МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВСЕСОЮЗНЫЙ ДОРОЖНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
(СОЮЗДОРНИИ)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ОПОЛЗНЕЙ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ ТАДЖИКСКОЙ ССР

Москва 1977

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВСЕСОЮЗНЫЙ ДОРОЖНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
(СОЮЗДОРНИИ)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ОПОЛЗНЕЙ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ ТАДЖИКСКОЙ ССР

Одобрены Минтрансдорхозом
Таджикской ССР

Москва - 1977 г.

УДК 625.736:624.137(575.3)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ОПОЛЗНЕЙ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ ТАДЖИКСКОЙ ССР. Союздорнии. М., 1977.

Рассматриваются особенности трассирования автомобильных дорог в оползневых районах, влияние климатических, геоморфологических, геологических или гео- и гидрологических и сейсмических условий на развитие оползневых процессов. Приводятся расчет устойчивости откосов земляного полотна и основные принципы назначения противооползневых мероприятий.

Табл.4. рис.5.

© Союздорнии, 1977.

УДК 625.738:624.137(575.3)

Предисловие

"Методические рекомендации по предотвращению оползней на автомобильных дорогах Таджикской ССР" разработаны на основе выполненных в 1970-1974гг. Союздорнии и Среднеазиатским филиалом Союздорнии исследований и опыта проектирования и строительства земляного полотна автомобильных дорог в оползневых районах.

Настоящие "Методические рекомендации" предназначены для проектно-изыскательских организаций в качестве методического пособия при проектировании земляного полотна автомобильных дорог в оползневых и оползнеопасных районах Таджикской ССР.

"Методические рекомендации" составили инж. Э.Ф.Хоружий и канд.техн.наук Л.И.Чернявская (Среднеазиатский филиал Союздорнии) под общей редакцией канд.техн.наук Э.М.Доброва и при участии инженеров Ю.М.Львовича А.П.Аксенова, Ю.В.Пудова.

Замечания и пожелания просьба направлять по адресу: 143900 г.Балашиха Московской обл., Союздорнии или 700041 г.Ташкент, ул.Морозова,49, Среднеазиатский филиал Союздорнии.

I. Общие положения

1.1. Настоящие "Методические рекомендации" предназначены для использования при проектировании земляного полотна автомобильных дорог в оползневых и оползнеопасных районах, а также при разработке мероприятий по укреплению оползневых участков на эксплуатируемых дорогах Таджикской ССР.

1.2. Форма оползневого тела, его объем и скорость смещения разнообразны и зависят от сочетания различных факторов, участвующих в развитии оползня.

Основные инженерно-геологические типы оползней, получившие широкое распространение на территории республики, приведены в приложении 1.

1.3. Проектирование земляного полотна в оползневых и оползнеопасных районах следует выполнять по индивидуальным проектам с учетом общих требований к конструкции, грунтам и методам возведения, предусмотренных СНиП II-Д.5-72, ВСН 97-63, настоящими "Методическими рекомендациями" и другими документами.

1.4. Изыскание и проектирование земляного полотна на оползневых и оползнеопасных склонах следует выполнять в три стадии:

технико-экономическое обоснование строительства противооползневых сооружений (ТЭО);

разработка технического проекта;

рабочее проектирование.

1.5. Укрепление оползневых участков на эксплуатируемых автомобильных дорогах можно выполнять в одну стадию с составлением технорабочего проекта.

1.6. Трассирование дороги, связанное с обходом или пересечением оползневого участка, осуществляют на основе технико-экономического сравнения вариантов.

1.7. Расположение земляного полотна на оползне-

вом или оползнеопасном склоне и его конструкцию назначают из условия повышения общей устойчивости склона. Устойчивость склона оценивают путем расчета коэффициента запаса устойчивости склона до устройства земляного полотна и противооползневых сооружений.

1.8. При проектировании комплекса противооползневых сооружений необходимо предусматривать мероприятия, устраняющие причины нарушения устойчивости оползневого склона.

1.9. Для проектирования конструкции земляного полотна и противооползневых сооружений необходимы данные:

инженерно-геологического и гидрологического обследования грунтов оползневого склона;

расчетных значений физико-механических характеристик отдельных слоев грунтов и горных пород;

оценки устойчивости оползневого склона расчетными методами;

исходных параметров по проектируемой конструкции земляного полотна, противооползневых и дренажных сооружений;

расчета оползневого склона с учетом противооползневых сооружений и конструкции земляного полотна;

технологии сооружения земляного полотна и противооползневых сооружений.

1.10. Проекты отдельных противооползневых сооружений должны учитывать стадийность оползневого процесса, подготовку оползня, смещение пород, затухание оползневого процесса и вновь приобретенную устойчивость. Правильный выбор комплекса дает возможность закреплять оползень на любой стадии его развития.

1.11. Закрепление оползней-потоков допускается в два срока:

в первую очередь выполняют простейшие (времен-

ные) осушительные мероприятия и возводят сооружения, легко восстанавливающиеся после их повреждения;

во вторую очередь строят постоянные противооползневые сооружения.

1.12. Взрывные работы на оползневых участках допускаются при наличии инженерно-геологического обоснования и при постоянном геологическом контроле.

