

О НЕКОТОРЫХ СТОРОНАХ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНОВ¹

Профессор, доктор техн. наук Г. М. ШАХУНЯНЦ²

Реферат. В статье раскрывается теория цикличности оползневых процессов и стадий (периодов, этапов) этих процессов внутри цикла, опубликованная автором еще в 1944 г. и подтвержденная в последующем рядом крупнейших исследователей, в том числе К. Терцаги в 1950 г. На базе этой теории разработаны общая методика проектирования мероприятий по обеспечению устойчивости грунтовых массивов и способы определения расчетных характеристик грунтов как функций ряда действующих аргументов. В статье указаны приемы определения эффективности осушающих устройств, их правильной работы, подбора фильтров дренажей и определения сроков осушения. Большое внимание уделено разработке методов рационального и точного статистического определения различных характеристик грунтов, коэффициентов устойчивости грунтовых массивов и давлений на поддерживающие сооружения.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНОВ

Всегда следует иметь в виду цикличность деформативных процессов на нестабилизированных объектах³ (Шахунянц, 1944, 1950, 1953, 1961, 1964; Шахунянц и др., 1961).

В зависимости от мощности, расположения и условий нахождения рассматриваемой толщи последняя в различной степени подвержена влияниям температуры, влажности и плотности, инфильтрации и испарения грунтовых вод, изменения уровня подземных вод, степени их агрессивности и насыщенности электролитами, изменения биологической активности рассматриваемой толщи и т. п.

В результате процессов, происходящих внутри рассматриваемой толщи, последняя претерпевает ряд изменений, носящих как обратимый, так и необратимый характер: изменяются трение, сцепление, пористость (скважность, пустотность) грунтов и пород (в результате механической и химической суффозии и биологической деятельности), структура породы (из массивной переходит в ноздреватую, ячеистую, образуются или развиваются полости, ниши и т. п.), плотность и прочность грунтов. В конечном счете изменяется во времени сопротивляемость толщи деформациям (в частности сдвигу, сжатию и др.) под воздействием внешних факторов, в том числе земного притяжения.

¹ Доклад на Симпозиуме по теории оползневого процесса, состоявшемся в Дилижане в мае 1973 г.

² Зав. кафедрой Московского института инженеров железнодорожного транспорта.

³ Теория цикличности оползневых процессов и стадий (периодов, этапов) этих процессов внутри цикла опубликована автором еще в 1944 г. (Шахунянц, 1944). В 1950 г. К. Терцаги в работе «Механизм оползней» полностью подтверждает нашу концепцию о цикличности оползневых процессов и о периодах (стадиях) внутри циклов. Г. И. Тер-Степанян в 1955 и 1957 гг. рассматривая глубинную ползучесть склонов, также исходит из положений, опубликованных в цитированной работе.

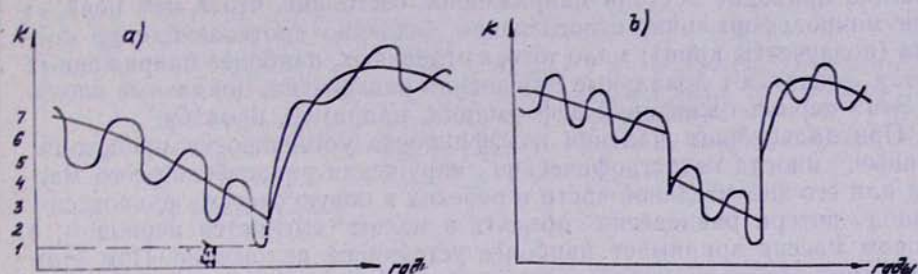


Рис. 1. Коэффициент устойчивости массива K при непрерывных (а) и скачкообразных (б) изменениях.

Նկ. 1. Զանգվածի K կայունության գործակիցը անընդհատ (а) և րոկշման (б) փոփոխությունների ժամանակ:

Fig. 1. Stability coefficient K of massif at continuous (a) and jump-like (b) changes.

Внешние воздействия на рассматриваемую толщу, очевидно, также не остаются неизменными во времени и подвергаются как обратимым, так и необратимым изменениям. К их числу относятся: загрузка толщи, например, оползневого склона; утяжеление вышележащей части и самой толщи в связи с инфильтрацией поверхностных вод; разгрузка толщи в результате снижения веса вышележащих частей и самой толщи, например, в результате процессов денудации, естественной вентиляции и дренирования; нагрузка склона продуктами выветривания, привносимыми на склон, где расположена рассматриваемая толща,—пролювием, курумами и т. п.; антропогенные факторы, стихийные явления (сейсмические и др.) и т. п. Со временем может изменяться и сама форма рассматриваемой толщи в результате процессов абразии, размыва или аккумуляции и т. д.

Следовательно, все процессы, оказывающие влияние на существование рассматриваемой толщи, и их динамика влекут за собой: а) изменения, происходящие внутри рассматриваемой толщи, т. е. изменения состояния толщи; б) изменения объема и формы толщи; в) изменения внешних воздействий на толщу.

