

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный  
аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

Архитектурно-строительный факультет  
Кафедра строительных материалов и конструкций

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ,  
МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И  
ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

по дисциплине

и для самостоятельной работы

для аспирантов по направлению подготовки

08.06.01 Техника и технологии строительства

(уровень подготовки кадров высшей квалификации)

Краснодар  
КубГАУ  
2019

*Составители:* Маций С.И., Рябухин А.К.

**Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей** : метод. указания по дисциплине и для самостоятельной работы / сост. С. И. Маций, А. К. Рябухин – Краснодар : КубГАУ, 2019. – 68 с.

Метод. указания предназначен для аспирантов по направлению подготовки 08.06.01 - Техника и технология строительства

Рассмотрено и одобрено методической комиссией архитектурно-строительного факультета Кубанского государственного аграрного университета, протокол № 2 от 22.10.2019.

Председатель  
методической комиссии



А. М. Блягоз

© Маций С.И., Рябухин А.К.,  
составление, 2019

© ФГБОУ ВО «Кубанский  
государственный аграрный  
университет имени  
И. Т. Трубилина», 2019

# ЛЕКЦИЯ 1

## ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

**Удерживающие сооружения (конструкции) глубокого заложения** – свайные, свайно-анкерные и анкерные сооружения, предназначенные для компенсации недостатка удерживающих и/или избытка сдвигающих усилий в оползневом массиве с учетом всех существующих и прогнозируемых неблагоприятных условий и их сочетаний.

**Подпорные стены** – стены, предназначенные для удержания вертикальных или незначительно наклонных уступов на склоне.

**Противооползневые подпорные стены** – подпорные стены, предназначенные для восприятия откосного и незначительного оползневого давления. Применяются как правило в сочетании с другими видами удерживающих сооружений.

**Подпорно-планировочные стены** – подпорные стены, преимущественно предназначенные для защиты поверхности уступов на склоне от выветривания и осыпания и/или архитектурного оформления.

**Противоэрозионные мероприятия** – материалы, конструкции и работы, направленные на защиту грунтов склона от поверхностной (смыв и размыв грунта, образование промоин) и глубинной эрозии.

Анализ устойчивости оползневого склона с привлечением расчетных методов должен выполняться как составной элемент комплексной инженерно-геологической оценки и прогноза устойчивости оползневого склона в естественных условиях и с учетом намечаемого его использования.

При недостаточной инженерно-геологической обоснованности расчетных схем и без исчерпывающего предоставления о достоверности использованных в расчете величин расчетных параметров прочностных и деформационных свойств грунтов, выполнять расчеты устойчивости оползневого склона не следует.

Оценка устойчивости склона (откоса), а также защищаемых объектов на склоне или в его среде должна включать:

- сбор исходных данных;
- выбор расчетных створов;
- составление расчетной схемы;
- определение (уточнение) расчетных параметров грунтов;
- выбор метода расчета в соответствии с зафиксированным (предполагаемым) механизмом оползня, природными и техногенными условиями;
- выполнение и анализ результатов расчетов устойчивости;
- определение и построение эпюр оползневого давления;
- рекомендации по мероприятиям инженерной защиты.

## **ЛЕКЦИЯ 2**

### ***ТРЕБОВАНИЯ К СОСТАВУ, ОБЪЕМУ И КАЧЕСТВУ ИЗЫСКАНИЙ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ***

Объем, содержание и сроки инженерных изысканий зависят от стадии проектирования, сложности природных условий, категории дороги.

Инженерные изыскания выполняются с соблюдением требований СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения»; СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов».

Основные виды инженерных изысканий включают: инженерно-геодезические, инженерно-геологические, инженерно-гидрометеорологические.

Инженерно-геодезические изыскания должны содержать:

- топографические планы;
- продольные и поперечные профили проектируемых и существующих трасс автомобильных дорог; направление поперечников должно совпадать с направлением наибольшего падения уклона рельефа местности.

Инженерно-геологические изыскания должны содержать:

- анализ архивных материалов с целью рассмотрения вариантов прокладки трассы (обход суще-

ствующих оползневых зон, возможность строительства тоннелей, галерей, эстакад), а также учета опыта эксплуатации автомобильных дорог в аналогичных инженерно-геологических условиях;

- оценку геоморфологических условий территории с отображением отличительных особенностей оползней, форм микрорельефа, морфоэлементов внеоползневой зоны рельефа на морфологических картах; данные о наличии и типе растительности, положении стволов деревьев («пьяный лес») и других признаков наличия оползней;
- определение геологического строения территории с выделением инженерно-геологических элементов;
- оценку гидрогеологических условий – строительство автомобильных дорог ведется с созданием искусственных насыпей и срезок, следствием чего является нарушение естественного режима стока поверхностных и подземных вод; в связи с этим необходимо выявлять источники замачивания (природные и техногенные) грунтов склона и основания земляного полотна, места выхода струйных течений, наличие водоносных горизонтов (включая «верховодку»), источники и режимы их питания, прогнозируемый уровень грунтовых вод (УГВ); для склонов – модуль стока для расчетов эрозионной площади; при наличии в подножии откоса водотока – скорость боковой и

- глубинной эрозии (фактическую и прогнозную); агрессивность к бетонам;
- определение физико-механических свойств грунтов (в соответствии с ГОСТ 12248-96, ГОСТ 20522-96): удельного веса (кН/м<sup>3</sup>), сцепления (кПа), угла внутреннего трения (град.), а также предела прочности на одноосное сжатие и растяжения (МПа) (для полускальных и скальных пород); так как большая протяженность дорог предполагает прокладку по территориям с самыми различными инженерно-геологическими условиями необходимо производить статистическую обработку данных с определением показателей, характеризующих изменчивость свойств грунтов (среднеарифметическое, наибольшее и наименьшее значения, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации, асимметрию, эксцесс); прогнозирование изменения прочностных показателей по мере выветривания полускальных пород; выявление чувствительности грунтов к динамическим нагрузкам; определение диапазона колебаний влажности и плотности для набухающих грунтов;
  - выявление неблагоприятных инженерно-геологических процессов: области распространения, размеров, мощности, активности, причин, факторов и повода их развития; определение сейсмичности участка;

- оценку состояния (эффективности работы) существующих сооружений, включая защитные;
- оценку оползневой опасности и оползневого риска на основе качественного, полуколичественного и количественного подходов, в зависимости от стадийности проектирования и объема исходных данных;
- районирование (картирование) территории по степени проявления опасных склоновых процессов; классификация участков по очередности проведения мероприятий инженерной защиты;
- разработку рекомендаций по инженерной защите трассы.

Инженерно-гидрометеорологические должны содержать анализ климатических условий территории, включая таблицу с распределением средних месячных осадков и испарения за годы 5%, 50% и 95% обеспеченности.

## ЛЕКЦИЯ 3

### *РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ*

Объем расчетов устойчивости и оползневых давлений должен определяться с учетом стадии разработки проекта инженерной защиты территорий:

- «Обоснование инвестиций». Расчетные створы следует располагать выборочно на наиболее типичных по природным условиям участках, преимущественно в местах возможного возникновения крупных оползней.
- «Проектная документация». В пределах защищаемой территории рекомендуется выполнять типизацию склонов по инженерно-геологическим условиям развития оползней. Расчетные створы следует предусматривать минимум по одному для каждого типа склонов и не менее одного на каждом из участков защищаемых (существующих и проектируемых) сооружений.
- «Рабочая документация». Расчетные створы, как правило, следует предусматривать в пределах всех существующих и прогнозируемых оползней, а также на участках защищаемых (существующих и проектируемых) сооружений.

Состав расчетов устойчивости должен включать анализ фактического состояния склонов на защищаемой территории, а также прогнозного его состояния с учетом

всех реально возможных неблагоприятных факторов и изменений инженерно-геологической обстановки:

- изменение рельефа в процессе освоения (реорганизации) склона;
- изменение гидрогеологических условий (поверхностного и подземного стока);
- изменение прочностных и деформационных характеристик горных пород;
- изменение и появление дополнительных внешних нагрузок и воздействий;
- активизацию и развитие опасных инженерно-геологических процессов (эрозии и оползней);
- развитие зон выветривания горных пород;
- активизацию сейсмических воздействий и др.