1.13. Проект организации противооползневых работ следует осуществлять с учетом конкретных климатических условий оползневого участка, особенностей назначаемых мероприятий и последовательности их выполнения. Каждое очередное противооползневое сооружение должно способствовать дальнейшему повышению общей устойчивости склона и обладать необходимой устойчивостью в процессе строительства, когда комплекс всех противооползневых сооружений еще не завершен.

1.14. Работа построенных противооползневых сооружений будет эффективной только при условии правильной их технической эксплуатации в соответствии с "Правилами эксплуатации запроектированных противооползневых сооружений".

2. Особенности трассирования автомобильных дорог в оползневых районах

2.1. Трассированию автомобильных дорог в оползневых и оползнеопасных районах должно предшествовать тщательное изучение топографических, инженерно-геологических, гидрологических условий территории, выявление оползневых участков, установление типов оползней и причин их возникновения на основе рекогносцировочного инженерно-геологического обследования района проложения трассы дороги и проработки литературного, фондового, картографического материалов.

2.2. Трассу дороги необходимо прокладывать на наиболее устойчивых участках склонов, естественных полках и на пологих косогорах с благоприятными инженерно-геологическими условиями.

2.3. В оползневых и оползнеопасных районах следует разрабатывать несколько вариантов положения трассы автомобильной дороги, среди которых должен быть вариант обхода неустойчивого участка.

2.4. В случае когда технические нормативы дороги не позволяют обойти оползневый участок, трассу дороги прокладывают через оползень. При этом разрабатывают варианты пересечения оползня косогорными виадуками и тоннелями или проектируют такую конструкцию земляного полотна, которая не способствовала бы активизации оползня.

2.5. При пересечении трассой дороги верхней части оползневого участка следует разрабатывать такой вариант перехода (виадук, эстакада, выемка), при котором снижается пригрузка неустойчивого склона, а оползень разгружается.

2.6. При пересечении оползневых участков у подошвы оползня земляное полотно следует устраивать в насыпи. В этом случае устойчивость оползневого участка увеличивается в результате повышения сил сопротивления движению оползня. Устройства выемок следует избегать.

2.7. При пересечении трассой средней части оползня земляное полотно следует устраивать в насыпях и выемках небольшой высоты и глубины с целью исключить пригрузку или подсечку оползневого участка и дополнительную нагрузку на противооползневые сооружения.

2.8. При выборе варианта трассы на оползневом участке и конструкции земляного полотна следует исходить из условия повышения устойчивости оползнево-

го участка с учетом намечаемых противооползневых мероприятий и удерживающих сооружений.

2.9. Выбор того или иного варианта пересечения оползневого участка или его обход следует обосновывать технико-экономическим сравнением вариантов с учетом противооползневых мероприятий.

3. Влияние климатических, геоморфологических, геологических, гидрологических и сейсмических условий на развитие оползневых процессов

3.1. На территории Таджикской республики оползневые процессы имеют широкое распространение. Они характеризуются многообразием форм и неодинаковой интенсивностью проявления в различных районах. Наибольшее развитие оползневые явления получили в Центральном Таджикистане, юго-западном и северном регионах Таджикской ССР (см.приложение 1).

3.2. Влияние климатических условий на формирование и развитие оползневых явлений определяется количеством атмосферных осадков, распределением их по сезонам года, температурой воздуха, глубиной сезонного промерзания и др. Наибольшее влияние на устойчивость склонов оказывают условия увлажнения - количество атмосферных осадков и коэффициент увлажнения (т.е. отношение количества атмосферных осадков к испаряемости), распределение атмосферных осадков по площади и во времени. Это явление можно оценить количественно, учитывая сезонные колебания прочности пород, массу профильтровавшихся осадков и т.д. Кроме того, климатические условия определяют тип и интенсивность выветривания, количество и режим подземных и поверхностных вод, интенсивность глубинной и боковой эрозии и т.п.

3.3. На количество атмосферных осадков в зависимости от высоты местности большое влияние оказывают высотная зональность, экспозиция склона и направление преобладающих потоков воздуха. Наибольшее количество атмосферных осадков выпадает на склоны, открытые для ветров северо-западного, западного и южного направлений. В области закрытых горных структур количество осадков связано с особенностями рельефа, определяющими режим ветра.

Атмосферные осадки увлажняют породы склонов и снижают их прочностные характеристики, а также образуют временные водоносные горизонты, повышая постоянные уровни грунтовых вод. Оползневые явления, вызванные атмосферными осадками, активизируются при резком превышении средней многолетней весенней суммы осадков.

3.4. Наибольшее распространение оползней в покровных отложениях отмечается в районах, где коэффициент увлажнения изменяется от 0,6 и более, что соответствует среднегодовой сумме осадков более 500 мм, и в интервале высот от 1000 до 2500 м над уровнем моря.

3.5. Время проявления оползневых процессов в покровных отложениях тесно связано с периодом выпадения наибольшего количества осадков и повышением уровня грунтовых вод: поверхностные сплывы и оплывины возникают в основном в марте-апреле; оползни-потоки - в мае-июне.

3.6. Фактором, определяющим условия, способствующие образованию оползней, является рельеф склона (крутизна, высота и форма).

Рельеф склона влияет на напряженное состояние пород склона, мощность покровных отложений, условия дренирования, характер эрозии склона и т.д.

