

## ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПОРИСТЫХ ГРУНТОВ НА ПРОХОЖДЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

Е. А. Радюк\*, А. А. Крылов

*Институт океанологии имени П. П. Ширишова Российской академии наук, Москва, Россия*

\*E-mail: elena.radiuk@yandex.ru

Оценка влияния грунтовой слоистой толщи верхней части геологического разреза на сейсмические воздействия является обязательной составляющей работ по оценке сейсмической опасности объектов критической инфраструктуры. При проведении таких исследований для сооружений в акваториях морей следует рассматривать пористую водонасыщенную структуру морских грунтов.

В настоящей работе с помощью численного моделирования была исследована зависимость сейсмического отклика водонасыщенных грунтовых слоев от значений влажности грунта и уровня входных воздействий (для SH волн). Для моделирования были созданы 6 синтетических грунтовых разрезов, по 3 для связных (глины) и несвязных (песок) грунтов, в которых приповерхностный грунт подстилался полупространством условно скального грунта. Для каждого типа грунта задавалось по 3 значения влажности 25, 50 и 75%. Глубина залегания грунта во всех профилях равно 10 м. Это было сделано с целью исключения влияния данного параметра на конечный результат.

Для каждого профиля грунта расчеты проводились с использованием трех наборов искусственных входных акселерограмм с различным пиковым ускорением грунта при землетрясении. Каждый набор состоит из пяти сигналов для уменьшения стохастического разброса результатов моделирования путем усреднения полученных спектров отклика. Три набора основных параметров моделируемого землетрясения следующие:  $M = 4.5, R = 20$  км;  $M = 6.0, R = 10$  км;  $M = 7.0, R = 10$  км.

Численное моделирование осуществлялось с помощью программы MatNERApor, являющейся модифицированной версией известного алгоритма нелинейного анализа сейсмического отклика NERA. В основе алгоритма лежит модель зависимости напряжение-деформация Айвена-Мроза (нелинейная гистерезисная модель).

В результате расчетов выявлены следующие закономерности:

- насыщение амплитуд SH волн (с увеличением уровня входных воздействий) в верхней части грунтового разреза происходит быстрее в случае грунтов с более высокой влажностью;
- насыщение амплитуд SH волн у глин наступает тем быстрее, чем выше импеданс грунта. У связных грунтов импеданс падает с увеличением влажности;
- у песка импеданс возрастает с увеличением влажности, но насыщение амплитуд SH волн всё равно происходит тем быстрее, чем больше влажность;
- эффект насыщения в большей степени зависит от скоростей сейсмических волн в грунтах, чем от плотности или импеданса грунтов.
- для глин резонансная частота спектра смещается в сторону больших периодов с ростом влажности. У песка наблюдается тот же эффект, но он менее выражен.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 23-17-00125-П).*

## THE EFFECT OF MOISTURE IN POROUS SOILS ON THE PASSAGE OF HORIZONTAL SEISMIC WAVES OF VARYING INTENSITY

E. A. Radiuk\*, A. A. Krylov

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian academy of sciences, Moscow, Russia*

\*E-mail: elena.radiuk@yandex.ru

Assessment of the influence of the soil stratified stratum of the upper part of the geological section on seismic impacts is an obligatory component of work to assess the seismic hazard of critical infrastructure facilities. When conducting such studies for structures in the waters of the seas, the porous water-saturated structure of marine soils should be considered.

In this work, the dependence of the seismic response of water-saturated soil layers on the values of soil moisture and the level of input impacts (for SH waves) was investigated using numerical modeling. For modeling, 6 synthetic soil sections were created, 3 each for cohesive (clay) and non-cohesive (sand) soils, in which the subsurface soil was underlain by a half-space of conditionally rocky soil. For each type of soil, 3 moisture values of 25, 50 and 75% were set. The depth of the soil in all profiles = 10 m. This was done in order to exclude the influence of this parameter on the final result. For each soil profile, calculations were performed using three sets of artificial input accelerograms with different peak acceleration of the soil during an earthquake.

Each set consists of five signals to reduce the stochastic spread of the simulation results by averaging the obtained response spectra. The three sets of basic parameters of the simulated earthquake are as follows:  $M = 4.5, R = 20 \text{ km}$ ;  $M = 6.0, R = 10 \text{ km}$ ;  $M = 7.0, R = 10 \text{ km}$ .

Numerical modeling was carried out using the MatNERApor program, which is a modified version of the well-known nonlinear seismic response analysis algorithm NERA. The algorithm is based on the Ivan-Mroz stress-strain dependence model (nonlinear hysteresis model).

As a result of calculations, the following patterns were revealed:

- saturation of the amplitudes of SH waves (with an increase in the level of input signal) in the upper part of the soil section occurs faster in the case of soils with higher moisture;
- saturation of the amplitudes of SH waves in clays occurs faster, the higher the impedance of the soil. For cohesive soils, the impedance decreases with increasing moisture;
- in sand, the impedance increases with increasing moisture, but saturation of the amplitudes of SH waves still occurs faster, the higher the moisture;
- the saturation effect depends more on the velocity of seismic waves in the soil than on the density or impedance of the soil;
- for clays, the resonant frequency of the spectrum shifts towards longer periods with increasing moisture. Sand has the same effect, but it is less pronounced.