Прогноз устойчивости склонов в условиях изменения инженерно-геологической обстановки должен учитывать влияние намечаемой проектом инженерно-хозяйственной деятельности в период эксплуатации склона, а также результаты продолжающегося воздействия природных экзогенных геодинамических процессов (эрозионных, абразионных, оползневых, выветривания и др.) на рассматриваемый склон.

Прогноз устойчивости склонов должен выполняться на весь срок эксплуатации сооружений, имеющихся и проектируемых на склоне, а также на период временного изменения инженерно-геологических условий, внешних воздействий и нагрузок в течение строительных и

земляных работ по осуществлению проекта хозяйственного освоения склона.

Объем расчетов оползневых давлений должен обеспечивать анализ давлений на проектируемые удерживающие сооружения с учетом всех вариантов их конструкции, а также всех сочетаний наиболее неблагоприятных условий их работы.

## ЛЕКЦИЯ 4

### *РАСЧЕТ ОПОЛЗНЕВЫХ ДАВЛЕНИЙ*

Наиболее распространенные в инженерной практике методы расчета устойчивости и оползневых давлений делятся на три основных группы:

- методы предельного (пластического) равновесия;
- методы конечных элементов;
- комбинированные методы.

Степень устойчивости склона (откоса) оценивается величиной коэффициента устойчивости (запаса устойчивости, безопасности).

Склон, откос или его морфологический элемент считается устойчивым, если его коэффициент устойчивости выше единицы ( $K > 1$ ). Величина коэффициента устойчивости склона (откоса) приблизительно равная единице ( $K \approx 1$ ) соответствует состоянию предельного равновесия, наблюдающемуся в моменты начала и завершения оползневого смещения.

С учетом теоретических допусков применяемых методов расчета и практических погрешностей получения исходных данных посредством инженерно-геодезических, инженерно-геологических и геофизических изысканий, расчетные величины коэффициентов устойчивости и задаваемых коэффициентов запаса устойчивости откосов и склонов должны отвечать условию:

$$K_{y(z)} \geq [K_{y(z)}], \quad (1)$$

где  $K_{y(3)}$  – расчетный коэффициент устойчивости (запаса устойчивости);  
 $[K_{y(3)}]$  – нормативный (минимально требуемый) коэффициент устойчивости (запаса устойчивости).

Оценка устойчивости откосов и склонов заключается, как правило, в решении плоской задачи: рассматриваются условия равновесия массива горных пород шириной 1 м (с вертикальными, боковыми гранями), условно «вырезанного» из массива склона по направлению ожидаемого оползневого смещения (силы, действующие по боковым граням, при этом не учитываются).

Расчеты устойчивости в трехмерной постановке следует осуществлять, как правило, в сложных инженерно-геологических условиях при высокой степени их изученности, достоверном определении положения поверхности скольжения для инженерных защиты наиболее ответственных объектов.

## ЛЕКЦИЯ 5

### МЕТОД ПРЕДЕЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ

Методы оценки устойчивости откосов и склонов, основанные на теории предельного равновесия, рассматривают только напряженное состояние грунтового массива в предельном равновесии. Деформации грунтов склона при этом не учитываются.

Количественным показателем степени устойчивости откосов и склонов в методах предельного равновесия является коэффициент устойчивости (коэффициент запаса устойчивости), равный соотношению сумм всех удерживающих и сдвигающих сил (моментов):

$$K_{f(m)} = \frac{\sum R_{f(m)}}{\sum T_{f(m)}}, \quad (2)$$

где  $\sum R_{f(m)}$  – сумма удерживающих сил (моментов) в сдвигающемся массиве грунтов;

$\sum T_{f(m)}$  – сумма сдвигающих сил (моментов);

$K_{f(m)}$  – коэффициент устойчивости склона.

Оценку устойчивости откосов и склонов методами предельного равновесия рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

- 1) выбор расчетного створа(ов);
- 2) составление расчетной схемы;
- 3) генерализация расчетной схемы;

- 4) определение внешних дополнительных нагрузок;
- 5) выбор поверхности скольжения;
- 6) составление отсековой модели оползня;
- 7) вычисление коэффициента устойчивости по формулам предельного равновесия;

Для выполнения генерализации расчетной схемы необходимо упростить геометрию склона:

- объединить в одну группу грунты с одинаковыми или достаточно близкими (с инженерным допуском) физико-механическими характеристиками;
- удалить не существенные формы рельефа;
- удалить не существенные геологические элементы – пренебрежимо тонкие прослои и линзы грунта;
- криволинейные участки границ литологических разностей, поверхности земли и кривых депрессии на участках, достаточно близких к прямым, заменить прямыми отрезками.

Для выполнения расчетов устойчивости необходимо выполнить сбор внешних дополнительных нагрузок на склон (от зданий, сооружений и др. объектов). Для этого необходимо определить:

- величины и направление (вектора) внешних дополнительных нагрузок,
- для сосредоточенных нагрузок – точки приложения;

- для распределенных нагрузок – границы и характер распределения; произвольно распределенная нагрузка должна быть заменена серией линейно распределенных нагрузок.

Линия поверхности скольжения (или семейство таких линий) может быть принята по результатам инженерно-геологических изысканий.

При выборе поверхности скольжения необходимо учитывать следующее:

- линия скольжения должна ограничивать единое (без сплошных разрывов) грунтовое тело;
- линия скольжения не должна иметь вертикальных или обратно-наклонных участков.

С целью составления расчетной модели оползня, оползневой (потенциально оползневой) массив грунта делится вертикальными сечениями на ряд отсеков. Вертикальные сечения проводятся в следующих местах:

- пересечения поверхности скольжения и границ литологических разностей;
- пересечения поверхности скольжения и пьезометрических линий;
- границ приложения каждой из внешних распределенных нагрузок;
- точек перегибов границ литологических разностей, пьезометрических линий, поверхности скольжения и поверхности земли.

При составлении отсековой модели необходимо учитывать следующее:

- поверхность земли в пределах отсековой модели не должна иметь обратно-наклонных («нависающих») участков;
- массив грунтов в пределах отсековой модели не должен иметь внутренних пустот и разрывов сплошности;

Далее оценивается средняя ширина отсеков. Отсеки, ширина которых значительно отличается от средней величины, разбиваются дополнительными вертикальными сечениями. Ширина каждого из отсеков, как правило, не должна превышать половины его средней высоты.

В случае поверхности скольжения круглоцилиндрической или криволинейной формы, линия поверхности скольжения в подошве отсека заменяется отрезком прямой линии. Поэтому ширина отсеков должна выбираться так, чтобы образованная подошвами отсеков ломаная линия достаточно близко соответствовала исходной линии скольжения.

Для расчетов с учетом всех условий статического равновесия (включая равновесие моментов) необходимо выбрать точку вращения отсековой модели оползня. Точка выбирается на равном удалении от всех точек поверхности скольжения. Если поверхность скольжения нельзя аппроксимировать участком дуги, во внимание следует принять точки начала и конца поверхности скольжения, а также максимально удаленную от соединяющего их отрезка.

Определение коэффициента устойчивости рекомендуется выполнять с использованием формул метода общего предельного равновесия, поскольку он учитывает все условия статического равновесия (соотношение удерживающих и сдвигающих как сил, так и моментов).

Основные допущения метода:

- прочность грунта на сдвиг подчиняется критерию Кулона–Мора;
- локальные коэффициенты устойчивости всех отсеков равны;
- оползневое смещение происходит по схеме сдвига с опрокидыванием относительно единого центра вращения;
- сила нормальной реакции по подошве отсека приложена к ее середине;
- результирующая силы тяжести отсека, горизонтальная и вертикальная составляющие результирующей силы сейсмической нагрузки приложены к центру тяжести отсека;
- соотношение нормальной и касательной межотсековых сил подчиняется функции  $f(x)$ , где  $x$  – относительная координата грани отсека

Коэффициент устойчивости из условия равновесия сил:

$$K_f = \frac{\sum_{i=1}^n [c_i l_i + (N_i - u_i l_i) \operatorname{tg} \varphi_i] \cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^n N_i \sin \alpha_i + \mu_h \sum_{i=1}^n W_i + \sum_{i=1}^n D_i \sin \beta_i}; \quad (3)$$

## ЛЕКЦИЯ 6

### МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Метод конечных элементов рассматривает напряженно-деформированное состояние грунтового массива с учетом упругого и упруго-пластического поведения грунтов и наличия строительных сооружений и конструкций в массиве горных пород.