3.7. На территории республики оползни могут возникать на склонах различной крутизны, но наиболее

часто развиваются при крутизне: 35–45° – поверхностные сплывы и оплывины, 25–35°– оползни-потоки 20–35° – оползни срезания – просадки и выдавливания, 40–50° – контактные оползни. С уменьшением крутизны склона мощность смещаемой толщи для оползней, развивающихся в покровных отложениях, возрастает. Длина оползней различных типов в покровных отложениях изменяется в пределах 10–20 м для поверхностных сплывов, 40–50 м – для оплывин, 90–150 м – для оползней-потоков, 80–150 м – для оползней срезания, просадки.

3.8. Влияние формы склона в плане и профиле на развитие оползневых явлений отчетливо прослеживается в покровных отложениях. Наиболее часто оползни возникают на выпуклых и выпукло-вогнутых а также на прямолинейных в профиле склонах, в плане – на вогнутых, ложбинообразных и ровных участках. Голова оползней обычно располагается в местах перегиба профиля, где пологие участки склона сменяются крутыми.

3.9. Влияние геологических условий на формирование оползневых явлений определяется: физико-механическими (прочностными, деформативными) свойствами, мощностью и условиями залегания покровных отложений и подстилающих их коренных пород; наличием контакта между породами с различными физико-механическими свойствами, их положением и ориентировкой относительно поверхности склона, наличием поверхностей ослабления, их характером, положением и ориентировкой относительно склона и др.

3.10. Наибольшее развитие оползневые явления на территории республики получили на склонах современного и верхнечетвертичного возраста в Центральном Таджикистане, на склонах Гиссарского, Каратегинского и западных склонах Туркестанского хребтов, юго-

западном (Каратау, Вахшский) и северном регионах Таджикской ССР (Кураминский хребет).

3.11. Оползневые явления приурочены в основном к покровным лессовидным и делювиальным отложениям и особенно активны на склонах, сложенных мезозойскими песчано-глинистыми отложениями.

3.12. Оползни в коренных породах обычно возникают при наличии в толще склона глинистых, хлорито-серицитовых и слюдистых сланцев. Поверхностями скольжения обычно являются увлажненные плоскости напластований, зоны тектонических нарушений, плоскости отдельностей и др.

3.13. Влияние подземных вод на возникновение и развитие оползневых процессов в основном сводится к изменению прочности пород и колебанию гидростатического и фильтрационного давления.

Уменьшение прочностных характеристик (C_w и φ_w) пород вызывается увеличением их влажности и суффозионными явлениями. Суффозионные явления, связанные с процессами внутреннего размыва, выщелачивания солей или частиц из грунтов, широко развиты в песчано-глинистых отложениях.

Изменение гидростатического и фильтрационного давления обычно происходит периодически при длительном выпадении атмосферных осадков и при изменении режима подземных вод. Максимальный уровень и расход подземных вод обычно наблюдается в марте-июне.

3.14. В наибольшей степени подземные воды влияют на условия равновесия лессовидных и делювиальных покровных отложений. Оплывины, оползни-потоки и контактные оползни в покровных отложениях возникают обычно при повышении горизонта подземных вод, увеличении гидростатического и фильтрационного давлений и снижении прочностных характеристик грунтов.

3.15. При возникновении оползневых смещений гидрогеологические условия склона изменяются. Движение подземных вод в теле оползня приурочено к водопроницаемым породам, раздробленным зонам и оползневым трещинам. Обводненность тела оползня увеличивается, а прочностные свойства пород на поверхности скольжения снижаются, что приводит к возникновению повторных подвижек или образованию оползня другого типа.

3.16. Влияние тектонических и сейсмических явлений на развитие оползневых процессов определяется:

а) приуроченностью оползней к зонам тектонических нарушений;

б) силовым воздействием сейсмических сил на неустойчивые породы.

3.17. Развитие крупных оползней вблизи зон тектонических нарушений вызвано:

а) широким развитием зон смятия и дробления в коренных породах;

б) интенсивной циркуляцией подземных вод;

в) активной сейсмической деятельностью.

3.18. Зоны дробления пород прослеживаются на расстоянии 300-500 м от осевой линии крупных региональных разломов. Эти зоны характеризуются повышенной трещиностойкостью и обводненностью.

3.19. Наибольшее число эпицентров сильных землетрясений совпадает с зонами регионально-тектонических нарушений. Степень сейсмической опасности зависит не только от рельефа, геологического строения и физико-механических свойств слагающих склон пород, но и от их водного режима.

3.20. Оползневые процессы, вызванные сейсмическими воздействиями, интенсивно развиваются в эпицентральных зонах землетрясений на участках распространения лессовидных, песчано-глинистых, выветрелых малоустойчивых пород; наибольшая активность

отмечается в период максимальной увлажненности пород.

4. Расчет устойчивости природных склонов и откосов земляного полотна

4.1. На стадии технического проекта для оползневых и оползнеопасных участков детально рассчитывают устойчивость склонов с учетом наиболее вероятной формы нарушения устойчивости и конструкции земляного полотна и намечаемых противооползневых сооружений.

В случаях, когда затруднительно достоверно определить наиболее вероятную форму нарушения устойчивости склона, необходимо провести комплексные расчеты, исходя из нескольких наиболее вероятных форм нарушения устойчивости.

