

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАЗВИТИЯ СКЛОНОВЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НИЗКОАМПЛИТУДНЫХ ВИБРАЦИЙ

Г.Г. Кочарян, В.К. Марков, Д.В. Марков, Л.М. Перник

Представлены результаты лабораторных экспериментов по исследованию устойчивости склона при слабых воздействиях. Модель склона выполнялась из слеска (0,05% по массе) увлажненного глицерином кварцевого песка. Импульсное воздействие осуществлялось слабыми ударами стальных шариков массой от 2 до 22 г по основанию контейнера, где размещалась модель склона. Измеренная скорость смещения грунта поверхности склона не превышала $5 \cdot 10^{-5}$ м/с, а ускорение $0,2$ м/с². Опыты проводились при трех значениях угла склона 54, 57, 59°, близких к критическому углу (62°). Измеренные величины ускорений, значительно ниже критических значений, рассчитанных по методу Ньюмарка ($\sim 1,2$ м/с²), что демонстрирует возможность накопления деформаций даже при весьма слабых динамических воздействиях.

В настоящее время наиболее распространенным методом оценки потенциальной опасности возникновения лавин и оползней, инициированных сейсмическим воздействием землетрясений, является метод, основанный на подходе Ньюмарка [Newmark, 1965]. Согласно этому подходу обрушение массы грунта, расположенного на склоне, происходит после достижения некоторой критической величины деформации, которая зависит от амплитуды и длительности сейсмических колебаний. При этом считается, что эффект носит пороговый характер: если ускорение, вызванное сейсмическим воздействием, не превышает некоторой критической величины, рассчитанной исходя из условий квазистатического равновесия, то никаких деформаций склона не наблюдается.

Нами проведены эксперименты по исследованию устойчивости склона при слабых воздействиях. Лабораторная установка состоит из двух блоков: контейнера, в котором размещалась модель склона, и устройства, обеспечивающего импульсное воздействие на контейнер. Основание и задняя стенка контейнера выполнены из стали толщиной 20 мм, боковые стенки стеклянные толщиной 20 мм. Расстояние между боковыми стенками 160 мм. К передней части основания прикреплена стальная каленая пластина, по которой наносятся удары (рис. 1). Фотография установки показана на рис. 2.

Импульсное воздействие на контейнер осуществляется специальным устройством, состоящим из металлического диска, равномерно вращаемого электромотором, и блока управления. В диск вмонтированы две свободно вращающиеся оси, на которых подвешены ударники, представляющие собой стальные шарики на металлическом стержне. Масса шариков от 2 до 22 г. При вращении диска ударники последовательно поднимаются в верхнюю точку, откуда свободно падают, нанося удар по контейнеру. Диск вращается со скоростью, обеспечивающей один удар в секунду.

Внутри контейнера создавалась модель склона из слеска (0,05% по массе) увлажненного глицерином кварцевого песка. Сцепление такого песка составляет 65 Па.

Песок засыпался горизонтальными слоями толщиной 1 см и уплотнялся специальной трамбовкой, обеспечивающей давление на песок примерно 3000 Па. Подготовленная таким образом модель склона имеет критический угол 62° в конфигурации, показанной на рис. 1. Критический угол определялся следующим образом: тыльная часть контейнера с песком медленно поднималась с помощью домкрата до момента обрушения склона.

