Буфеев Ф.К.[1], Карасев М.А.[3], Кувшинников В.М.[1,2], Поспехов Г.Б.[3], Фоменко И.К.[1]

[1]МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе, гидрогеологический факультет, кафедра инженерной геологии, г. Москва, fbufeev@hotmail.com, ifolga@gmail.com
[2]ООО «Инженерная геология исторических территорий», г. Москва, igit-1@mail.ru
[3]Санкт-Петербургский горный университет, Центр инженерных исследований, кафедра гидрогеологии и инженерной геологии г. Санкт-Петербург, pospehov@spmi.ru

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СКАЛЬНОГО ОСНОВАНИЯ ДВОРЦА ЛАСТОЧКИНО ГНЕЗДО, РЕСПУБЛИКА КРЫМ

Обрушения откосов в скальных грунтах или «скальные оползни» характеризуются наличием целого ряда специфических особенностей, принципов и закономерностей формирования, а также механизма смещения. Как правило механизм развития «скальных оползней» существенно отличается от оползней, формирующихся в толщах нелитифицированных или слаболитифицированных грунтов или сложно построенных массивах грунтов, для которых типично переслаивание дисперсных, связных, полускальных и скальных отложений.

В настоящее время в действующих нормативных документах, регламентирующих изучение оползневых процессов, включая количественную оценку устойчивости склонов, практически полностью отсутствует учет особенностей развития обрушений в скальных грунтах, что существенно снижает качество получаемой инженерно-геологической информации для этого типа гравитационных процессов.

В настоящей работе рассмотрены подходы к расчету устойчивости скальных массивов на примере объекта культурного наследия – замка «Ласточкино гнездо». Замок расположен на южном берегу Крыма в поселке Гаспра на высоте 40 м над уровнем моря на Авророиной скале, сложенной известняком. Первое здание было построено в конце XIX в. В начале XX в. на его месте был выстроен замок в стиле неоготика, который и дошел до нашего времени.

За более чем столетнюю историю здание несколько раз подвергалось реконструкции. Впервые это было связано с разрушениями, вызванными землетрясением 1927 г. Тогда в скале, на которой расположен замок образовалась большая трещина и часть скалы обрушилась в море, но само здание сильно не пострадало.

В мае–июне 2017 г. проводились комплексные исследования здания самого замка и Авророиной скалы. По их результатам сотрудниками Горного университета и ООО «ИГИТ» были выполнены расчеты устойчивости скалы.

При расчете устойчивости скальных массивов выбор местоположения и ориентации расчетных профилей осуществляется исходя из наибольшей вероятности обрушения. Для потенциально нестабильных склонов наиболее опасными являются два варианта. При первом азимуты падения трещин и

склона совпадают. При втором, хотя азимуты и не совпадают, по результатам кинематического анализа вероятно образование обрушений типа «клин». В первом случае оценка устойчивости может быть выполнена в плоской постановке, а во втором задачу необходимо решать методом объемных скальных блоков, в трехмерной постановке.

На первом этапе выполнялся кинематический анализ – были выявлены системы трещин, наиболее опасные с точки зрения устойчивости массива. Помимо ориентации самих трещин важное значение имеет ориентация трещин к направлению падения откосов скального основания памятника.

Анализ трещиноватости скального основания (рис. 1), полученный на основании бурения и поверхностных замеров показал, что количество поверхностей ослабления в приповерхностной области выше, а качество контакта между стенками трещин ниже, чем внутри скалы, что позволяет говорить о значительном влияние выветривания на состояние и количество поверхностей ослабления.

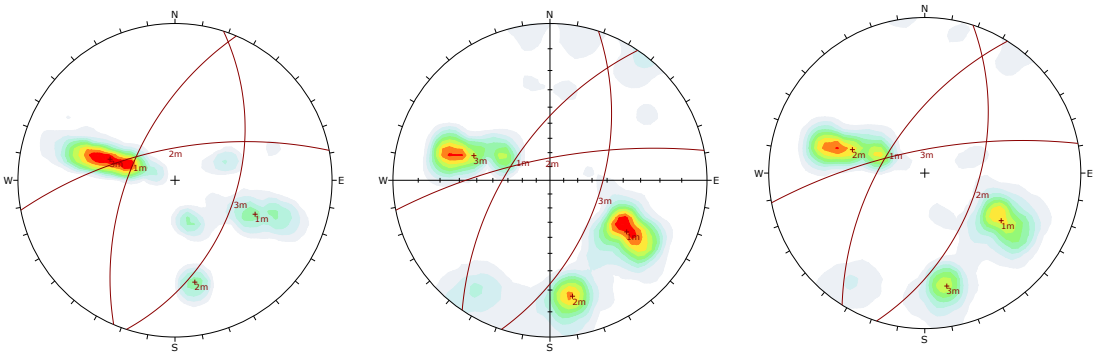

Рис. 1. Стереограммы трещиноватости полученные по результатам натурных замеров по поверхности скалы (а), анализа данных по скважинам (б) и на основании совместного анализа данных (в)

Наблюдения за фактическим состоянием поверхности скального основания, позволяют сделать вывод о том, что под воздействием выветривания и абразии, блоки скалы обрушаются в направлении снизу-вверх, что потенциально может представлять опасность для устойчивости здания «Ласточкино гнездо».