4.2. Для выполнения расчетов устойчивости склонов и откосов составляют расчетную схему (с выделением участков отрыва, смещения, выпирания, вероятного расчленения блоков массива и пр.), используя данные:

об особенностях геологического строения склона, обусловливающих возможность образования оползневых смещений, с выделением зон и поверхностей ослабленных пород;

о морфологических особенностях склона до и после образования оползня;

гидрологических особенностях склона (границы обводных зон, величины напоров, гидравлические градиенты и пр.);

типе и размерах оползня, положении и очертании поверхности скольжения;

прочностных и деформативных расчетных характеристиках пород, слагающих склон.

4.3. Геологической основой расчетной схемы являются расчетные поперечники, характеризующиеся наиболее неблагоприятным сочетанием различных факторов, таких, как высота и крутизна склона, мощность смещающихся масс, расположение слабых прослоек, наклон слоев, уровень грунтовых вод и др.

4.4. Устойчивость склонов и откосов рассчитывают из условий плоской задачи:

по прочности (1-е предельное состояние);

деформируемости (2-е предельное состояние).

4.5. Расчет устойчивости склонов и откосов по прочности сводится к определению коэффициента запаса устойчивости с помощью различных расчетных методов (метод круглоцилиндрической поверхности скольжения, метод горизонтальных сил Маслова-Берера, метод Шахунянца, метод наклонных сил Чугаева и др.), а также к сравнению его с требуемой величиной (приложения 2,3).

4.6. Расчетные характеристики грунтов (объемная масса, угол внутреннего трения и сцепление) следует принимать соответствующими наименее благоприятным условиям устойчивости оползневого склона в годовом и многолетнем циклах.

4.7. Коэффициент запаса устойчивости откосов и оползневых участков после проведения противооползневых мероприятий принимается при расчете по прочности не менее 1,3. При учете сейсмического воздействия величина активных сдвигающих сил должна быть увеличена на сейсмический коэффициент $K^c = 1,03 \div 1,1$.

4.8. Расчет устойчивости склонов, с учетом противооползневых сооружений (буронабивных свай, анкерных корсетов), выполняют в соответствии с требованиями, приведенными в приложениях 4, 5.

4.9. Если общая устойчивость склонов и откосов земляного полотна обеспечена ($K_{зап} = 1,3$), но есть опасность развития длительных деформаций ползучести

во времени, необходимо дополнительно выполнять расчеты по деформируемости (см.приложение 3).

4.10. Устойчивость оползневых склонов по деформируемости особенно следует проверять в тех случаях, когда угол внутреннего трения грунтов, слагающих склон, незначителен, а структурное сцепление C_c равно нулю (пластичные глинистые грунты и др.).

5. Основные принципы назначения противооползневых мероприятий

5.1. Комплекс противооползневых мероприятий должен обеспечивать заданный коэффициент запаса устойчивости склона. Влияние различных факторов на устойчивость склона оценивают расчетными методами.

5.2. Этот комплекс должен включать устройство сооружений и выполнение мероприятий, наиболее эффективных и экономичных при борьбе с явлениями и причинами, которые вызывают оползень или снижают коэффициент запаса устойчивости оползнеопасных участков.

5.3. В зависимости от причин, вызывающих оползни, предусматривают следующие мероприятия:

а) регулирование поверхностного стока атмосферных осадков;

б) дренирование подземных вод;

в) защиту берегов от боковой эрозии;

г) защиту грунтов поверхности склона от выветривания;

д) уменьшение крутизны склонов и откосов для изменения напряженного состояния;

е) устройство удерживающих сооружений;

ж) изменение физико-механических свойств грунтов;

з) установление специального режима в оползневой зоне.

5.4. Мероприятия по регулированию поверхностного стока следует назначать на всех откосах и оползневых участках и осуществлять в общем комплексе мероприятий по обеспечению устойчивости земляного полотна.

5.5. Поверхностный сток с площади бассейна, прилегающего к оползню, следует перехватывать выше оползня устройством нагорных и водоотводных канав, открытых и закрытых лотков и т.д. В сильноводопроницаемых грунтах дно и стенки канав устраивают из водонепроницаемого материала.

Пропуск поверхностных вод через оползневую зону и сброс воды непосредственно на склоны не допускаются.

5.6. Для перехвата поверхностного стока с оползневого участка и осушения тела оползня следует применять лотки из отдельных звеньев телескопической формы из сборного железобетона, а на неустойчивых, водонасыщенных участках - осушительные канавы с грунтовыми и укрепленными откосами.

Для улучшения условий стока воды с поверхности оползневого склона осуществляют микропланировку его поверхности (ликвидируют впадины, бугры, забутовывают трещины отрыва и т.д.).

5.7. Мероприятия по дренированию подземных вод назначают для снижения уровня грунтовых вод и уменьшения фильтрационного давления, уменьшения дебита подземных вод, удаления гравитационной воды из оползневого массива, сбора и удаления выклинивающихся на поверхность подземных вод.

С помощью дренажных мероприятий невозможно полностью осушить грунты на поверхности скольжения, особенно при глубоком ее расположении, малой мощности подземных потоков, трещиноватости толщи и жильном характере грунтовых вод. Для оползней срезания и кон-

тактных оползней общую устойчивость оползневого тела следует повышать снижением уровня грунтовых вод и фильтрационного давления. Для поверхностных сплывов, оплывин и оползней-потоков, смещение которых происходит в виде вязкой массы, следует стремиться к полному перехвату грунтовых вод и осушению тела оползня.