Без раскрытия этих процессов, их механизма, характера и динамики невозможно правильно понять прошлое, оценить настоящее и прогнозировать будущее.

В результате происходящих процессов соотношения между факторами, сопротивляющимися нарушению равновесия грунтового массива (состоящего из ряда толщ), и факторами, стремящимися вызвать нарушение этого равновесия, не остаются неизменными, и коэффициент устойчивости массива со временем изменяется. Коэффициент устойчивости может иметь обратимый, циклический характер (в основном, обычно в круглогодичном цикле) и необратимый, многолетний.

Коэффициент устойчивости K меняется, в зависимости от изменения действующих факторов, либо непрерывно, либо скачкообразно, импульсивно (рис. 1). Если импульсивные изменения проходят через коэффициент устойчивости $K=1$, то происходит нарушение равновесия всего массива в целом. Если импульсивные изменения дают такие изменения коэффициента устойчивости K , что он все время остается более 1, то нарушения равновесия не произойдет, но дальнейший процесс его изменения будет протекать иначе (ускоряясь или замедляясь).

Когда текущее значение коэффициента устойчивости для массива в целом становится близким к единице, массив в критических своих

областях приходит в столь напряженное состояние, что в нем появляются микродеформации, относительно медленно протекающие во времени (ползучесть, крип); мало того, в отдельных, наиболее напряженных местах, возникают локальные нарушения равновесия, локальные оползни. Это—период оживления деформации, например, оползня.

При дальнейшем падении коэффициента устойчивости происходят крупные, иногда катастрофические нарушения равновесия всего массива или его значительной части и переход в новую систему равновесия. Период потери равновесия объекта в целом сменяется периодом, в котором массив принимает наиболее устойчивое положение. При этом будут иметь место микроподвижки и даже местные потери равновесия и локальные смещения. Это связано с тем, что при переходе массива или всего объекта в целом в новую систему равновесия со значительным поднятием коэффициента устойчивости в отдельных его местах в течение еще некоторого времени будут происходить локальные потери равновесия. Грунтовый массив как бы вживается в свое новое положение. Это—период затухающих микродеформаций и локальных нарушений равновесия, т. е. период затухания деформативной деятельности массива, который затем сменяется периодом относительной устойчивости. На нестабилизированном объекте процесс повторяется; соотношение факторов сопротивления и факторов разрушения ухудшается и коэффициент устойчивости падает.

На нестабилизированном объекте, таким образом, деформативная деятельность будет происходить циклически. При этом в общем случае цикл состоит из периодов (стадий): а) относительной устойчивости; б) оживления; в) перехода в новую систему равновесия; г) затухания. В конкретных случаях те или иные периоды могут отсутствовать; их продолжительность от цикла к циклу бывает разной.

Задачей инженерно-технических мероприятий является перевод объектов в период длительной устойчивости, который иногда наступает в силу естественноисторических причин. Для проведения мероприятий по обеспечению длительной устойчивости и достижения их полной эффективности (на что требуется время) наиболее целесообразно использовать период *относительной устойчивости*, иногда путаемый с результатами проведения тех или иных инженерных мероприятий.

Длительная устойчивость исчезает при нарушении условий ее существования. В связи с этим необходимы: а) правильные достаточные и своевременно проводимые инженерно-геологические исследования объекта, лабораторные и полевые испытания грунтов; б) проектирование мероприятий по обеспечению устойчивости на указанной выше базе; в) высококачественное, своевременное и в должной последовательности проводимое выполнение этих мероприятий; г) неослабный надзор и тщательное содержание всего оползневого склона, всех сооружений и устройств при нем и их своевременный ремонт; д) постоянное изучение в процессе эксплуатации массива (склона) и процессов, в нем происходящих, и своевременное приведение факторов, сопротивляющихся разрушению, в соответствие с факторами, стремящимися вызвать деформацию объекта.

ОБ ОБЩИХ ОСНОВАХ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВЫХ МАССИВОВ

При расчетах и проектировании мероприятий по обеспечению устойчивости грунтовых массивов (например, склонов) необходимо *тщательно вскрывать естественноисторическую обстановку и динамику*

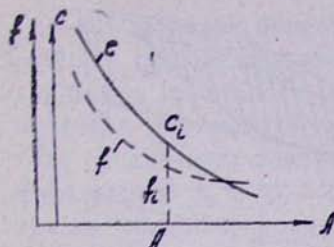


Рис. 2. Кривые f и c в функции аргумента A .
 Կ. 2. f և c կորագծերը արգիւմենտի A արգումենտի
 ֆունկցիաներ:

Fig. 2. Curves f and c as functions of the argument A .

