

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

УДК 625.72

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОД ОПОЛЗНЕВОГО СКЛОНА

Е.Б. Угненко, профессор, д.т.н., О.Н. Тимченко, аспирант, ХНАДУ

Аннотация: Рассмотрены методы исследования напряженно-деформированного состояния пород оползневого склона, а также методы исследования инженерно-геологических свойств пород, слагающих оползневый склон.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, оползневый склон, прочностные и деформационные свойства, геологические свойства пород.

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПОРІД ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНОГО СХИЛУ

Є.Б. Угненко, професор, д.т.н., О.М. Тимченко, аспірант, ХНАДУ

Анотація. Розглянуто методи дослідження напружено-деформованого стану порід зсувонебезпечного схилу, а також методи дослідження інженерно-геологічних властивостей порід, які складають зсувонебезпечний схил.

Ключові слова: напружено-деформований стан, зсувонебезпечний схил, міцні та деформаційні властивості, геологічні властивості порід.

ANALYSIS OF EXISTING METHODS OF STUDY OF STRAIN-STRESS STATE OF ROCKS ON SLIP SLOPE

Ye. Ugненко, Professor, Doctor of Technical Science, O. Tymchenko, Postgraduate student, KhNAHU

Abstract. The methods for analysis of strain-stress state of rocks on slip slope as well as the methods of study of engineering and geological properties of rocks that compose the slip slope are considered.

Key words: strain-stress state, slip slope, strength and deformational properties, geological properties of rocks.

Введение

В настоящее время в связи с интенсивным народнохозяйственным освоением значительных территорий все большее значение приобретают инженерно-геологические исследования экзогенных геологических процессов, среди которых особое место занимают оползневые. Оползневые процессы являются самыми распространенными и в то же время наиболее сложными, длительными и многофакторными, причиняющими народному хозяйству огромные убытки.

В последние годы накоплен значительный опыт проведения стационарных режимных исследований оползней. В то же время стационарное изучение режима оползней остается одной из наиболее важных и трудных проблем.

Анализ публикаций

Исследования динамики оползней неразрывно связано с изучением напряженного состояния пород оползневого склона [1]. Характер распределения напряжений в масси-

вах горных пород должен учитываться и при характеристике их прочностных и деформационных свойств. В настоящее время установлено, что взаимоотношение напряжений и смещений зависит от геологических свойств пород [2]. Большой опыт изучения естественных напряжений в скальных породах накоплен в горном деле как в нашей стране, так и за рубежом. Среди зарубежных исследований большой интерес представляют работы Н. Хаста (Швеция), А.Э. Шайдегера (США), А.В. Скеиптона (Англия), Л. Мюллера (Германия), П.Н. Панюкова, Г.С. Золотарева, Г.И. Тер-Степаняна, В.Д. Ломтадзе (Россия).

Цель и постановка задачи

Цель работы – проведение анализа существующих методов исследования напряженно-деформированного состояния пород оползневых склонов, а также методов исследования инженерно-геологических свойств пород, слагающих оползневой склон. Полученные в результате наблюдений количественные характеристики необходимы для обоснования и выбора рентабельных противооползневых мероприятий, а также для прогнозирования оползней. Такими характеристиками являются данные о механизме и динамике процесса, об инженерно-геологических свойствах пород, слагающих оползень, и изменении этих свойств в зависимости от влияния различных факторов, данные об изменении напряженного состояния внутри оползневого массива. Анализ вышеперечисленного вместе с изучением оползнеобразующих факторов позволяет понять сущность оползневого процесса, выяснить основные геологические закономерности его развития.

Методы изучения напряженно-деформированного состояния пород оползневых склонов

Метод повторной трещинной съемки является косвенным методом изучения напряженно-деформированного состояния горных пород на оползневом склоне. Характер и тип оползневых трещин позволяет говорить о развитии различного рода напряжений – сжатия, растяжения и сдвига. При повторном изучении трещин представляется возможным судить о распределении напряжений в склоне во времени на различных стадиях его развития.

Электроразведочные методы основаны на зависимости электрических свойств пород от изменения напряженного состояния массива горных пород. Основными факторами, влияющими на электропроводность оползневых пород, являются состав, структурно-текстурные особенности и влажность. Гидрологические условия должны быть стабильными во времени, чтобы можно было выявить влияние деформаций на электропроводность [1].