5.8. На оползневых участках и склонах подземные воды перехватывают, устраивая:

горизонтальные - трубы, дренажные прорези, галереи, скважины-дрены;

вертикальные - колодцы, сквозные и забивные фильтры;

комбинированные дренажи;

пластовые дренажи и каптаж источников.

5.9. Конструкции противооползневых дренажей следует назначать на основе гидрологических расчетов, определяющих положение кривой депрессии, глубину заложения дренажа, приток воды к дренажной системе, водопоглощающую способность дрен, расход дренажных вод и пр.

5.10. Подземные воды целесообразно перехватывать выше оползневого участка в несмещенной части склона или в голове оползня на границе между несмещенными и сползшими породами. При неглубоком залегании (до 5 м) водоупорного слоя применяют горизонтальные трубчатые дренажи с диаметром труб не менее 15 см.

5.11. Для снятия гидростатического и фильтрационного давлений грунтовых вод, а также для отвода их из мест скопления в теле оползневых склонов или в откосах глубоких выемок следует использовать горизонтальные скважины-дрены из перфорированных обсадных труб диаметром 5-10 см, вдавливаемых в пробуренные горизонтальные или наклонные скважины ($\varnothing$ = 10÷15 см) в местах понижения поверхности водоупорного слоя. Скважины-дрены можно сочетать с вертикальными дре-

нажными колодцами, что позволит обеспечить отвод воды из песчано-глинистых отложений значительной мощности, содержащих большое количество отдельных линзовых бессточных скоплений подземных вод.

5.12. Вертикальный дренаж (дренажные колодцы) применяют для снятия гидростатического и фильтрационного давления нескольких водоносных горизонтов, залегающих на глубине более 6-8 м и перекрытых толщей слабоводопроницаемых пород. Колодцы с фильтрующей засыпкой целесообразно применять в грунтах с коэффициентом фильтрации не менее 0,5-1 м/сутки и закладывать на пониженных отметках подошвы водоносных горизонтов, где происходит скопление грунтовых вод.

5.13. Для осушения оползневых накоплений и тела оползня дренажные прорези выполняют в виде траншей, заполненных на всю мощность водовмещающих пород фильтром из песчано-гравийных материалов. Глубина заложения определяется мощностью оползневых накоплений и водовмещающих пород, но должна быть не более 8-10 м. Дренажные воды из прорезей собирают в водоотводящую канаву. Дренажные прорези применяют как временное мероприятие и после укрепления оползня заменяют горизонтальным трубчатым дренажом.

5.14. На закрепленных оползневых склонах и оползневых террасах в местах выклинивания подземных вод, не выдержанных по простиранию, рекомендуется устраивать пластовые дренажи, состоящие из однослойного или многослойного грунтонепроницаемого дренажного фильтра толщиной не менее 15-20 см.

5.15. Дренажные воды следует отводить на устойчивую часть склона ниже земляного полотна до тальвегов или меженных урезов воды в водоемах.

Неорганизованный сброс дренажных вод непосредственно на склоны или террасы не допускается.

5.16 Для осушения водонасыщенных поверхностных отложений небольшой мощности, залегающих в основании проектируемой насыпи, необходимо предусмотреть срезку неустойчивого слоя, нарезку уступов на поверхности коренных пород и отсыпку насыпи из дренирующего материала.

5.17. Для осушения водонасыщенных покровных отложений значительной мощности, залегающих в основании проектируемой насыпи, следует использовать каменные дренажные контрфорсы, заглубленные в коренные породы. При этом дренажные контрфорсы не только снижают гидростатическое и фильтрационное давление, но и повышают сопротивление сдвигу насыпи по коренным породам. Дренажные траншеи устраивают перпендикулярно оси насыпи шириной от 1,2 до 1,5м.Расстояние между ними назначают по расчету из условия обеспечения устойчивости насыпи.

5.18. Мероприятия по защите берегов от боковой эрозии назначают на оползневых участках и склонах при расположении земляного полотна в нижней части склона при возможности нарушения устойчивости из-за подмыва языка оползня или завышенной крутизны склона. Для этого выполняют берегоукрепительные работы и возводят струенаправляющие сооружения, а на небольших реках устраивают донные запруды. Прибрежную часть обычно укрепляют одиночной или двойной отмосткой, сборными бетонными плитами, подпорными стенками, подвижный склон - гибкими откосными покрытиями тюфячного типа, каменной наброской. Течение рек отклоняют устройством струенаправляющих дамб и поперечных полузапруд.

Берегоукрепительные работы следует выполнять до сооружения земляного полотна.

5.19. Мероприятия по защите от выветривания должны предусматривать защиту поверхности склона при его террасировании, а также поверхности откосов глу-

боких выемок в грунтах, подверженных интенсивному выветриванию (сланцы, переувлажненные глины и лессовидные суглинки и т.д.). Меры защиты от выветривания должны быть зональными, поскольку зависят от характера ландшафтных зон.

Наиболее распространенными мерами защиты являются: одерновка, посев трав, насаждения, замена грунта, защитные покрытия, решетчатые конструкции, а для полускальных грунтов – торкретирование или устройство одевающих стенок.

5.20. Уменьшение крутизны склонов и откосов способствует устранению одной из главных причин, вызывающих оползни, изменению напряженного состояния пород в результате уменьшения сдвигающих сил или увеличения пассивных сил.