процессов, происходящих в массиве склона, выявлять наиболее неблагоприятные, но реально возможные, критические моменты в существовании грунтового массива и на основе этого определять расчетные условия для проектирования мероприятий, стабилизирующих склон, с учетом прогнозируемых изменений условий существования склона, в том числе антропогенного происхождения. Особое значение при этом приобретает правильное определение расчетных характеристик грунтов (Шахунянц, 1944) как функций ряда аргументов A_i (влажности, плотности, солевого состава и т. п.).

Важнейшим среди аргументов нередко является влажность w , а при полном водонасыщении — и плотность грунта γ_d . Необходимо построить кривую f и c в функции соответствующего аргумента A_i (рис. 2), используя для этого различные известные приемы. Часто величины f и c можно выразить функциями одной определяющей переменной A (например w , γ_d и т. п.), — это важно для расчета и проектирования. Когда решается обратная задача, по известной поверхности смещения уже происшедшей деформации, то находят те значения f и c , при которых $K=1$.

При использовании кривых расчетных характеристик $f=f(A)$ и $c=c(A)$ задаются различные значения A и находят однозначно соответствующие значения f и c . Эти значения подставляют в уравнение для коэффициента устойчивости K и определяют то значение A_1 (например w_1) и соответствующие ему искомые значения $f=f_1$ и $c=c_1$, при которых $K=1$. Как видно, решение получается строгим. Произвол в отношении выбора значений f и c исчезает.

Расчетные характеристики грунтов, как функции различных аргументов, следует строить для определения f и c для всех тех разностей грунтов, какие могут быть пересечены критическими поверхностями возможных смещений.

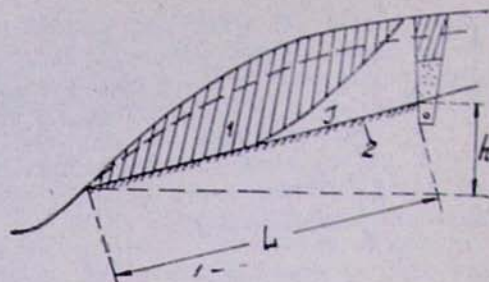
Проектирование стабилизирующих мероприятий при этом сводится к тому, что определяется значение A_0 (например w_0) для одного из слоев («основного») на контактной поверхности, при котором коэффициент устойчивости склона K будет равен заданному K_0 . При этом действующий аргумент A для других контактирующих слоев (при их пересечении критической поверхностью смещения) должен быть не произвольным, а соответствующим тем условиям, при которых в основном слое $A=A_0$ (например, $w=w_0$ или $\gamma_d=\gamma_{d0}$).

Если окажется, что в самые неблагоприятные критические моменты в деятельности оползня аргумент A (например, влажность w) в основном слое будет не более A_0 , а в других слоях также не больше расчетных, то никаких особых мероприятий не требуется. Очевидно, что при этом $A_0 < A_1$.

Рис. 3. Простейшая схема к расчету срока осушения; 1—оползневой блок; 2—водоупорный слой.

Նկ. 3. Յամախոյան ժամկետի հաշվարկի համար պարզագույն սխեման. 1—առկանքային բլոկ. 2—ջրամերժ շերտ:

Fig. 3. The simplest scheme to calculation of the drainage period; 1—andslide block; 2—watertight layer.



Если не планируется изменение аргумента A (например, осушением контактных поверхностей сползающих массивов), а проводятся только мероприятия по поддержанию сползающих массивов, перераспределению грунта (по перепланировке склона) и уменьшению его загрузки (напр., снижением инфильтрации в него поверхностной воды, не влияющей на условия существования контактов), то расчет ведется при значениях f_1 и c_1 , соответствующих A_1 (в случае однородной среды или с учетом соответствующих A_1 для каждого пересечения поверхности контакта с i -ой разностью грунта).

Если окажется, что без изменения A (например, без снижения влажности) на контакте поверхности смещения с соответствующими слоями невозможно стабилизировать объект, находится то значение A_0 , при котором будет осуществлен заданный коэффициент устойчивости K_0 , и определяются возможность и сроки изменения A (например, осушения). Если окажется, что такое изменение до заданных параметров недостижимо, то проверяется случай изменения A до возможного значения $A_{\text{воз}}$, и рассчитываются количественные параметры других, дополнительных, мероприятий и допустимая последовательность их устройства.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И СРОКИ ОСУШЕНИЯ

Ввиду того, что во многих случаях должны проверяться возможность, эффективность и сроки осушения склона, необходимо остановиться на этих вопросах.

Из предыдущего ясна методика нахождения того значения w , до которого надо снизить влажность на контакте, чтобы обеспечить заданную степень устойчивости. Необходимо проверить возможность такого осушения и определить его вероятные сроки.