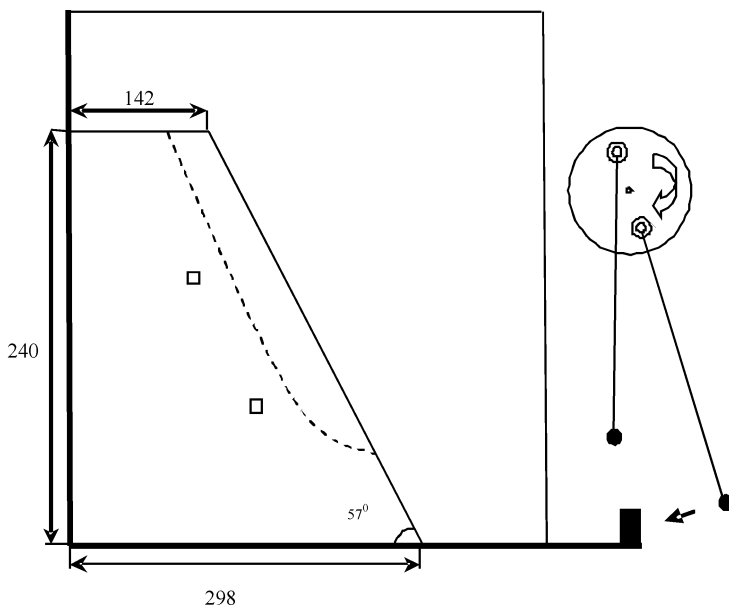


Рис. 1. Схема установки для исследования устойчивости склона

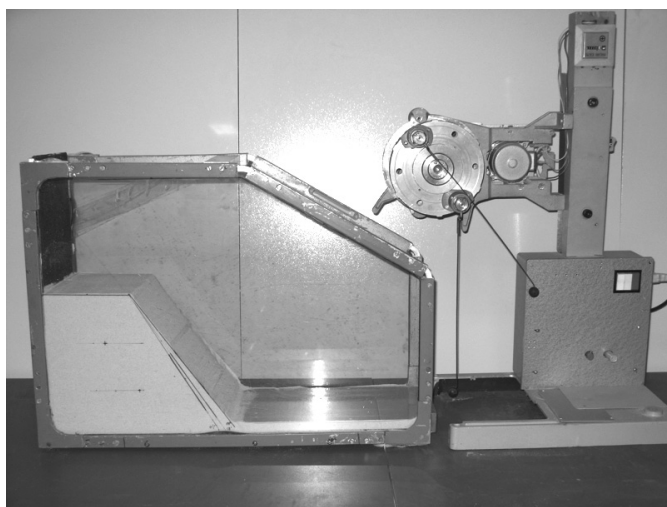


Рис. 2. Внешний вид установки

Для определения волновой картины внутри склона были установлены акселерометры – белые квадраты на рис. 1. Зависимость амплитуды массовой скорости от массы ударника показана на рис. 3. Отметим, что увеличение массы ударника на порядок приводит к увеличению амплитуды массовой скорости всего в 4 раза. Полученные значения массовой скорости относительно малы, но этого достаточно, чтобы после определенного времени воздействия склон обрушался. Ускорения, зафиксированные при проведении опытов, не превышали величины $0,2 \text{ м/с}^2$.

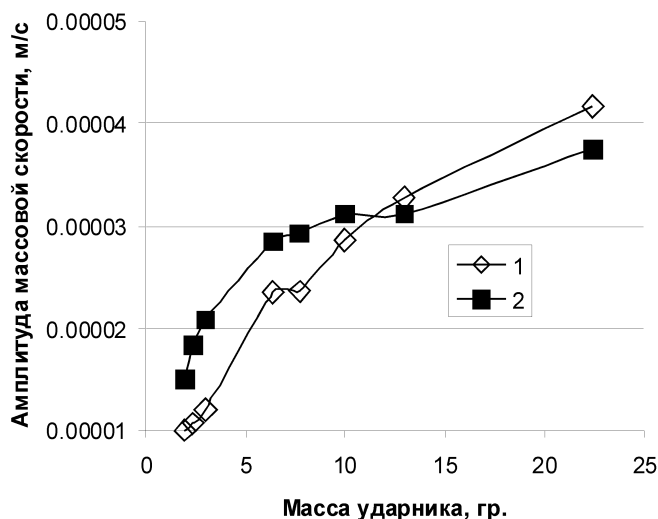


Рис. 3. Зависимость амплитуды массовой скорости от массы ударника.
1 – верхний акселерометр, 2 – нижний акселерометр

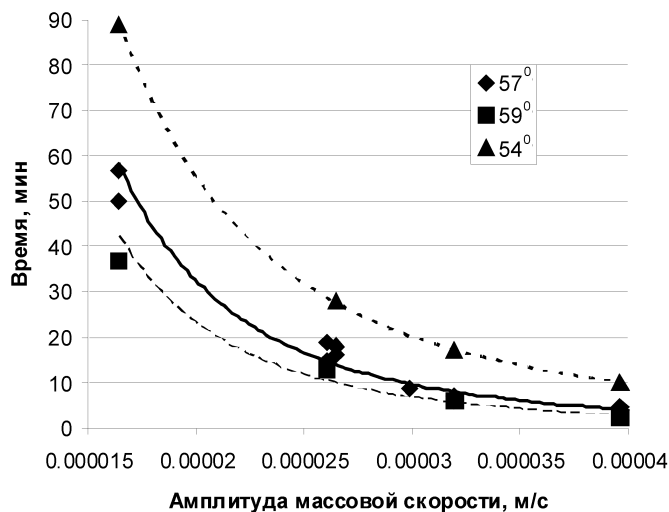


Рис. 4. Зависимость времени, прошедшего с начала воздействия до обрушения склона, от амплитуды массовой скорости

Опыты проводились при трех значениях угла склона 54, 57, 59°, что близко к критическому углу, но склон получался достаточно устойчивым. На рис. 4 показана зависимость времени, прошедшего с начала воздействия до обрушения склона, от амплитуды массовой скорости. Чем меньше угол склона и амплитуда массовой скорости, тем большее время требуется воздействовать на склон, чтобы добиться его обрушения. В процессе воздействия на столовой поверхности склона образуются трещины, которые постепенно расширяются, и по одной из них происходит скольжение части склона. Обычно такая трещина находилась на расстоянии $1,5 \div 2,0$ см от края столовой поверхности.

Следует подчеркнуть, что измеренные величины ускорений, с которыми двигается грунт, значительно ниже критических значений, рассчитанных по методу Ньюмарка [Ingles et al., 2006] ($\sim 1,2$ м/с²), что демонстрирует возможность накопления деформаций даже при весьма слабых динамических воздействиях.

Литература

Ingles J., Darrozes J., Soula J-C. Effects of the vertical component of ground shaking on earthquake-induced landslide displacements using generalized Newmark analysis. *Engineering Geology* 86 (2006). P. 134–147.

Newmark N.M. Effects of earthquakes on dams and embankments. *Geotechnique* 15 (2), 1965, p. 139–159.