Уменьшение крутизны откоса срезкой активной части тела оползня и укладкой в зоне выпора наиболее эффективно при значительных углах внутреннего трения грунта, в процессе борьбы с оползнями, имеющими криволинейную поверхность скольжения.

5.21. Баланс грунтовых масс можно изменять:

срезкой грунтовых масс в активной части оползня и укладкой их у подножия оползня или удалением в отвалы;

разработкой грунтов в карьерах и укладкой у подножия оползня в месте ожидаемого выпирания;

уменьшением крутизны и террасированием склонов и откосов;

удалением всего неустойчивого массива грунта.

5.22. Необходимый объем срезки земляных масс в активной части оползня или величину пригрузки зоны выпора банкетом определяют с расчетом оценки устойчивости.

Перед выполнением работ по срезке земляных масс необходимо защитить участок от поверхностных и грун-

товых вод устройством нагорных канав и дренажных сооружений, расположенных выше головы оползня.

5.23. Уменьшение крутизны откосов земляного полотна способствует уменьшению сдвигающих сил, возникающих в откосах насыпей и выемок. Это мероприятие наиболее эффективно для грунтов с высоким значением угла внутреннего трения и при крутизне склонов до 1:3.

При большей крутизне склонов целесообразно использовать террасирование откосов выемок и применять подпорные стенки или контрфорсы для откосов насыпей.

5.24. Террасирование следует приурочивать к отметкам кровли наиболее прочных пород и к местам массового выклинивания подземных вод. Ширина террас должна удовлетворять требованиям общей устойчивости оползневого склона к условиям производства работ (не менее 4-6 м). На бермах устраивают укрепленные водоотводные канавы, а в местах выхода подземных вод-дренажи и каптажи.

5.25. Полное удаление оползающей массы целесообразно при небольших объемах смещающихся масс (сплывы и оплывины) и плоской поверхности скольжения.

5.26. Работы по срезке оползневых склонов следует, как правило, вести в направлении сверху вниз.

Порядок работ, длину и глубину подрезки, длину захваток при траншейных работах следует назначать с таким расчетом, чтобы локальная подсечка не вызвала нарушения устойчивости склона.

5.27. Удерживающие противооползневые сооружения наиболее целесообразны для укрепления оползневых участков, когда другие мероприятия не позволят достигнуть требуемого коэффициента запаса устойчивости. Во всех случаях устройство удерживающих сооружений необходимо совмещать с мероприятиями по дренированию подземных вод и осушению тела оползня.

5.28. К удерживающим противооползневым сооружениям относятся сооружения и конструкции, воспринимающие оползневое давление смещающихся грунтовых масс и предназначенные для повышения коэффициента устойчивости оползневого массива, расположенного выше проектируемого удерживающего сооружения.

К ним относятся: железобетонные сваи, забивные и буронабивные с ростверком или без него; сваи-шпонки, пересекающие ослабленную зону и заделанные в прочную, устойчивую породу; подпорные стены и контрфорсы, а также анкерные конструкции.

5.29. Конструкцию, размещение и количество удерживающих сооружений на оползневом склоне следует назначать с учетом инженерно-геологических условий оползневого участка, результатов расчетов устойчивости склона и при условии обеспечения требуемого коэффициента запаса устойчивости склона.

5.30. Противооползневые удерживающие сооружения необходимо рассчитывать по прочности и деформативности.

5.31. Расчетная схема и схема нагрузки для удерживающих сооружений глубокого заложения должны учитывать:

условия работы конструкции в пределах толщи оползневых накоплений;

жесткость конструктивных элементов и допускаемые величины смещений частей конструкции;

силовое воздействие с верховой стороны склона на участке от поверхности склона до поверхности скольжения в виде эпюры оползневого давления;

силовое воздействие низовой стороны удерживающего сооружения в виде эпюры давления отпора, в случае если коэффициент запаса устойчивости $K_{зап}$ оползневого блока, расположенного за сооружением, не более 1,3 ;

условия заделки нижней части удерживающего сооружения в устойчивые породы;

усилия от вертикальной нагрузки, которую может воспринимать удерживающее сооружение.

5.32. Прочность свайных сооружений следует рассчитывать из условия $M_{max} \leq M_p$,

где M_{max} – максимальный изгибающий момент в сечении удерживающего сооружения от воздействия оползневого давления;

M_p – расчетный момент, воспринимаемый поперечным сечением свай и определяемый по СНиП II-В.1-62.

Глубину заделки свай ниже поверхности смещения оползня назначают применительно к расчетным схемам опор глубокого заложения.

5.33. Подпорные стены можно применять для удержания небольших оползней, когда оползневое давление незначительно превышает распор призмы обрушения. При больших величинах оползневого давления вместо одной тяжелой стены следует разместить несколько ярусов более легких противооползневых стен, рассчитанных на соответствующую часть оползневого давления.

5.34. Расчеты устойчивости и прочности подпорных стен следует выполнять на основе нормативных документов с учетом:

сдвига в сторону падения склона по плоскости контакта фундамента с основанием;

сдвига по расчетной линии скольжения;

глубинного сдвига ниже подошвы фундамента.

5.35. Противооползневые контрбанкеты (контрфорсы) применяют для усиления контрфорсных частей оползневых склонов и повышения общей устойчивости оползневых склонов. Протяженность контрбанкета, размеры и очертания его профиля назначают по условиям устойчивости всего оползневого склона и самого контрбанкета.