Минимальная влажность, до которой грунт можно осушить, равна (Шахунянц, 1961): $w_{\text{min}} = (1 + \alpha)w_m$, где w_m — максимальная молекулярная влагоемкость (в долях), примерно равная для связных грунтов пределу пластичности; α — количество капиллярно-застывшей (после осушения) воды, выраженное в долях w_m . При отсутствии более точных данных принимается $\alpha = 0,05 - 0,10$. Если $w \geq w_{\text{min}}$, то осушение возможно. Важно выяснить не только возможность, но и найти ожидаемые сроки осушения. В простейшем случае, указанном на схеме (рис. 3), t вычисляется приблизительно

$$t \approx \frac{n_0 L}{k J} = \frac{(n - w_m) \frac{\gamma_d}{\gamma_w} L}{k J} = \frac{n - w_m \frac{\gamma_d}{\gamma_w}}{k h} L^2,$$

где n_0 —активная пористость; n —пористость; L —расстояние от ближайшей стенки перехватывающего (отсечного) дренажа до выклинивания дна грунтового потока на дневную поверхность; h —разница в отметках дна потока у стенки дренажа и в месте выклинивания потока на дневную поверхность; J —уклон дна потока; k —коэффициент фильтрации; γ_w и γ_d —объемные веса воды и скелета грунта. Несмотря на ориентировочность расчета, порядок величины может быть получен.

Пример. Грунт—тощий суглинок, $k=10^{-7}$ м/сек, $n_0=0,20$; $J=0,05$; $L=100$ м; $t = \frac{0,20 \cdot 100}{0,05 \cdot 10^{-7}} = 4 \cdot 10^9$ сек ≈ 125 лет. Очевидно, что такое осушение нереально.

В случае, когда дренаж преследует не цели осушения контакта поверхности смещения, а разгрузку склона от воды, снятие или снижение гидродинамического давления воды, также необходимо определение эффективности сроков снижения поверхности депрессии до расчетного уровня. Определение сроков осушения в более сложных случаях дано Шахунянцем (1961).

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЗНАЧЕНИЙ f И c

Взятые из разных мест совершенно однородной и находящейся в одинаковых условиях—с точки зрения инженерно-геологической (в том числе реологической) толщи образцы грунта будут давать разные значения определенных по ним характеристик грунтов в силу того, что в каждой точке однородной грунтовой толщи грунт несет черты своей индивидуальности. Поэтому надо получить не только среднее для всей однородной толщи значение характеристики, но и гарантированное значение средней с заданным уровнем вероятности Φ и не перейти за это значение. Иначе говоря, истинное значение некоторых характеристик a должно находиться в границах: $\bar{a} + \lambda_\Phi S_a \geq a \geq \bar{a} - \lambda_\Phi S_a$. Здесь $\bar{a}$ —среднее значение, S_a —среднее квадратическое отклонение выборки от среднего значения, λ_Φ —нормирующий множитель, приводящий доверительные границы к заданному уровню вероятности Φ . Однако, кроме индивидуальных особенностей каждой пробы грунта, в результате его извлечения, упаковки, доставки, хранения, подготовки к испытанию и самих испытаний, индивидуальных особенностей, измерительной техники, технологии испытания и строгости ее соблюдения, опыта и квалификации лаборантов и другого персонала, на грунт накладывается весьма значительное количество случайных воздействий, искажающих его истинные характеристики.

Обычно отбраковываются лишь явно негодные образцы, а остальная масса поступает на испытание. Необходимо показания испытаний очистить от этих случайных наслоений (Шахунянц, 1968а, 1972). Эта задача наиболее просто решается в отношении учета индивидуальных особенностей приборов, наложения случайностей при подготовке образцов к испытаниям и при самих испытаниях. Для этого учета следует изготовить во всех отношениях однородную пасту и испытать ее на данную характеристику (например, на сдвиг) на разных приборах при участии разных лаборантов; пасту надо изготавливать в несколько замесов. В результате получится n испытаний однородной пасты и

столько же показателей. Разница между A_i и $\bar{A}$ пусть будет a_i . Очевидно, что $\bar{a}_i = 0$, следовательно, среднее значение случайных отклонений равно нулю, а эмпирическая оценка дисперсии

$$S_a^2 = \frac{\sum (A_i - \bar{A})^2}{n}.$$

Эта дисперсия целиком относится к случайным отклонениям, связанным с лабораторными испытаниями, а не с характеристикой грунта. В общем случае значение S_a может отражать всю совокупность случайностей, не характеризующих грунт, с момента извлечения образца до момента получения S_a . В связи с этим расчет характеристик следует вести по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \bar{a} + \lambda_\Phi S_a^- &\geq a \geq \bar{a} - \lambda_\Phi S_a^-; \quad S_a^- = \frac{S_a}{\sqrt{n-1}}; \\ S_a &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2}{n} - S_{a_i}^2}; \quad \bar{a}_{\min} = \bar{a} - \lambda_\Phi S_a^-; \quad \bar{a}_{\max} = \bar{a} + \lambda_\Phi S_a^- \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Ввиду обычно применяемых малых выборок, значение λ_Φ определяется исходя из распределения по закону Стюдента. При этом, как известно, чем меньше число наблюдений, тем больше значение λ_Φ для обеспечения одной и той же вероятности Φ .