Количественным показателем степени устойчивости откосов и склонов в методе конечных элементов является коэффициент безопасности (надежности):

$$K = \frac{c_{исх}}{c_{крит}} = \frac{\operatorname{tg} \varphi_{исх}}{\operatorname{tg} \varphi_{крит}}, \quad (4)$$

где  $c_{исх}, \varphi_{исх}$  – исходные прочностные характеристики;  
 $c_{крит}, \varphi_{крит}$  – критические прочностные характеристики, соответствующие пластическому течению грунта в рассматриваемой области.

Оценку устойчивости откосов и склонов методом конечных элементов рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

- 1) выбор расчетного створа(ов);
- 2) составление расчетной схемы;
- 3) генерализация расчетной схемы;
- 4) определение внешних дополнительных нагрузок;
- 5) расчет давлений подземных вод;
- 6) расчет начальных бытовых напряжений в грунте;

7) вычисление коэффициента безопасности методом «снижения  $c$  и  $\varphi$ ».

Расчет давлений подземных вод, как правило, производится на основании уровня грунтовых вод (или пьезометрического уровня подземных вод) с учетом гидростатического распределения давлений по глубине.

Для этого в каждой точке водонасыщенного и водопроницаемого грунта должна быть рассчитана величина начального порового давления.

Расчет начальных бытовых напряжений в грунте может производиться с помощью процедуры  $K_0$  или процедуры гравитационного нагружения. Процедуру  $K_0$ , как правило, следует использовать только в задачах с горизонтальной поверхностью земли и параллельными ей слоями грунтов и уровней подземных вод. Во всех остальных случаях должна использоваться процедура гравитационного нагружения.

Процедура  $K_0$  заключается в определении вертикальных и горизонтальных эффективных напряжений в грунтовом массиве, связанных коэффициентом бокового давления  $K_0$ :

$$\sigma_{h0} = K_0 \sigma_{v0}. \quad (5)$$

Вертикальные эффективные напряжения определяются весом перекрывающих сверху грунтов:

$$\sigma_{v0} = \sum \gamma_i \cdot h_i - u_0, \quad (5a)$$

где  $\gamma_i$  – удельный вес отдельного слоя грунта,  $\text{кН/м}^3$ ;

$h_i$  – мощность отдельного слоя грунта,  $\text{м}$ ;

$u_0$  – начальное поровое давление в рассматриваемой точке, *кПа*.

Величина коэффициента бокового давления должна приниматься таким образом, что бы в каждой точке модели не нарушалось условие прочности грунта Кулона–Мора. Для несвязного грунта во избежание пластичности грунта значение  $K_0$  должно быть ограничено соотношением:

$$\frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} < K_0 < \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}. \quad (6)$$

Для нормально уплотненных грунтов величина коэффициента бокового давления  $K_0$  определяется соотношением:

$$K_0 = 1 - \sin \varphi. \quad (7)$$

В переуплотненных грунтах величина коэффициента бокового давления может достигать 2 и более.

Процедура гравитационного нагружения заключается в последовательном увеличении веса первоначально невесомого грунтового массива с использованием итеративной процедуры уравнивания напряженного состояния конечно-элементной модели.

Соотношение вертикальных и горизонтальных составляющих эффективных напряжений при этом в значительной степени определяются принятыми величинами коэффициента Пуассона  $\nu$ . Необходимо выбирать такие значения коэффициента Пуассона  $\nu$ , которые не приведут к образованию значительных зон пластиче-

ских деформаций. В частности, для несвязных грунтов должно выполняться условие:

$$\frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} < \frac{\nu}{1 - \nu}, \quad (8)$$

где  $\nu$  – коэффициент Пуассона.

Определение величины коэффициента безопасности  $K$  в рамках метода конечных элементов осуществляется из соотношения исходных и критических прочностных характеристик грунтов, получаемых в результате применения процедуры «снижения  $c$  и  $\varphi$ ».

Процедура «снижения  $c$  и  $\varphi$ » заключается в последовательном снижении исходных прочностных показателей грунта до критических величин, соответствующих моменту образования областей пластического течения и разрушения грунта.

Значения исходных прочностных характеристик грунтов соответствуют показателям, задаваемым перед началом процедуры «снижения  $c$  и  $\varphi$ ».

## **ЛЕКЦИЯ 7**

### ***ОСОБЕННОСТИ СОСТАВЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ***

Расчетные схемы для каждого расчетного створа склона следует составлять на основе выбранных расчетных створов и анализа инженерно-геологических разрезов по их направлениям.

Разрабатывать расчетные схемы следует с учетом наиболее реального отражения фактического состояния устойчивости склона (откоса), а также изменений в период строительства и эксплуатации защищаемых объектов и удерживающих сооружений.

Основой для построения расчетной схемы является инженерно-геологический разрез, выполненный в неискаженном масштабе (горизонтальный, вертикальный и грунтовый масштабы должны быть одинаковыми).

Рельеф расчетной схемы должен быть построен на точной геодезической основе с показанием всех современных элементов поверхности склона: зон выпора, заколов, трещин и других признаков членения оползня, отметок характерных точек (бровок и подошвы осыпей и обвалов, верхней и нижней отметок стенок и ступеней срыва и проч.).

Построение рельефа для расчетной схемы на основе на основе топографических планов съемок прошлых лет допускается только для ориентировочных (приближенных) расчетов.

Расчетная схема должна охватывать весь оползневой или оползнеопасный массив горных пород как по простиранию, так и по глубине.

Для расчетов на основе метода конечных элементов назначаемые размеры расчетной схемы должны обеспечивать отсутствие влияния границ модели на результаты расчетов.

Расчеты методами, предусматривающими возможность учета истории нагружения, должны проводиться на основе расчетных схем, учитывающих последовательность изменений рельефа, нагрузок на склон, гидрогеологических условий, а также прочностных и деформационных свойств горных пород.

Выбор расчетной схемы и параметров, характеризующих прочностные и деформационные свойства пород, не обоснованный изысканиями и исследованиями, не может приниматься в обоснование проекта.

## ЛЕКЦИЯ 8 «ОБРАТНЫЕ» РАСЧЕТЫ

Обратные расчеты устойчивости заключаются в определении таких величин сопротивления сдвигу, которые соответствуют предельному равновесию сил для конкретных рассматриваемых оползней, склонов или уступов с заданным коэффициентом запаса.

Величины коэффициента устойчивости при указанных условиях принимаются равными:

- единице – для откосов и склонов, находящихся по данным изысканий или визуальных наблюдений в предоползневом состоянии (наблюдаются трещины, заколы, беспорядочный наклон деревьев в сторону падения склона), а также для активных оползневых участков;
- незначительно выше единицы ( $K_y \geq 1,1$ ) – для откосов и склонов, не проявляющих признаки предоползневой стадии, но подверженных активному глубинному выветриванию и/или техногенным воздействиям, способствующим снижению прочностных характеристик грунтов, а также для недавно стабилизированных оползневых участков.

Необходимость уточнения прочностных характеристик грунтов методом «обратных» расчетов в ряде конкретных случаев может быть обусловлена:

- недостоверностью прочностных характеристик грунтов вследствие недостаточного объема ин-

женерно–геологических изысканий или качества их обработки;

- несоответствием результатов расчета фактической ситуации;
- изменчивостью свойств грунтов в пространстве и во времени (особенно в горной местности);
- погрешностью и допущениями теоретических и программных средств, применяемых для оценки степени устойчивости и расчета оползневых давлений т.д.