5.36. Расчетами проверяют:

общую устойчивость противооползневого контрбанкета вместе со склоном;

устойчивость тела и откосов контрбанкета на сдвиг по грунту основания, по телу контрбанкета или с захватом основания.

5.37. Противооползневые анкерные конструкции (см. приложение 4) позволяют:

повышать устойчивость подпорных стенок и свайных конструкций путем частичной их разгрузки от оползневого давления;

воспринимать оползневое давление самостоятельно.

5.38. Анкерные конструкции целесообразны при наличии прочных и устойчивых коренных пород, при достаточной прочности (несущей способности) оползневых накоплений. Особенно эффективны анкерные конструкции для укрепления покровных делювиальных или пролювиальных отложений, содержащих свыше 30–40% крупнозернистого материала.

5.39. Для изменения физико-механических свойств грунта целесообразно применять цементацию, силикатизацию, обжиг грунта. Цементация и силикатизация могут быть полезными при борьбе с оползнями, вызванными суффозионными процессами (вынос песка из толщи откоса и др.). Песчаные слои можно закреплять инъецированием жидкого стекла или раствора портландцемента.

Эффективным противооползневым мероприятием для укрепления оползней в лессовидных грунтах и упрочения слабых глинистых прослоек является закрепление их обжигом и прогреванием. Грунты обжигают через скважины диаметром 20 см, используя для этого герметические форсунки, устанавливаемые в устье скважины. При соответствующем расположении скважин путем обжига можно получить массив достаточно прочного укрепленного грунта. Размеры укрепляемого массива оп-

ределяют на основании расчетов устойчивости скло-
на.

5.40. Эффективность применения того или иного противооползневого мероприятия зависит от точности учета местной обстановки, возможной формы нарушения устойчивости, природы оползневого процесса и условий работы склона.

Приложение 1

Основные инженерно-геологические типы оползней

Поверхностные сплывы – это смещение обильно увлажненных, потерявших свою естественную структуру покровных отложений. Сплывы возникают на склонах и откосах выемок при локальном переувлажнении их атмосферными осадками. Сплывы характеризуются отсутствием фиксированной геологическим строением поверхности скольжения, небольшой глубиной захвата суглинистых отложений (до 1 м) и незначительной площадью развития (ширина 5–10 м, длина 10–30 м).

Средняя крутизна склонов, к которым приурочены поверхностные сплывы, равна 40°, они возникают обычно в нижней и средней частях склонов на высоте 15–20м.

Поверхностные сплывы развиты в предгорных и горных областях, где на склонах имеется маломощный суглинистый покров. Проявляются поверхностные сплывы быстро, со скоростью, достигающей нескольких метров в секунду.

Оплывины по форме и характеру смещения сходны с поверхностными сплывами, но отличаются от них большой глубиной захвата пород смещения и более крупными размерами: длина 50–60 м, ширина 10–25 м. Оплывины возникают на склонах и откосах выемок при локальном переувлажнении их грунтовыми водами и атмосферными осадками. Смещение обычно происходит по подстилающим коренным породам с глубиной захвата 1,5–3 м. Оползневые массы представлены делювиальными суглинками со значительным содержанием крупнообломочного материала. Крутизна склонов, на которых возникают оплывины, равна $30–40^{\circ}$. Возникают они обычно в средней части склонов на высоте 25–30 м.

Скорость смещения оплывин зависит от наклона подстилающих коренных пород и изменяется от нескольких метров в сутки до нескольких метров в секунду.

Оползни-потоки - это смещения вязких грунтовых масс, возникающие, главным образом, в результате промачивания суглинистых отложений грунтовыми водами.

Оползни-потоки приурочены в основном к мощным лессовидным отложениям и отличаются значительной глубиной захвата (10-20 м) пород. Поверхность скольжения приурочена к кровле коренных пород, являющихся водоупорным слоем. Особенностью лессовых пород является резкое снижение структурной прочности вследствие обводнения при данной природной нагрузке. При значительных напорах грунтовых вод на контакте с коренными породами лёссовые породы переходят из устойчивого в плывунное состояние, чем подготавливаются условия для образования оползней-потоков.

Крутизна склонов, на которых развиваются оползни-потоки, равна 25-35°, они возникают обычно на высоте 70-80 м. Ширина оползней-потоков в среднем 40-60 м, длина достигает 100-200 м. Развитие оползней-потоков происходит достаточно быстро, причем оползневые массы распространяются на значительное расстояние от основания склона.

Оползни срезания возникают на склонах и откосах земляного полотна, сложенных однородными лессовидными или слоистыми глинистыми отложениями, с горизонтальным или падающим в глубь склона напластованием. Основными причинами возникновения оползней срезания являются: подрезка склона при устройстве выемки, подмыв склона в основании, перегрузка склона при устройстве насыпи и др.

Смещение земляных масс происходит по криволинейной, близкой к круглоцилиндрической поверхности скольжения. Оползание происходит в виде последова-

тельного смещения блоков, срезающихся от склона и образующих террасовидную поверхность, запрокинутую в сторону склона. Глубина захвата пород смещением изменяется от 5 до 10-15 м.

Размеры оползней срезания значительны и достигают в длину 100-150 м, в ширину до 80 м. Средняя крутизна склонов, на которых развиваются оползни срезания, равна 25-35°. Смещение блоков происходит более медленно и не продвигается на значительное расстояние по склону.