Использование параметров анизотропии позволяет избежать влияния гидрогеологического фактора и рассматривать величину и направление большой оси эллипса анизотропии с преимущественным ориентированием трещиноватости, т. е. с развитием оползневого процесса. При этом могут быть два варианта исследования: 1) определение направления оползневого процесса и оконтуривание зон сжатия и растяжения, 2) режимные наблюдения за развитием оползневого процесса.

$$E_{\varphi}/E_{\gamma} = f(\varphi), \quad (1)$$

$$\text{где } E_{\varphi} = \frac{\Delta U_{\varphi}}{MN_{\varphi}}; \quad E_{\gamma} = \frac{\Delta U_{\gamma}}{MN_{\gamma}}; \quad (2)$$

E_{φ} и E_{γ} – азимутальная и радиальная составляющие напряженности электрического поля; ΔU_{φ} и ΔU_{γ} – разности потенциалов, измеренные с помощью приемных линий MN_{φ} и MN_{γ} ; φ – азимут наблюдения.

Величина степени анизотропии K и коэффициент анизотропии λ определяется по методике Н.М. Варламова. Результаты измерений величины K , среднеарифметические значения ρ_K , полученные в каждой точке, наносятся на план и строятся карты изоом и параметра K .

Во втором случае измерения выполняются по той же методике в закрепленных точках ежедневно или с определенным интервалом. В каждой точке режимных наблюдений определяется среднеарифметическая величина ρ_K , степень анизотропии K и направление главных осей анизотропии.

Результаты режимных наблюдений предлагается оформлять в виде следующих зависимостей:

$$\rho_{ка}/\rho_{кн} = f(t); \quad K_a/K_n = f(t) \quad \text{или} \\ \lg(K_a/K_n) = f(t) \quad (3)$$

где $\rho_{кн}$ и K_n – начальные значения измеряемых параметров; $\rho_{ка}$ и K_a – текущие значения параметров; t – календарное время в днях.

Достоинством рассмотренного метода электроразведки является возможность фиксировать изменения, происходящие в породах на стадии подготовки к смещению, а также выделить и оконтурить наиболее оползнеопасные участки, что невозможно сделать традиционными методами. Ограничение применения метода связано с тем, что результаты искажаются при пересеченном рельефе земной поверхности, при наличии неоднородных по составу горных пород, смятых в складки, и из-за технических помех, возбуждающих электрические токи как на поверхности, так и в глубине.

Методы исследования инженерно-геологических свойств пород, слагающих оползневой склон

При исследованиях оползней особое внимание уделяется породам, слагающим оползневой склон, свойства которых являются важнейшим фактором образования оползней. Методам исследования инженерно-геологических свойств пород придается большое значение как нашими, так и зарубежными учеными [2].

В последнее время широко применяются полевые методы испытания пород. В горноскладчатых областях (Крым, Карпаты) большое количество крупнообломочных включений в оползневых отложениях во многих случаях исключает применение обычных лабораторных методов для изучения прочностных и деформационных свойств пород. Стандартные лабораторные приборы используются здесь для исследования песчаноглинистого заполнителя, а при испытаниях пород применяются крупногабаритные приборы и специальные методики.

Испытания методом выпирания

Метод основан на выпирании призматического блока породы под действием горизонтальной нагрузки, приложенной к его боковой вертикальной стенке, отделенной от массива прямоугольной выемкой и прорезями.

Размер вертикальной ступени 0,35-0,5 м, ширина призмы 1,0-1,5 м. Высота стенки призмы должна не менее, чем в 5 раз превышать размер наиболее крупных включений. Высота выпираемого массива 0,8-1,0 м. Ширина прорезов, заполненных перематым грунтом, 0,05-0,1 м.

После проходки шурфа и подготовки призмы вертикально (по отвесу) устанавливаются неподвижная и подвижная стенки, между которыми строго горизонтально устанавливаются домкраты с динамометрами. Горизонтальное давление передается до тех пор, пока не произойдет сдвиг. Этот момент соответствует сдвигающему усилию Q_{max} . Далее испытания продолжается до выпирания призмы по поверхности скольжения на величину 0,08-0,1 ширины призмы, после чего фиксируется усилие Q_{min} .

После окончания испытаний обнажается поверхность скольжения, в трех плоскостях замеряются ее координаты и вычисляются средние значения. В случае, когда координаты поверхности скольжения не удастся замерить, форма ее принимается как круглоцилиндрическая. На миллиметровой бумаге в выбранном масштабе строится сечение сдвинутой призмы, которое разбивается на ряд блоков в зависимости от размеров и формы поверхности скольжения.

Массу блоков g вычисляют по формуле

$$g = \frac{\gamma_o \cdot f}{1000}, \quad (4)$$

где γ_o – средняя плотность породы, кг/см³; f – площадь блока, см².