Уточнение прочностных характеристик грунтов методом «обратных» расчетов следует применять в следующих случаях:

- материалы инженерно-геологических изысканий определяют только причины образования оползней их механизм, но прочностные и деформационные параметры пород с достаточной достоверностью не определены;
- результаты расчета противоречат фактически наблюдаемой ситуации<sup>1</sup>:
  - расчетный коэффициент устойчивости  $K_y > 1$  для активного оползня;
  - расчетный коэффициент устойчивости  $K_y < 1$  для стабильного по наблюдениям участка;
- характеристики грунтов получены:

---

<sup>1</sup> При условии достаточного обоснования принятых расчетных схем и методов расчета.

- для смежного участка с аналогичными геологическими, морфологическими, гидрогеологическими и техногенными условиями;
- в целом для протяженного или значительно по площади участка в горной местности;
- по архивным данным или по статистически недостоверным результатам изысканий;
- в более благоприятный период года относительно гидрогеологических и др. условий;
- на смежных участках в аналогичных инженерно–геологических условиях наблюдается развитие оползневых явлений;
- прогнозируется захват оползневыми подвижками участков, примыкающих к действующим оползням.
- при «реконструкции» инженерно-геологических условий проявления оползневых подвижек.

На протяженных или значительных по площади участках, метод «обратных» расчетов может применяться индивидуально для каждого расчетного створа.

В процессе выполнения «обратных» расчетов, прочностные (сдвиговые) характеристики грунтов должны подбираться в диапазоне:

$$c_{\min} \leq c_{back} \leq c_{fact}, \quad (9)$$

$$\varphi_{\min} \leq \varphi_{back} \leq \varphi_{fact}, \quad (10)$$

где  $c_{\min}, \varphi_{\min}$  – минимальные прочностные характеристики грунтов в уровне поверхности скольже-

- ния, определенные по схеме сдвига грунта по подготовленной и смоченной поверхности («плашка по плашке»);
- $c_{back}, \varphi_{back}$  – прочностные характеристики по данным «обратных» расчетов устойчивости;
- $c_{fact}, \varphi_{fact}$  – прочностные характеристики в естественном состоянии, определенные по схеме сдвига грунта ненарушенной структуры.

Варьирование значений прочностных характеристик при выполнении «обратных» расчетов устойчивости должно производиться:

- для глинистых грунтов – пропорционально величинам соответствующих переходных коэффициентов либо принимая минимальное значение  $\varphi$  и подбирая величину  $c$ ;
- для песчаных, супесчаных и щебенистых грунтов – принимая минимальное значение  $c$  и подбирая величину  $\varphi$ .

Для неоднородных откосов и склонов «обратные» расчеты должны производиться послойно в пределах всей оползневой или оползнеопасной толщи. Целевой коэффициент запаса устойчивости при этом для каждого слоя должен назначаться индивидуально, с учетом степени опасности его вовлечения в оползневые подвижки.

## **ЛЕКЦИЯ 9**

### ***АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ УСТОЙЧИВОСТИ И ОПОЛЗНЕВЫХ ДАВЛЕНИЙ***

В процессе и по завершении выполнения намеченной программы расчетов устойчивости и оползневых давлений необходимо выполнять критический анализ полученных результатов.

Целью анализа результатов расчетов устойчивости является:

- оценка фактического состояния склонов (откосов);
- оценка степени достоверности используемых исходных данных и методов расчета;
- оценка степени влияния на устойчивость склонов (откосов) различных природных и техногенных факторов, а также их сочетаний;
- выявление причин и условий возникновения или активизации оползневых процессов, а также установление наиболее значимых поводов, провоцирующих существующие или прогнозируемые оползневые подвижки;
- прогноз изменения степени устойчивости склона неукрепленного склона под воздействием природных факторов с учетом инженерно-хозяйственной деятельности по освоению или реорганизации склона;
- оценка достаточности и эффективности существующих и/или проектируемых мероприятий

- инженерной защиты склонов (откосов) с учетом класса защищаемых объектов;
- выбор наиболее эффективных вариантов проектируемых противооползневых мероприятий и их сочетаний;
  - определение наиболее эффективного расположения проектируемых удерживающих конструкций и условий их работы (мощность удерживаемой толщи, количество ярусов и др).

#### ПРИМЕЧАНИЕ.

Продолжительное отсутствие явных следов подвижек на старооползневых склонах не может служить признаком устойчивости, если не устранены причины, вызывающие оползень. Стабильность оползневого склона может быть достигнута лишь при полном устранении причин, вызывающих оползни.

Задачей анализа эпюр оползневого давления является определение величин оползневых нагрузок на сооружения для:

- экспертной оценки состояния существующих удерживающих сооружений;
- определения наиболее неблагоприятного сочетания природных и техногенных факторов с учетом требуемых коэффициентов запаса;
- выбора типа, места расположения и параметров проектируемых или конструкций усиления существующих сооружений.

## ПРИМЕЧАНИЕ.

Для дифференцирования параметров удерживающих конструкций по ширине оползня в зависимости от мощности оползневых накоплений и величин давлений грунта строят фронтальные эпюры оползневых давлений (обычно по оси проектируемой конструкции).

По итогам анализа результатов расчета устойчивости в пояснительной записке к проекту противооползневых мероприятий должно быть приведено заключение о достаточной (недостаточной) степени устойчивости склона (откоса) в естественном состоянии, а также с учетом прогнозируемых изменений инженерно-геологических и техногенных условий.

Заключение должно сопровождаться рекомендациями по обеспечению необходимой степени устойчивости участка инженерной защиты с учетом всех прогнозируемых неблагоприятных факторов в соответствии с классом защищаемых объектов.

## **ЛЕКЦИЯ 10**

### ***ОЦЕНКА ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТИ И РИСКА НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ***

Исследование оползневой опасности и риска является специальным видом проектно-изыскательской деятельности, направленной на обеспечение безопасности населения, объектов автомобильного хозяйства и окружающей природной среды в пределах территорий, подверженных воздействиям оползневых процессов, путем заблаговременного осуществления мероприятий по предупреждению природных чрезвычайных ситуаций и уменьшению негативных последствий, обусловленных этими процессами.

В общем виде оползневой риск определяется произведением вероятности смещения грунтовых масс в существующих природно-технических условиях или при предполагаемом их изменении на ожидаемый ущерб от данного события.

Объектами исследования при изучении оползневой опасности и риска являются:

- здания, сооружения и инженерные коммуникации (линии электропередач, водоснабжения и др.), попадающие в зону влияния оползневого процесса;

- люди, находящиеся в зоне влияния оползневого процесса;
- окружающая природная среда.

Исследование оползневой опасности и риска выполняется:

- в составе инженерных изысканий;
- при разработке всех видов документации на строительство, ремонт, капитальный ремонт, реконструкцию участка автомобильной дороги и/или защитных дорожных сооружений;
- в процессе эксплуатационного содержания автомобильных дорог и защитных дорожных сооружений.

Исследование оползневой опасности и риска на участках автомобильных дорог позволяет:

- изучить причинно-следственный механизм возникновения и развития оползневых процессов на рассматриваемой территории;
- провести классификацию и ранжирование факторов оползневой опасности по их значимости;
- выявить потенциальную оползневую опасность участков автомобильных дорог;
- провести сравнение оползневой опасности различных участков;

- установить приоритеты при строительстве защитных сооружений и оценить их эффективность;
- определить необходимый состав работ по содержанию и геотехническому мониторингу оползневых участков.

Необходимость проведения исследования оползневой опасности для существующей или проектируемой автомобильной дороги определяют по согласованию с заказчиком при выработке требований к программе обеспечения ее надежности, включаемых в контрактные документы (техническое задание, договор и др.).

Для обеспечения качества и согласованности результатов исследования оползневой опасности включают следующие этапы:

- подготовительные работы;
- выявление факторов оползневой опасности;
- оценка оползневой опасности и риска;
- управление оползневой опасностью и риском.

На этапе подготовки совместно с представителями заказчика (эксплуатирующей организации) определяют объекты и задачи исследования, используемый метод оценки, организационные ограничения по управлению риском и разрабатывается программа.