Пример. Требуется найти гарантированное значение коэффициента внутреннего трения при $\Phi = 0,95$, если по результатам испытаний найдено, что $f = 0,400$ и $S_f = 0,255$. Специальными методическими опытами найдено, что $S_a = 0,155$. При $n = 10$ и $\Phi = 0,95$ $\lambda_\Phi = 2,262$ (по Стюденту). Тогда по формулам (1) получим $f_{\min} = 0,255$. Без учета случайностей, не связанных с характеристикой грунта, $f_{\min} = 0,217$.

Перейдем к определению параметров по двучленной формуле (Шахунянц, 1972) $\tau = f\sigma + c$. Подход к определению расчетного значения $\tau = \tau_p$ по расчетным (гарантированным) значениям f и c применяется довольно широко. При этом каждая характеристика определяется путем нахождения из ряда испытаний значений $f_1, f_2, f_3, \dots$ и $c_1, c_2, c_3, \dots$. Расчетные (гарантированные) средние значения f и c находят по формулам:

$$f_p = f - \lambda_\Phi S_f \quad \text{и} \quad c_p = c - \lambda_\Phi S_c;$$

$$S_f = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum (f_i - \bar{f})^2} \quad \text{и} \quad S_c = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum (c_i - \bar{c})^2}.$$

Раздельное определение расчетного гарантированного значения каждого параметра двучленной формулы (f и c) неточно и весьма неэкономно. Поэтому надо определять характеристики сопротивляемости τ с использованием всех экспериментальных точек для нахождения требуемых средних значений f и c , соответствующих τ , вместо того, чтобы из каждой группы экспериментальных точек извлекать только одну пару значений f_i и c_i . Уже одно это повышает точность расчетов, не говоря о более строгом определении расчетных значений f_0 и c_0 .

Суть единого определения расчетных значений τ_p и соответствующую

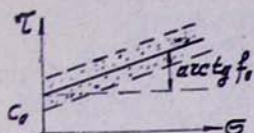


Рис. 4. Доверительные границы расчетного значения τ_p .
 նկ. 4. τ_p հաշվարկային նշանակության վստահական սահմանները.
 Fig. 4. Confidence limits of design values.

щих им характеристик f_0 и c_0 заключается в следующем. По способу наименьших квадратов решается уравнение прямой $\tau = f\sigma + c$, с использованием всех точек испытаний всех образцов данной однородной толщи, т.е. находятся $f = f_0$ и $c = c_0$

$$f_0 = \frac{n \sum \sigma_i \tau_i - \sum \sigma_i \sum \tau_i}{n \sum \sigma_i^2 - (\sum \sigma_i)^2}; \quad c_0 = \frac{\sum \tau_i - f_0 \sum \sigma_i}{n}.$$

Находится эмпирическая дисперсия S^2 экспериментальных точек от аппроксимированной прямой:

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum (\tau_i - f_0 \sigma_i - c_0)^2.$$

Затем определяется эмпирическая несмещенная оценка среднего квадратического отклонения аппроксимированной прямой S_0 , т.е. отклонение среднего значения

$$S_0 = \sqrt{\frac{S^2 - S_\sigma^2}{n-2}},$$

где $n - K = n - 2$ — степень свободы (при двух искомых параметрах $K = 2$). Вычисляется расчетное значение τ_p :

$$\tau_p = f_0 \sigma + c_0 - \lambda_\Phi S_0. \quad (2)$$

Однако эта формула предполагает, что доверительные границы для аппроксимированной прямой параллельны этой прямой (рис. 4), что неточно. Для уточнения, в соответствии с теорией корреляции, находятся значения средних квадратических отклонений по формулам:

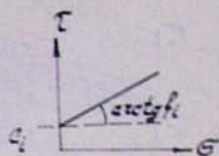
$$\left. \begin{aligned} S_\sigma^2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\sigma_i - \bar{\sigma})^2; \quad S_\tau^2 = \frac{S_0^2}{S_\sigma^2}; \\ S_c^2 &= S_0^2 \left(1 + \frac{\bar{\sigma}^2}{S_\sigma^2}\right); \quad S_\tau = S_0 \sqrt{1 + \frac{(\sigma - \bar{\sigma})^2}{S_\sigma^2}} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Поэтому в уравнении $\tau = f\sigma + c$ следует принять гарантированное значение $\tau = \tau_p$ с вероятностью Φ в виде:

$$\tau_p = f_0 \sigma + c_0 - \lambda_\Phi S_\tau; \quad S_\tau = S_0 \sqrt{1 + \frac{(\sigma - \bar{\sigma})^2}{S_\sigma^2}}. \quad (4)$$

При этом S_τ становится зависимым от σ и для каждого значения σ должно браться свое значение S_τ и τ_p . Здесь $\bar{\sigma}$ — среднее значение σ при испытаниях. Пусть, например, τ определены при $\sigma = 1$ кГ/см², 3 кГ/см² и 5 кГ/см². Тогда $\bar{\sigma} = 3$ кГ/см²; по формуле (3) $S_\sigma^2 = 2,67$ кГ/см² и $\bar{\sigma}^2/S_\sigma^2 \approx 3,03$.