На основании полученных данных была построена пространственная геологическая модель скального основания (рис. 2), которая в последующем использовалась для выделения зон возможного локального обрушения породы в приповерхностной области и для обоснования механических показателей породного массива.

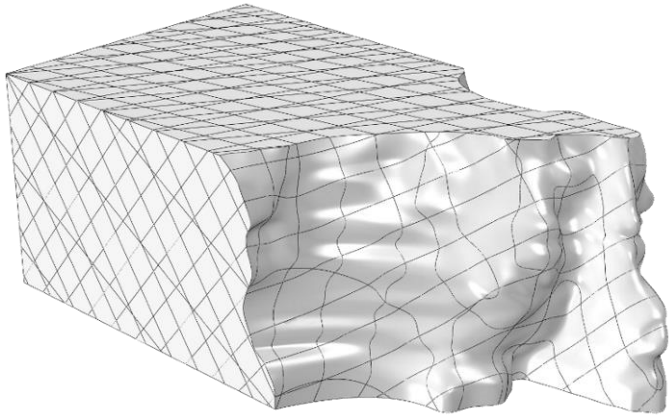

Рис. 2. Пространственная модель скального основания замка «Ласточкино гнездо» с изображением распределения трещин в породном массиве с учетом выделенных систем трещин

В результате, по фактически замеренным трещинам, было определено два направления с максимальной вероятностью обрушения:

1) азимут падения уступа скалы 125° (количество критических поверхностей смещения при угле падения уступа 80° – 42,14%).

2) азимут падения уступа скалы 285° (количество критических поверхностей смещения при угле падения уступа 90° – 47,47%).

В данных инженерно-геологических условиях наиболее вероятным видом обрушения являются обвалы. По установленным направлениям были выполнены расчеты методом объемных скальных блоков с учетом прочностных характеристик по контактам трещин.

Показатели угла внутреннего трения и сцепления были получены после обработки данных лабораторных испытаний на сдвиг по контакту между стенками трещин для соответствующих систем (табл.).

Таблица

Прочностные свойства по контакту стенок трещины для выделенных систем трещин

№ системы трещин	Прочностные свойства по трещинам	
	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град
Система трещин № 1	0,33	35
Система трещин № 2	0,42	26
Система трещин № 3	0,24	32

Скальное основание замка воспринимает нагрузки от собственного веса, веса здания и сейсмическую нагрузку. Нагрузки от прибойных волн и ветровая нагрузка на скальное основание не учитывались, так как их влияние очень мало по отношению к основным нагрузкам. При расчете скального основания на устойчивость, все нагрузки принимались с учетом максимального воздействия.

В направлении падения уступа 125° по трем системам трещин возможно обрушение незначительных по объему объемов горных пород, что может

представлять опасность для устойчивости дворца. Двумерные расчеты устойчивости показали, что несмотря на высокие значения коэффициента устойчивости ($К_У$ > 1,5), вероятность обрушения скалы существует (до 14,5%).

В направлении уступа 285° скала является устойчивой с коэффициентом устойчивости 1,42.

По средним значениям параметров трещиноватости было выделено три системы трещин и в результате расчетов было определено, что наиболее опасным является направление падения уступа скалы 101° (количество критических поверхностей смещения по фактическим замерам трещин при угле падения уступа 90° – 29%).

Затем был выполнен анализ чувствительности коэффициента устойчивости к факторам оползнеобразования, который показал, что наибольшее влияние на коэффициент устойчивости оказывают величина сцепления между трещинами; угол падения трещин и величина сейсмического воздействия в горизонтальном направлении.

Расчет максимального горизонтального сейсмического ускорения показал, что в выбранном направлении расчета скала потеряет устойчивость при ПГА 0,43 м/с^2, то есть выдержит землетрясение интенсивностью 9 баллов. Динамический анализ методом Ньюмарка показал, что на основании расчета с использованием экспертных акселерограмм, величина возможных смещений не превысит 3 см.

Выполненные исследования показали, что общий коэффициент запаса устойчивости скального основания, на настоящий момент выше нормированного значения. Коэффициент запаса, приуроченный к потере устойчивости скального основания по трещинам при статическом нагружении, выше нормированного значения. Оценка локальной устойчивости скального основания показала, что существуют участки потенциально неустойчивые, обрушение которых может произойти как при возникновении землетрясения, так и при продолжении воздействия выветривания на откосы скального основания.

Для обеспечения длительной устойчивости необходимо контролировать интенсивность развития выветривания скального основания в приповерхностной области и в случае необходимости разработать меры по ограничению его негативного влияния.

Одним из вариантов может быть нанесение дисперсно-армированного набрызгбетонного покрытия или набрыгзбетонного покрытия, армированного сеткой на очищенную от растительности поверхность склона. Данные мероприятия положительно скажутся на длительной устойчивости скального основания непосредственно в основании здания. Для повышения устойчивости скального основания необходимо предусмотреть крепление отдельных участков скалы анкерами. После завершения укрепления поверхности откосов, необходимо провести цементацию самого тела скалы в основании замка по его контуру.