Сбор и анализ архивных данных осуществляется для предварительной оценки факторов оползневой опасности, определения обоснованности существующих мероприятий инженерной защиты и подготовки к проведению инженерно-геологического обследования участков автомобильных дорог. Для этого используют:

- материалы предыдущих инженерных изысканий и стационарных наблюдений;

- сведения о конструкциях автомобильной дороги, существующих мероприятиях инженерной защиты, а также зданий и сооружений, способных повлиять на развитие оползневого процесса или попадающие в зону его влияния;

- данные эксплуатирующей организации о ранее происходивших оползневых событиях и режиме функционирования исследуемого участка дороги.

Для установления возможности дальнейшего использования материалы инженерных изысканий проверяются на актуальность предоставленных в них сведений, а также соответствие требованиям СП 11-105-97 (части I и II) и СНиП 11-02-96 (СП 47.13330.2012).

Имеющиеся данные геодезических, геологических, гидрогеологических и гидрометеорологических изысканий позволяют предварительно установить пло-

щадь распространения, строение и возможный характер оползневого процесса.

На основе анализа топографических планов, космо- и аэрофотоматериалов устанавливаются достаточность имеющейся полосы геодезической съемки, границы распространения оползневых тел и предполагаемый базис их смещения.

Инженерно-геологические изыскания должны содержать:

- возраст, генезис, литологическую характеристику пород, условия их залегания, структурно-тектонические особенности и обоснование сейсмичности участка;

- характеристику экзогенных геологических процессов, способствующих оползневой деятельности;

- определение физико-механических свойств грунтов, прогнозирование изменения прочностных показателей в результате выветривания, определение диапазона колебаний влажности и плотности для набухающих грунтов;

- характеристику имеющихся на исследуемой территории оползней: размеры, возраст, стадию развития, скорость подвижек, мощность и возможные причины возникновения;

- результаты расчетов устойчивости склонов в естественном состоянии по установленным и возможным поверхностям скольжения, включая результаты «обратных» расчетов в случае активного оползневого процесса;

- результаты стационарных наблюдений (геотехнического мониторинга);

- прогноз изменения оползнеобразующих факторов и развития оползневых процессов (увеличение глубины захвата, возникновение новых и т.д.).

В результатах гидрогеологических изысканий должно быть отражено количество водоносных горизонтов и обводненных зон, глубина их залегания, взаимосвязь водоносных горизонтов между собой и с поверхностными водами, пути движения подземных вод в теле оползня, основные приходные и расходные статьи водного баланса (источники замачивания, места выхода струйных течений и т.д.).

В случае расположения участка исследований непосредственно у водотока требуются следующие гидрологические данные: максимальные, средние и минимальные уровни воды; характерные скорости течения; фактическая и прогнозная скорости боковой эрозии.

Инженерно-гидрометеорологические изыскания должны содержать анализ климатических условий тер-

ритории, включающий сведения о колебаниях температуры и влажности воздуха, испаряемости, ливнях редкой повторяемости и их параметрах.

При необходимости и соответствующем обосновании материалы инженерных изысканий могут быть дополнены и сопоставлены со сведениями, полученными на смежных с исследуемым участком территориях.

На основе анализа проектной и рабочей документации устанавливаются состав и конструктивные решения существующих мероприятий инженерной защиты, участка автомобильной дороги, прилегающих объектов и определяется возможность их реконструкции или капитального ремонта.

Проектная и рабочая документация защитных сооружений должна содержать обоснование состава защитных сооружений, результаты расчетов устойчивости склонов после их возведения, основные положения организации строительства, условия производства работ и др.

На основе анализа эксплуатационных данных устанавливаются текущее техническое состояние существующих конструкций, характер имеющихся в них деформаций, периодичность и причины капитальных ремонтов, а также частота и скорость развития оползневых процессов на исследуемом участке.

## Обследование оползневых участков и инженерных сооружений

Основными задачами инженерно-геологического обследования состояния прилегающих к автомобильной дороге склонов являются определение их характеристик по данным полевых исследований, классификация оползневых процессов (приложение А), составление или корректировка прогноза их развития и выявление факторов оползневой опасности. В ходе обследования проводятся:

- определение характера деформаций поверхности массива и типа оползневого процесса, его возраста, причин возникновения, степени активности;

- установление приуроченности оползневых процессов к определенным стратиграфогенетическим комплексам пород, тектоническим структурам и геоморфологическим уровням и типам рельефа;

- определение влияния гидрогеологических и гидрометеорологических условий, а также гидрологических особенностей территории на возникновение и развитие оползневых процессов;

- выяснение роли морфологии и морфометрии рельефа, а также экспозиции склонов на возникновение оползней;

- установление парагенезиса оползневых и других современных геологических процессов;
- выявление роли антропогенного фактора в возникновении и активизации оползневых процессов;
- оценка состояния сооружений инженерной защиты и их эффективности (при наличии).

Состав работ по обследованию оползневых участков автомобильных дорог определяется с учетом требований СП 11-105-97 (часть II) и в зависимости от конкретных инженерно-геологических и технических условий объекта может в общем случае включать маршрутные наблюдения, обследование технического состояния подпорных стен и других инженерных сооружений, дешифрирование космо- и аэрофотоматериалов, геодезические и гидрогеологические работы, геофизические исследования, проходку разведочных выработок, лабораторные исследования грунтов, камеральную обработку полученных материалов обследования.

Маршрутные наблюдения проводятся совместно с представителями заказчика или эксплуатирующей организации и включают изучение земляного полотна автомобильной дороги, оползнеопасного склона, прилегающей территории и имеющихся на ней сооружений.

В ходе маршрутных наблюдений фиксируются изменения уровня грунтов на склоне, в том числе отно-

сительно гребня подпорной стены или других удерживающих сооружений, участки появления поваленных или наклонившихся деревьев, децерации (срыва дернины на склоне), появления оползневых трещин и водопроявлений на склонах и др. Полученные данные позволяют определить характер напряженного состояния и деформаций на различных участках склона, выявить механизм и природу оползня, возраст смещений разных порядков, конфигурацию поверхности оползневого скольжения и мощность смещающихся пород. При необходимости маршрутные наблюдения проводятся в комбинации с неглубоким бурением или проходкой шурфов и закопущек.

При описании и анализе трещин в фундаменте рекомендуется выделять оползневые (с детальной их классификацией по Тер-Степаняну), тектонические (в частности в зонах разрывных нарушений), напластования, усыхания, выветривания. Описание трещин в грунте на поверхности оползня рекомендуется производить по следующей схеме: одиночная ли трещина или принадлежит к системе аналогичных трещин, форма в плане, ширина, видимая глубина и наклон, характер стенок и их взаимное положение; наличие горизонтального перемещения по трещине и его величина, приуроченность трещины к определенной породе, заполнитель, соображения о генезисе и характере вызвавшей ее появления деформации.

Необходимо также указывать, к какому элементу оползневого микро рельефа приурочена трещина.

При описании растительности необходимо фиксировать характер деформации стволов деревьев, незаконномерный наклон стволов в разные стороны («пьяный лес»), расщепленные стволы и др.; наличие вывернутых и опрокинутых, поваленных деревьев; участки чахлой, угнетенной растительности, пожелтевшей кроны, засохших деревьев; наличие деформаций растительности, посаженной правильными рядами (аллей деревьев, рядов лоз винограда и др.); отсутствие или наличие растительности на стенках оползневых срывов и возраст деревьев, нарушение дернового покрова и др.

При описании склоновых отложений большое внимание следует уделять цвету пород, наличию признаков ожелезнения, карбонатности, степени перемятости пород, их слоистости, наличию и характеру обломочных включений и их петрологическому составу, размеру обломков, степени их окатанности, наличию вторичных минералов, наличию и характеру «зеркал» скольжения.

Обследование земляного полотна дороги, удерживающих, водоотводных, дренажных и других инженерных сооружений, попадающих в зону влияния оползневого процесса, проводится согласно ГОСТ Р 53778-2010. Обнаруженные при обследовании дефекты и поврежде-

ния конструкций фиксируются и оцениваются с точки зрения их воздействия на несущую способность, долговечность и эксплуатационные качества сооружений.

