверхностными волнами в плоской упругой постановке, позволяющая подбирать оптимальную форму барьера;
- Сейсмические барьеры являются эффективным методом защиты зданий и сооружений от поверхностных волн, позволяющим более чем в два раза уменьшить амплитуду перемещений в защищаемой зоне;
- По результатам данной работы могут быть даны инженерные рекомендации по проектированию защиты от сейсмических волн с помощью барьеров как более простого и экономически эффективного способа защиты.