Рис. 5. Обычная расчетная схема для определения f и c .
 Նկ. 5. Սովորական հաշվարկային սխեմա f և c որոշելու համար:
 Fig. 5. Common design scheme for determination of f and c .



Из формулы (4) вытекает, что чем меньше σ_i отличается от $\bar{\sigma}$ тем меньше значение корня и тем точнее будет вычислено τ_p . При $\sigma_i = \bar{\sigma}$ формула (4) превращается в (2). Поэтому весьма важно определить параметры τ применительно к конкретным расчетам, так как чем ближе будет σ_i в каждом отсеке возможного блока смещения к среднему значению $\sigma_{\text{доб}}$, тем точнее будет результат, меньше рассеяние и меньше значение S_τ .

По старому способу (рис. 5), когда из каждого экспериментального определения выражения τ находится одна пара f_i и c_i по формулам (1) получим:

$$\bar{f} = \frac{\sum f_i}{n}; \quad \bar{c} = \frac{\sum c_i}{n}; \quad S_f = \sqrt{\frac{\sum (f_i - \bar{f})^2}{n}}; \quad S_c = \sqrt{\frac{\sum (c_i - \bar{c})^2}{n}}; \quad S_{\bar{\tau}} = \sqrt{\frac{\sum (f_i - \bar{f})^2}{n(n-1)}}; \quad (5)$$

$$S_{\bar{c}} = \sqrt{\frac{\sum (c_i - \bar{c})^2}{n(n-1)}}; \quad \tau_p = f\bar{\sigma} + \bar{c} - \lambda_{\Phi}(S_{\bar{\tau}} + S_{\bar{c}}); \quad f_p = \bar{f} - \lambda_{\Phi}S_{\bar{\tau}}; \quad c_p = \bar{c} - \lambda_{\Phi}S_{\bar{c}}$$

Формулы (5) значительно менее точны, по сравнению с формулами (4), так как количество значений f_i и c_i для определения τ_p по формулам (5), по крайней мере, в 2—3 раза меньше, чем при определении по формулам (4) при одном и том же количестве испытаний. Для одного и того же уровня вероятности Φ значение λ_{Φ} в связи с этим должно быть значительно выше. Так, при $n=12$ и $K=2$ (две степени свободы) для $\Phi=0,95$ $\lambda_{\Phi}=2,228$; а при $n=6$ и $K=1$ $\lambda_{\Phi}=2,571$.

Кроме того, величины $S_{\bar{\tau}}$ и $S_{\bar{c}}$ при малом количестве точек имеют существенно большие значения, чем при больших значениях n , и влияния случайностей в процессе лабораторных исследований не учитываются.

О РАСЧЕТАХ КОЭФФИЦИЕНТА УСТОЙЧИВОСТИ И ДАВЛЕНИЯ НА ПОДДЕРЖИВАЮЩИЕ СООРУЖЕНИЯ

Не следует пренебрегать влиянием соседних отсеков на условия равновесия данного (рис. 6). Как это специально доказывается (Шахунянц, 1941, 1961, 1964) при любой поверхности возможного смещения, в том числе и круглоцилиндрической с учетом взаимодействия отсеков, значения K и E определяются по формулам:

$$K = \frac{\sum (f_i N_i + c_i l_i + T_{i-\text{уд}}) \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}}{\sum T_{i-\text{сд}} \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}}; \quad E = \frac{\sum (K T_{i-\text{сд}} - f_i N_i - c_i l_i - T_{i-\text{уд}}) \cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)} \quad (6)$$

где $\alpha_i = \beta - \gamma_i$, φ_i — угол внутреннего трения по поверхности основания

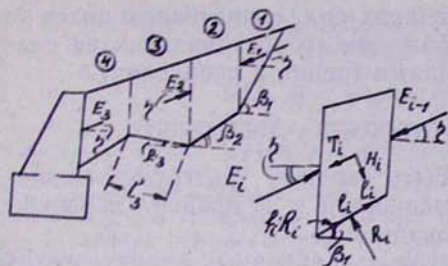


Рис. 7. Схема для определения правильной структуры коэффициента устойчивости K .