При обследовании существующих сооружений инженерной защиты следует обращать внимание на возможные нарушения в технологии проведения строительных работ, способствующие развитию оползневого процесса: сброс грунта на низовой склон, непредусмотренная в документации подрезка и т.п.

Подлежащие обследованию участки инженерных сооружений предварительно разбивают на характерные сегменты с разной степенью нарушенности и типами конструкций. Фиксируют данные о пикетажном местоположении границ соответствующих участков сооружений. Составляют схему удерживающих, водоотводных и дренажных сооружений. Определяют базовые места дислокации рабочих групп на время проведения полевых работ и согласовывают работы с органами ГИБДД и органами управления автомобильными дорогами.

Для выявления границ потенциально неустойчивых склонов и получения сведений об их геоморфологических условиях при необходимости выполняется специальная оползневая съемка в масштабах от 1:500 до 1:1000 в соответствии с СП 11-104-97.

Дешифрирование космо- и аэрофотоматериалов, а также анализ результатов лазерного сканирования территории проводится для установления типов и подтипов оползней, их формы и масштабности проявления, предварительной оценки возраста процессов, их стадии и основных факторов развития, характера техногенной нагрузки и деформаций сооружений автомобильной дороги.

Опытные гидрогеологические работы проводятся для оценки сезонных колебаний уровней подземных вод и гидродинамического давления по водоносным горизонтам, оказывающим воздействие на устойчивость склона и подпорных сооружений автомобильной дороги, установления источников питания подземных вод, зон разгрузки, связи между поверхностными и подземными водами, определения фильтрационных характеристик грунтов.

В ходе инженерно-геологического обследования гидрогеологические наблюдения выполняются с использованием стационарной сети или отдельных наблюдательных скважин, в ходе сопутствующих наблюдений при проходке шурфов и разведочных скважин, а также в результате наблюдений за естественными водопроявлениями на склоне. Сеть наблюдательных скважин располагается с учетом условий залегания подземных вод в плане и в разрезе.

Для выявления источников питания оползней водой и воздействия подземных вод на изменение свойств склоновых отложений (на формирование в их толще зон ослабления) необходимо изучать химический состав подземных вод и его изменение во времени. Гидрохимические наблюдения рекомендуется вести по тем же скважинам, по которым производятся наблюдения за уровнем и температурой воды, размещая наблюдательные точки таким образом, чтобы охарактеризовать всю толщу оползневых пород по площади и глубине. При проведении гидрохимических наблюдений необходимо особое внимание обращать на:

- установление типов подземных вод, которые указывают на интенсивность и относительные скорости фильтрации (например, гидрокарбонатные кальциево-магниево-сульфатные воды характерны для участков интенсивной инфильтрации, сульфатные воды распространены в слабопроницаемых грунтах и свидетельствуют о меньших скоростях и т.д.);

- аномально повышенную минерализацию, которая может контролировать наличие зон тектонических нарушений или очагов загрязнения;

- специфический химический состав (например, наличие содовых вод), влияющий на процессы оползнеобразования.

В пределах оползневого склона для оценки баланса подземных вод необходимо выделить:

- зоны, покрытые лесами, лугами или полями, где основными элементами баланса являются боковой приток, отток, инфильтрация, эвапотранспирация;

- участки, занятые садами и другими сельхозугодьями (виноградниками, бахчами), где элементы баланса те же, но добавляются поливные воды и периодический сток в дренажи;

- участки, занятые жилыми, промышленными и рекреационными (например, курортными) массивами, в пределах которых основные элементы баланса те же, но естественный режим подземных вод нарушен;

- места разгрузки подземных вод (нижележащие водоносные горизонты, высачивание на склонах, в дренажи, установленные в подпорных сооружениях, в близлежащую речную сеть, непосредственно под земляное полотно автомобильной дороги).

Возможность применения геофизических методов основана на различии физических свойств горных пород в зависимости от их состава и состояния. Геофизические исследования следует выполнять согласно СП 11-105-97 (часть VI) и совмещать с инженерно-геологическими и гидрогеологическими обследованиями. Основными ме-

тодами оценки состояния склонов являются сейсморазведка и георадиолокация.

Сейсмические исследования на теле оползня проводятся для определения:

- геологического строения оползневого склона (тела оползня, поверхности скольжения, положения скальных пород);
- направления скольжения тела оползня;
- уровня грунтовых вод;
- деформационных свойств грунтов, слагающих оползень.

Методика сейсмических исследований и применяемое оборудование приведены в приложении Б.

Георадиолокационные исследования на теле оползня проводятся с целью изучения внутреннего строения оползня и грунтов вокруг него на основе построения отражающих границ между слоями с различными электрофизическими свойствами. В свою очередь, электрофизические свойства тесно связаны с физическими характеристиками - пустотностью, влагонасыщением, глинистостью и т.д. Георадары хорошо применять при работе с грунтами, имеющими высокое электрическое сопротивление. Напротив, низкоомные породы, такие, как глины, могут являться непреодолимым барье-

ром для изучения методами георадиолокации. В связи с тем, что породы тела оползня часто представлены влажными глинистыми разностями, георадиолокация на теле оползня носит вспомогательный характер. Простота выполнения полевых работ позволяет рекомендовать этот метод для обследования состояния склонов наряду с сейсмическими методами. Методика георадиолокационных исследований и применяемое оборудование приведены в приложении В.

Выбор типа и количества разведочных горных выработок производится в соответствии с СП 11-105-97 (часть I) с учетом условий подъезда и размещения бурового оборудования в стесненных условиях. Разведочные выработки следует размещать как по продольному (по направлению движения оползня), так и по поперечным створам, вдоль осей оползней, а также вне этих створов, что необходимо для сравнения показателей состава и состояния грунтов в различных частях склона. Глубина выработок назначается по результатам предварительной оценки геологического строения участка согласно имеющейся архивной документации, но не менее чем на 3 - 5 м ниже поверхности скольжения. Для наиболее правильной геологической интерпретации полученных материалов на каждом крупном оползне рекомендуется проходить от 2 до 5 глубоких скважин. Расстояние между выработками следует принять таким, чтобы отразить

изменение как рельефа склона, так и показателей свойств склоновых отложений.

Для экспресс-оценки тип связного грунта и его влажность можно установить на месте, используя визуальные признаки, приведенные в приложении Г. Более точно данные параметры устанавливаются в лабораторных условиях.

Лабораторные исследования состава и свойств грунтов проводятся по образцам, отобранным прежде всего из основного деформируемого горизонта, с учетом типа оползневого процесса и предполагаемых воздействий различных факторов (изменений напряженного состояния, плотности, влажности, динамических, в том числе сейсмических, воздействий) с учетом требований пункта 4.2.10 СП 11-105-97 (часть II).

При необходимости установления средней скорости движения оползневого тела и характера изменений инженерно-геологических условий во времени на рассматриваемом участке необходимо проводить долгосрочные стационарные наблюдения на основе геотехнического мониторинга оползневых процессов.

Камеральная обработка материалов исследований включает построение моделей оползневых склонов, расчет их устойчивости и составление прогноза развития оползневых процессов. Подход к построению модели

оползневого склона и выбор метода (методов) расчета его устойчивости должны определяться исходя из типа, подтипа и масштаба проявления оползневых процессов.

Наличие в фунтовой толще поверхностей скольжения, в том числе потенциальных, следует, как правило, подтверждать результатами расчетов устойчивости и/или данными мониторинга.

При расчетах необходимо рассматривать устойчивость и/или скорость смещения не только существующих оползневых тел в той или иной фазе развития, но и оценивать возможность зарождения и развития новых, с учетом общей динамики изменения природных факторов, а также антропогенной (в том числе планируемой) деятельности. В связи с этим прогноз развития оползневых процессов следует проводить также для разных морфологических элементов склона, сложенных различными породами.

Расчеты рекомендуется использовать для оценки устойчивости склона на момент исследований (с учетом ранее осуществленных на склоне противооползневых мероприятий), сравнительной количественной оценки роли отдельных факторов оползнеобразования в снижении коэффициента устойчивости склона и для прогнозирования наиболее неблагоприятных условий устойчивости склона.