Условие предельного равновесия имеет следующий вид:

$$\frac{P}{G} \sum_1^{\Pi} g_n \cdot \cos \alpha_n - \sum_1^{\Pi} g_n \cdot \sin \alpha_n = \\ = \operatorname{tg} \varphi \left(\frac{P}{G} \sum_1^{\Pi} g_n \cdot \sin \alpha_n + \right. \\ \left. + \sum_1^{\Pi} g_n \cdot \cos \alpha_n \right) + C \sum_1^{\Pi} l_n, \quad (5)$$

где P – усилие сдвига, отнесенное к данному блоку и равно $\frac{Q_{max} \cdot 1 \text{ см}}{S}$; S – ширина призмы; $G = g_1 + g_2 + \dots + g_n$; $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент

внутреннего трения; C – удельное сцепление; l_n – длина дуги поверхности скольжения в пределах блока; α – угол наклона блока в градусах.

Удельное сцепление определяют по разности усилий сдвига P и перемещения P_1

$$C = \frac{P - P_1}{\sum_1^n l_n}, \quad (6)$$

где $P_1 = \frac{Q_{\min} \cdot l_{\text{см}}}{S}$.

Путем подстановки найденного значения C в уравнение равновесия находят $tg\varphi$.

Испытания методом обрушения целиков пород

Метод основан на последовательном обрушении нескольких целиков породы вертикально приложенной нагрузкой. Целики представляют собой призмы с отношением основания призмы к высоте не менее 1,5. Обычно применяются размеры призмы 0,4x0,4x0,8 м.

На призму устанавливают штамп, затем домкрат, упирающийся в горизонтальную раму. Обрушение каждой призмы производят с фиксацией разрушающей нагрузки. После обрушения призмы обнажается поверхность скольжения, координируется и строится кривая, призма разбивается на блоки и составляется уравнение равновесия [3].

Для выделенных сечений первой и второй призм обрушения уравнения равновесия имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \sum_1^n T_{n_1} &= tg\varphi \sum_1^n N_{n_1} + \sum_1^n T_{n_1}; \\ \sum_1^m T_{m_2} &= tg\varphi \sum_1^m N_{m_2} + \sum_1^m T_{m_2}, \end{aligned} \quad (7)$$

где n_1 и m_2 – соответственно число отсеков в 1-й и 2-й призмах обрушения; $tg\varphi$ – коэффициент внутреннего трения.

После подстановки действующих при обрушении усилий условия предельного равновесия каждой из призм представляется следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} A_{n_1} &= tg\varphi \cdot B_{n_1} + C \cdot F_1; \\ A_{m_2} &= tg\varphi \cdot B_{m_2} + C \cdot F_2, \end{aligned} \quad (8)$$

где

$$\begin{aligned} A_{n_1} &= \sum_1^n T_{n_1} = (P_1^1 + g_1^1) \cdot \sin \alpha_1^1 + \dots + (P_{n_1}^1 + g_{n_1}^1) \cdot \sin \alpha_n^1; \\ B_{n_1} &= \sum_1^n N_{n_1} = (P_1^1 + g_1^1) \cdot \cos \alpha_1^1 + \dots + (P_{n_1}^1 + g_{n_1}^1) \cdot \cos \alpha_n^1; \end{aligned}$$

F_1 и F_2 – площади поверхностей скольжения первого и второго целиков; $P_{n_1}^1$ – вертикальное давление, приходящееся на каждый отсек; g_{n_1} – масса каждого отсека.

Решая систему двух уравнений, представленных условиями предельного равновесия каждого обрушения цикла, получают показатели сдвига C и φ .

Выводы

Изучение геологических свойств пород представляет большой интерес для оценки устойчивости склона и прогнозирования оползневой процесса. Напряженно-деформированное состояние пород, вовлеченных в оползневой процесс, меняется под длительным воздействием напряжений. Основными показателями механических свойств пород являются значения деформационных и прочностных характеристик. Данные лабораторных исследований геологических свойств пород экстраполируются на сроки, во много раз превышающие продолжительность испытаний.

Литература

1. Рудько Г. И. Инженерная геодинамика Западной Украины и Молдовы : моногр. / Г. Рудько, В. Осюк. – Львов : «МАКЛАУТ», 2007. – 808 с.
2. Гулакян К.А. Инженерно-геологическое прогнозирование экзогенных геологических процессов / К.А. Гулакян, В.В. Зуев // Гидрогеол., инж. геология : Обзор МГП «Геоинформмарк». – 1992. – Вып. 3. – С. 9–11.
3. Золотарев Г.С. Методика инженерно-геологических исследований / Г.С. Золотарев. – М. : МГУ, 1990. – 384 с.

Рецензент: В.И. Клименко, профессор, к.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 29 марта 2010 г.