Նկ. 7. Կայունության K գործակցի ճիշտ կառուցվածքի որոշման համար սխեմա:

Fig. 7. Scheme for determination of the correct structure of the stability coefficient K .

i -го отсека блока. Если в формуле (6) принять $\cos z_i / \cos(z_i - \varphi_i) = 1$, то получим

$$K = \frac{\sum (f_0 N_i + c_i l_i + T_{i-уд})}{\sum T_{i-сд}} \quad (7)$$

Следовательно, с известным приближением формула (7) также применима при любой поверхности смещения. Необходимо обратить внимание на то, что тангенциальные составляющие внешних сил, удерживающие от сдвига и имеющие место на восходящей части поверхности смещения, должны суммироваться с силами, создающими сопротивление перемещению (Шахунянц, 1941, 1953, 19686), и быть в числителе формулы (7). Иногда с этим не считаются и K определяют по формуле:

$$K = \frac{\sum (f_i N_i + c_i l_i)}{\sum T_i} = \frac{\sum (f_i N_i + c_i l_i)}{\sum T_{i-сд} - \sum T_{i-уд}}$$

При $\sum T_{i-сд} = \sum T_{i-уд}$ $K = \infty$. Это абсурдно, так как при малых значениях f и c K приближается не к ∞ , а к 1. Найдем, например, коэффициент устойчивости K против сдвига цилиндра с круговым сегментом в основании (рис. 7).

При правильном учете по приближенной формуле (7)

$$K = \frac{r(\sum f_i N_i + \sum c_i l_i) + \frac{G}{2} a}{\frac{G}{2} a}$$

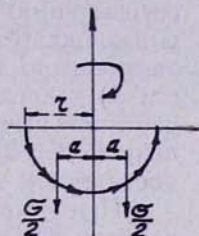
при $(\sum f_i N_i + \sum c_i l_i) \approx 0$ $K = 1$, и достаточно легкого нажима на край цилиндра, чтобы вывести его из равновесия. При расчете по неправильной формуле:

$$K = \frac{r(f_i N_i + c_i l_i)}{\frac{G}{2} - \frac{G}{2}} = \infty.$$

Рис. 6. Расчетная схема для определения коэффициента устойчивости K и давления земли E на поддерживающее сооружение.

Նկ. 6. Զանգվածի K կայունության գործակցի հետաքննության կառուցվածքների վրա E հողանեշտը որոշելու հաշվարկային սխեմա:

Fig. 6. Design scheme for determination of the stability coefficient K and the earth pressure E on the retaining structure.



Тангенциальные составляющие внешних сил, сопротивляющихся смещению, следует относить к числу факторов, сопротивляющихся смещению (т. е. группировать вместе с силами трения и сцепления).

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВА ДРЕНАЖЕЙ

Назначение дренажа может быть двоякое: разгрузка склона от воды и ее гидродинамических воздействий и осушение поверхности контакта оползневого блока с основанием.

Первая задача, при подходящих фильтрационных характеристиках, осуществима. Вторая—возможна при применении непрерывно перехватывающих (отсечных) дренажей, однако в этом случае особенно важно определить эффективность их устройства (снижение w , повышение s и φ) и сроков осушения. Совершенно бесполезны для этих целей вертикальные завесы из системы скважин или шахт, между которыми непременно будет «проскакивать» вода в количестве, всегда совершенно достаточном для смачивания контакта.

При устройстве дренажа особое внимание должно быть уделено подбору фильтра во избежание быстрого колюматажа. Имеются достаточно строгие расчеты, исходящие из двух очевидных требований (Шахунянц, 1953, 1961, 1969):

а) чтобы не было механической суффозии из мелкого грунта, контактирующего с более крупным (дренирующей обсыпкой) или с трубой (с ее щелями). Для этой цели должно быть выполнено условие $v_{\text{вх}} \leq \sqrt[3]{k_i/30}$, где v и k выражено в м/сек.

б) чтобы не было вываливания частиц и агрегатов мелкого грунта в поры контактирующего более крупного (чтобы имело место устойчивое сводообразование). Здесь ставится условие $e_{i+1} \leq Cd_{90-i}$, где e_{i+1} — линейный размер поры, диаметр круглого отверстия, ширина щели d_{90-i} — линейный размер частиц более мелкого контактирующего i -го слоя, меньше которого по весу 90%; $C=2-2,5$, и лишь при контакте с трубой (которую все же можно периодически чистить) при круглых отверстиях $C=3,0-3,5$, а при щелевидных $C=2-2,5$. Линейный размер пор приблизительно может быть определен по формуле:

$$e = 0,455 \sqrt[3]{\frac{n}{\eta}} d_{17},$$

где $\eta = d_{60}/d_{10}$ — коэффициент неоднородности для дренирующего заполнителя, по возможности следует обеспечивать $\eta=5-6$; d_{17} — линейный размер частиц, меньше которого по весу 17%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Очевидно, что всесторонняя оценка оползневых склонов не может быть сведена только к тем показателям, которые рассмотрены в настоящей статье. Однако к числу важнейших должны быть отнесены рассмотренные выше вопросы цикличности оползневых процессов, методики проектирования стабилизирующих склонов мероприятий и определения расчетных характеристик грунтов как функций ряда действующих аргументов, вопросы точности оценки устойчивости оползневых склонов и давлений на поддерживание сооружения, наиболее рациональные статистических определений различных характеристик грунтов, эффективности осушающих устройств, их правильной работы, подбор фильтров дренажей и определения сроков осушения.