Для расчетов рекомендуется применять методы, позволяющие определять устойчивость склона относительно поверхности смещения любой формы (установленной или предполагаемой на основе изучения условий залегания и свойств пород). К данным методам относятся методы Терцаги, прислоненного откоса, метод горизонтальных сил Маслова-Берера, метод многоугольников сил Шахунянца, Чугаева; при расчетах устойчивости склонов в слабых породах - методы Можевитинова, Бишопы, Тейлора, Моргениггерна и Прайса, Ямбу, общего предельного равновесия; при расчетах устойчивости склонов в скальных породах - методы дефицита удерживающих сил и метод Фисенко. Для получения ориентировочных значений коэффициента устойчивости при массовых расчетах целесообразно применять методы Маслова и Пефовой-Ясюнас как наиболее простые, а для более строгих расчетов - метод Шахунянца. При соответствующем научном обосновании допускается применять и другие расчетные методы.

Ввиду трудности установления абсолютного (истинного) значения коэффициента устойчивости оползневых склонов (из-за неточности значений входящих в расчет показателей прочности пород) при сравнительной количественной оценке роли отдельных факторов или отдельных противооползневых мероприятий рекомендуется пользоваться методом обратных расчетов. Найденная обратным расчетом при значении коэффици-

ента устойчивости, равном единице, средняя величина сопротивления сдвигу по поверхности скольжения используется в последующих прямых расчетах для сравнительной оценки роли оползнеобразующих факторов и противооползневых мероприятий. Расчетами определяется влияние на устойчивость склона природных (абразии, эрозии, фильтрационного и гидростатического давления подземных вод, сейсмических колебаний, разупрочнения или упрочнения пород во времени и др.) и антропогенных (искусственных подсечек и пригрузок склона, искусственного обводнения, взрывов и др.) факторов.

Оценку влияния на устойчивость склона гидрогеологического фактора рекомендуется давать исходя из:

- наличия подземных вод (часто напорного характера), содержащихся в трещиноватых и раздробленных флишевых породах в пределах оползневых депрессий и оказывающих взвешивающее воздействие на оползневую толщу;

- наличия подземных вод, заключенных в отдельных прослойках и линзах водопроницаемого грунта, содержащихся в самой толще оползневых накоплений;

- периодически резкого повышения (в дождливый сезон) уровня подземных вод в толще оползневых

накоплений, что выражается в увеличении гидростатического и фильтрационного давления, снижении прочности пород в зоне сезонного обводнения;

- обводнения оползневого тела на всю его мощность при необходимости учета максимального (реально возможного) воздействия гидрогеологического фактора на величину коэффициента устойчивости склона.

При выполнении расчетов устойчивости склонов рекомендуется пользоваться численными методами двух- или трехмерного моделирования массивов грунтов, а также современными программными средствами для его реализации. При этом предпочтение следует отдавать сертифицированным в установленном порядке программным пакетам и модулям. При соответствующем научном обосновании могут использоваться также авторские программные продукты.

Прогноз оползневых процессов подразумевает оценку возможных размеров и объемов оползневых тел для каждого участка, где выявлена оползневая опасность, по аналогии с фактически наблюдаемыми явлениями в сходных инженерно-геологических условиях либо специальными расчетами; ожидаемой скорости оползневых смещений; предполагаемого времени возникновения новых оползневых явлений.

Учет реологических свойств грунтов в прогнозных расчетах является обязательным.

По окончании работ устанавливается соответствие полученных данных архивным материалам, если таковые имеются. Выявленные различия в инженерно-геологической и гидрогеологической обстановке используются для разработки прогнозов изменения факторов оползневой опасности.

При наличии достаточного количества и качества материалов изысканий прошлых лет возможно сокращение объемов работ по обследованию при учете требований подраздела 5.2 СП 11-105-97 (часть I). В случаях, когда материалы отсутствуют или оцениваются как недостаточные, сомнительные или устаревшие, обследование следует выполнять в полном объеме.

По результатам обследования для каждого выделенного участка по заранее разработанной форме составляется акт, в который вносятся все выявленные проявления подготавливающегося смещения.

## **ЛЕКЦИЯ 11**

### **УПРАВЛЕНИЕ ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТЬЮ И РИСКОМ**

Управление оползневой опасностью и риском представляет собой систему действий по реализации и контролю эффективности решений, принятых по результатам оценки риска с целью достижения и/или поддержания допустимого его уровня, и включает:

- определение состава контролируемых мероприятий на участках допустимого уровня риска;
- установление состава и очередности работ на участках с недопустимым уровнем риска;
- реализацию принятых решений;
- контроль их эффективности.

Если результат оценки риска соответствует критерию допустимого, то решения в рамках управления сводятся к контролю инженерно-геологической ситуации в составе мероприятий по содержанию автомобильных дорог и сооружений инженерной защиты, (периодические осмотры, диагностика и т.п.). В сложных инженерно-геологических условиях и/или при использовании технологически и конструктивно сложных или новых противооползневых сооружений следует также предусматривать мониторинг.

В случае недопустимого уровня оползневого риска необходимо:

- избежать угрозы (обхода оползневого участка путем переноса трассы на безопасную территорию, строительства эстакады и др.);

- снизить вероятность оползневого события (строительство сооружений инженерной защиты, уменьшение эксплуатационных нагрузок на земляное полотно и др.);

- снизить величину ущерба;

- осуществить страхование отдельных объектов дорожного хозяйства;

- проводить дополнительные изыскания и уточнять величину риска на основе количественных методов, если выполнялась качественная или полуколичественная оценка;

- осуществлять на участке регулярные наблюдения.

Очередность и вид работ, их ориентировочный состав и стоимость по укрупненным показателям определяются по результатам качественной и полуколичественной оценки риска на стадии предпроектных проработок.

При разработке проектной документации на инженерную защиту состав мероприятий уточняется на основе вариантного проектирования.

Контроль эффективности принятых инженерных решений осуществляется посредством мониторинга, обследований и других мероприятий, по результатам которых периодически повторяется процесс оценки оползневой опасности и риска. При необходимости производится пересмотр решений и корректировка рабочей

документации с последующей своевременной реализацией разработанных мероприятий.

Вариантное проектирование выполняется с целью определения оптимального решения инженерной защиты, т.е. экономически целесообразных мероприятий, обеспечивающих безопасное функционирование участков автомобильных дорог в районах развития оползневых процессов.

В зависимости от причин, вызывающих оползни, предусматривают следующие мероприятия и их комбинации:

- регулирование поверхностного стока атмосферных осадков;
- отвод хозяйственно-бытовых вод;
- дренирование подземных вод;
- каптаж струйных течений, выходящих на поверхность;
- защиту берегов от боковой эрозии;
- защиту грунтов от выветривания;
- уменьшение крутизны склонов и откосов;
- устройство удерживающих сооружений;
- повышение прочностных свойств грунтов и др.

Варианты инженерной защиты на конкретном участке определяются на основании анализа факторов оползневой опасности. Проектирование и расчет сооружений следует выполнять в соответствии со СНиП 22-02-96 (СП 47.13330.2012).

Примечание - Рекомендуется также рассмотреть вариант, не предусматривающий проведения инженерных мероприятий.

При необходимости проектная организация может обосновать выполнение мониторинга или других работ на конкретном участке, позволяющих следить за динамикой развития склоновых процессов и состоянием сооружений.

Результаты сравнения вариантов представляются в виде графических зависимостей вероятности смещения грунтов (как основного показателя оползневой опасности) и стоимости строительно-монтажных работ от вида противооползневых мероприятий.

Критерием выбора оптимального решения является наименьшая величина суммарного показателя «опасность + относительная стоимость».