ՍՈՂԱՆՔԱՅԻՆ ԼԱՆՁՆԵՐԻ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ
ՄԻ ՔԱՆՆԻ ԿՈՂՄԵՐԻ ՄԱՍԻՆ՝

ՏԵԽՆ. ԳԻՄ. ԴՈԿՄԵՆՏ, ԿՐԵՖ. ԳԵՈՐԳ ԾԱԽՈՒՆՅԱՆՅԱՆ

ՌԵԶԵԿՄԵ. Հողվածում բացահայտվում է սողանքային ընթացքների ցիկլանության տեսությունը և ցիկլի ներսում այդ ընթացքների փուլերը (ժամանակաշրջանները, էտապները), որոնք հրատարակված էին հեղինակի կողմից դեռ 1947 թ. և հաստատված հետազոտում մի շարք խոշորագույն գիտնականների, այդ թվում Կ. Տերզագիի կողմից 1950 թվականին: Այս տեսության հիմքի վրա մշակված են գրունտային զանգվածների կայունությունը ապահովելու համար միջոցառումների նախագծման ընդհանուր մեթոդիկա և գրունտների հաշվարկային ընութագրերի որոշման եղանակներ, ինչպես մի շարք դրածոյ արդումներների ֆունկցիաներ: Հողվածում ցույց են տրված ցամաքեցնող միջոցառումների էֆեկտիվության, ցամաքորդների քամիչների ընտրության և ցամաքեցման ժամկետների որոշման եղանակները: Մեծ ուշադրություն է դարձված գրունտների տարրեր ընութագրերի ռադիոնալ և ճիշտ վիճակագրական որոշմանը, գրունտային զանգվածների կայունության գործակիցների և պահող կառույցների վրա ճնշման մեթոդների մշակմանը:

CERTAIN ASPECTS OF THE EVALUATION OF
THE STABILITY OF SLIDING SLOPES³

Professor, Dr.Sc. (Eng.) GEORGE M. SHAKHUNIANTS⁴

SYNOPSIS: The paper deals with the theory of cyclic recurrence of the sliding processes and stages (periods) within these processes published by the author in 1947 and subsequently corroborated by a number of prominent scientist including K. Terzaghi in 1950. Based on this theory the general method of design of measures for security of the soil massifs' stability has been worked out and the means of determination of soil characteristics as function of a number of arguments. The article indicates the means of determining the efficacy and terms of drainage and the selection of filters. Great attention is paid for a rational and precise statistical determination of various soil characteristics, the coefficient of stability of soil massifs and the pressures on supporting structures.

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ — ЛИТЕРАТУРА — REFERENCES

- Шахунянц Г. М., 1941. К вопросу определения условий устойчивости оползней, Строительство железных дорог и путевое хозяйство, 2: 48 — 51.
- Шахунянц Г. М., 1944. О методике проектирования мероприятий по стабилизации земляного полотна, Техника железных дорог, 12: 3 — 7.
- Шахунянц Г. М., 1950. Современные требования к земляному полотну железных дорог. Сб. «Проектирование и возведение земляного полотна железных автомобильных дорог», Изд. АН СССР, 6 — 12.
- Шахунянц Г. М., 1953. Земляное полотно железных дорог, М., Трансжелдориздат.
- Шахунянц Г. М., 1961. Железнодорожный путь, 2 изд., Изд. «Транспорт», 1969.
- Шахунянц Г. М., 1964а. Борьба с оползнями на дорогах. Материалы Совещания по вопросам изучения оползней и мер борьбы с ними. Изд. Киевского ун-та, 56 — 73.
- Шахунянц Г. М., 1964б. Расчет устойчивости склонов и откосов против скольжения пород, *ibid.*, 218 — 226.
- Шахунянц Г. М., 1968а. Назначение расчетных характеристик грунтов, Труды МИИТ, Изд. «Транспорт» 273: 7 — 12.
- Шахунянц Г. М., 1968б. К вопросу расчета устойчивости откосов (склонов), *ibid.*, 3 — 6.
- Шахунянц Г. М., 1972. Способы определения расчетных характеристик грунтов, Труды МИИТ, Изд. «Транспорт», 357: 100 — 112.
- Шахунянц Г. М., Нечаев Б. И., Клевцов И. А., 1961. Опыт борьбы с оползнями на железных дорогах. Труды ЦНИИ МПС, М., Трансжелдориздат, 211: 4 — 45.

¹ Դիվիզանում 1973 թ. մայիսին կայացած Սողանքային ընթացքի տեսության սիմպոզիումին ներկայացված զեկուցում:

² Մոսկվայի երկաթուղային տրանսպորտի ինժեներների ինստիտուտի ամբիոնի վարիչ:

³ Reported at the Symposium on the Theory of Landslide Process held in Dilijan, Armenia in May 1973.

⁴ Head of Chair of Moscow Institute of Railway Transport Engineers.