Алгоритм определения комплекса необходимых противооползневых мероприятий на основе вариантного проектирования включает следующие действия:

- расчет устойчивости склона (откоса) участка автомобильной дороги;
- анализ полученных результатов расчета;
- определение вариантов инженерной защиты на основе опыта проектирования (включая рассмотрение возможности функционирования участка дороги без проведения мероприятий);
- вероятностные расчеты устойчивости склона (откоса) автомобильной дороги с учетом каждого из вариантов инженерной защиты;

- расчет стоимости каждого варианта по укрупненным показателям;

- определение относительной стоимости каждого из вариантов (в процентах от наибольшей) с учетом поправочного коэффициента, изменяющегося от 0,25 до 1, в зависимости от категории автомобильной дороги и инженерно-геологических условий;

- построение в одной графической области зависимостей оползневой опасности от вида мероприятий (в порядке возрастания их стоимости) и относительной стоимости строительно-монтажных работ (в порядке ее возрастания) от вида мероприятий;

- построение в этой же графической области кривой «опасность + относительная стоимость» путем суммирования величин оползневой опасности и относительной стоимости мероприятий по каждому из вариантов;

- определение оптимального решения, соответствующего экстремуму на графике и представляющего собой наименьшую величину суммарного показателя «опасность + относительная стоимость»;

- анализ результатов и выбор варианта противооползневых мероприятий.

## **ЛЕКЦИЯ 12**

### ***ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ***

Геотехнический мониторинг проводится на всех этапах оценки и управления с целью выявления и прогнозирования оползневых процессов, влияющих на безопасность участков автомобильных дорог.

На этапе выявления факторов оползневой опасности геотехнический мониторинг позволяет установить причины и особенности развития оползневого процесса, определить соответствующие параметры факторов его активизации (интенсивности дождя, силы сейсмического колебания и др.). Эта информация также используется для построения системы оповещения в рамках реализации на участке программы долгосрочного мониторинга.

В случае значительных неопределенностей и погрешностей, полученных при оценке величины риска, на основе краткосрочного мониторинга уточняются механизм развития и количественные характеристики оползневого процесса. Полученная в ходе наблюдений информация позволяет провести повторную оценку величины риска.

Основными задачами долгосрочного геотехнического мониторинга как мероприятия управления ополз-

невой опасностью являются выявление и прогнозирование изменений инженерно-геологических условий исследуемого участка, идентификации новых уровней риска и в случае приближения их к критическому значению - своевременное оповещение заинтересованных сторон.

Геотехнический мониторинг также обеспечивает контроль выполнения программы работ по снижению степени оползневой опасности. Для оценки эффективности принятых мер на участке режимные наблюдения необходимо вести до начала выполнения противооползневых мероприятий и затем продолжать на стадиях их строительства и эксплуатации. Это позволяет при необходимости своевременно реализовывать дополнительные защитные мероприятия или корректировать рабочую документацию строящихся противооползневых сооружений.

Геотехнический мониторинг выполняется согласно ГОСТ Р 22.1.01-95, ГОСТ Р 53778-2010, СП 11-105-97 (часть II) по заранее разработанной программе, которая также включает ориентировочный состав мероприятий в случае активизации оползневого смещения и соответствующие уровни тревоги.

Состав и периодичность наблюдений рекомендуется определять исходя из геологических особенностей и категории риска исследуемого участка. Продолжи-

тельность и частота наблюдений уточняются в зависимости от скорости изменения напряженно-деформированного состояния массива грунта.

Маршрутные наблюдения проводятся с целью выявления текущих изменений в структуре и динамике оползневого процесса, обнаружения опасных зон напряжений и участков, находящихся в предельном состоянии. Наблюдения проводят с периодичностью, установленной программой, а также после прохождения интенсивных ливней, землетрясений (5 баллов и выше), снеготаяния и при дополнительных техногенных воздействиях (подрезке, пригрузке склона и т.д.).

На участках со средним уровнем риска к маршрутным наблюдениям добавляются регулярные геодезические и геофизические измерения. Геодезическую съемку рекомендуется проводить 1 раз в месяц, геофизическую - 1 раз в квартал.

Геодезические работы ведутся в соответствии со СНиП 3.01.03-84 (СП 126.13330.2012) и СП 11-104-97 с использованием стандартного оборудования или с применением систем глобального спутникового позиционирования с целью определения величин и скорости деформаций сооружений, смещения поверхностного слоя грунта, уточнения границ склоновых процессов.

В задачи геофизических работ входят наблюдения за геологическими и гидрогеологическими условиями, а также оценка влияния изменений свойств и влажности грунтов на устойчивость склона. Их рекомендуется выполнять с учетом типа существующих или прогнозируемых процессов, по створам, проходящим через разведочные выработки. Выбор метода геофизического наблюдения и порядок работ осуществляются в соответствии с СП 11-105-97 (часть VI).

В состав периодических инструментальных наблюдений входят: маршрутные, геодезические, геофизические наблюдения и геотехнические измерения. Используемое геотехническое оборудование подразделяется на следующие группы:

- устройства контроля напряжений в грунте, на контакте грунта и удерживающего сооружения, а также в теле удерживающего сооружения (датчики нагрузки и давления);

- устройства контроля перемещений и деформаций (инклинометры, экстензометры, трещиномеры и т.п.);

- устройства контроля положения и порового давления грунтовых вод (индикаторы уровня воды и пьезометры);

- дополнительное оборудование (переносные метеорологические станции, регистраторы сейсмических колебаний, системы сбора и хранения данных и др.).

Места размещения измерительного геотехнического оборудования выбираются в зависимости от особенностей исследуемого участка, при этом различные виды оборудования рекомендуется располагать в одном створе для возможности проведения поверочных расчетов.

При непрерывном мониторинге измерения, обработка, накопление и передача информации осуществляются с минимальными интервалами времени с использованием средств автоматизации. Полученная информация интегрируется в программно-аппаратную систему, которая осуществляет сравнение измеренных параметров с предельными допустимыми значениями и имеет функцию аварийного оповещения.

Точность систем наблюдения должна обеспечивать достоверность получаемой информации, результатов измерений и согласованность между отдельными элементами системы. При изменении внешних условий окружающей среды необходимо обеспечить стабильность параметров измерительных устройств (вносить поправки в результаты измерений в зависимости от температуры, влажности воздуха и др.). Использование современных средств мониторинга не только гарантирует

своевременное поступление необходимой информации, но и резко сокращает трудоемкость работ за счет замены полевых наблюдений и измерений дистанционными.

В процессе выполнения работ по мониторингу заказчику регулярно предоставляются промежуточные отчеты с полученными результатами для принятия оперативных решений по управлению оползневой опасностью. В случае возникновения деформаций или других явлений, отличающихся от прогнозируемых и представляющих угрозу для автомобильной дороги или прилегающих объектов, необходимо незамедлительно информировать об этом заинтересованные организации.

При активизации оползневых явлений частоту наблюдений рекомендуется увеличить. Если в течение продолжительного периода времени рост деформаций отсутствует, то принимается решение об уменьшении частоты наблюдений или сокращении состава работ по мониторингу вплоть до его полного прекращения.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] ГОСТ Р 52748-2007 Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы, габариты приближения. – Введ. 2007-09-24 – М.: Стандартиформ, 2008. – 10 с.

[2] СНиП II-7-81\* Строительство в сейсмических районах. – М.: Госстрой России, 2000.

[3] СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. – М.: Минстрой России, 1996.

[4] СНиП 22-02-2003 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. – М.: Росстрой, 2004.

[5] СНиП 2.05.03-84\* Мосты и трубы. – М.: Минстрой России, 1996.

[6] СНиП 2.01.07-85\* Нагрузки и воздействия. – М.: Минстрой России, 1996.

[7] СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. – Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов.

[8] Инструкция по проектированию защиты от оползней населенных пунктов, зданий и сооружений / Министерство ЖКХ РСФСР. – М.: 1976.

[9] Методические рекомендации по проектированию и строительству поддерживающих сооружений земляного полотна автомобильных дорог в оползневых районах на базе буронабивных свай и анкерных креплений.

ний / СоюзДорНИИ. – М.: 1988 – 72 с. – УДК 624.159.2.001.24:624.21 (083.171).

[10] Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления / Министерство монтажных и специальных строительных работ УССР. – М.: Центральное бюро научно-технической информации, 1986.

[11] Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов / ПНИИИС Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1984.

[12] Krahn, J. Stability modeling with Slope/W. An engineering methodology. First Edition. Revision 1 / J. Krahn // Calgary, Alta: Geo-Slope International Ltd., 2004.