Оползни проседания возникают на склонах и откосах выемок, сложенных просадочными лессовидными грунтами, или при наличии в толще склона размягченных глин, плывунных песков, выщелачивающихся пород и т.д. Основная причина, вызывающая оползни проседания, - снижение прочности пород в основании массива при просадке, суффозии, выщелачивании, выдавливании слабых пластичных глинистых слоев и др.

Вертикальное смещение земляных масс происходит по очень крутой криволинейной поверхности скольжения. В верхних частях оползневого массива на поверхности склона образуются оползневые террасы (уступы), с глубокими трещинами. Горизонтальное смещение происходит по слою разжиженного песка или суглинка без образования ярко выраженной поверхности скольжения. Оторвавшиеся массы смещаются скачками, иногда со значительной скоростью. При выдавливании слабых пластичных глинистых слоев у подошвы оползневого массива возникают валы выпирания и не образуется поверхностей скольжения.

Средняя крутизна склонов, на которых образуются оползни проседания, равна 25-30°. Скорость вертикального смещения может достигать нескольких метров в час; горизонтальное перемещение по склону происходит со скоростью нескольких сантиметров в сутки.

Контактные оползни возникают на склонах и откосах выемок при наличии ярко выраженной, определяемой геологическим строением толщи, поверхности скольжения со значительным углом падения в сторону склона. Смещение оползневого массива происходит по ломаной или плоской поверхности скольжения, обычно приуроченной к зонам ослабленных контактов пород, зонам тектонических нарушений, плоскостям отдельностей и т.п.

Причинами возникновения контактных оползней обычно являются подрезка склона при устройстве выемок или подмыв склона водотоком, пригрузка склона в верхней части, увеличение гидростатического или гидродинамического давления в трещинах или уменьшение сопротивления сдвигу по имеющимся в массиве поверхностям ослабления. Во всех случаях решающую роль играет смачивание поверхности скольжения водой.

Скорость перемещения оползневых масс определяется углом наклона поверхности скольжения к горизонту и может изменяться в широких пределах (от нескольких метров до нескольких сантиметров в год).

Расчет устойчивости откосов земляного полотна на прочность с учетом их напряженного состояния

Метод оценки устойчивости откосов земляного полотна по прочности (1-е предельное состояние) с учетом напряженного состояния разработан на основе закономерностей статистической теории зернистых сред. Он позволяет оценивать устойчивость грунтовых массивов путем сравнения в расчетной точке сопротивляемости сдвигу грунта при заданных расчетных прочностных характеристиках C_w и φ_w с касательными напряжениями, действующими по предельной площадке при коэффициенте запаса устойчивости $K_{зап} = 1$. Метод позволяет определять $K_{зап}$ откосов земляного полотна однородного сложения при отсутствии фильтрации и выхода грунтовых вод на поверхность откоса.

Расчет однородных откосов земляного полотна

1. Для предварительно намеченной высоты откоса и объемной массы грунта определяют относительное значение сцепления $C_w / \gamma H$ грунта.

2. По графику (рис.1) определяют предельное значение сцепления $C_0 / \gamma H$ по известному значению крутизны откоса α и углу внутреннего трения материала φ_w.

3. По номограмме (рис.2), использовав α и φ_w и определив отношение C'_w / C'_0, находят $K^c_{зап}$.

Общий коэффициент

$$K_{зап} = K^{\varphi}_{зап} + K^{c}_{зап} = 1 - \frac{C_1}{\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos\varphi_w} + \frac{C_1 \frac{C'_w}{C'_0}}{\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos\varphi_w},$$

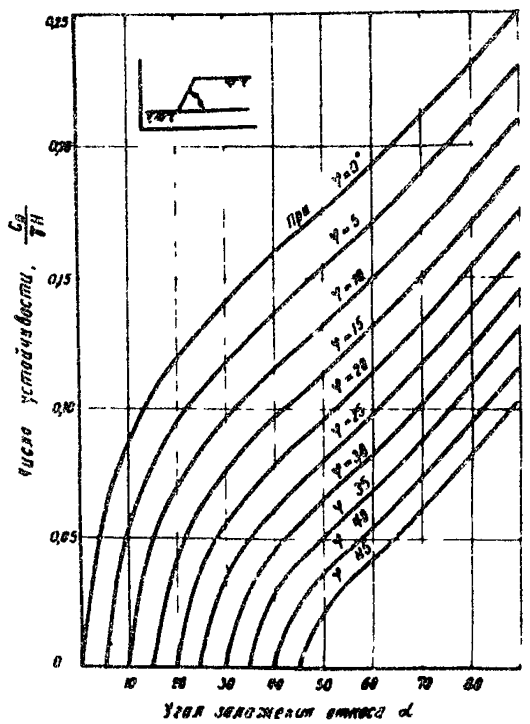


Рис.1. Определение числа устойчивости по прочности в зависимости от угла заложения откоса и угла внутреннего трения грунта

где $K^{\varphi}_{зап}$ – коэффициент запаса устойчивости при $C_w = 0$;

$K^{c}_{зап}$ – коэффициент запаса устойчивости при $\varphi = 0$;

φ_w – угол внутреннего трения материала, град.;

C'_w – относительное сцепление грунта, кгс/см^2, $C'_w = \frac{C_w}{\gamma H}$;

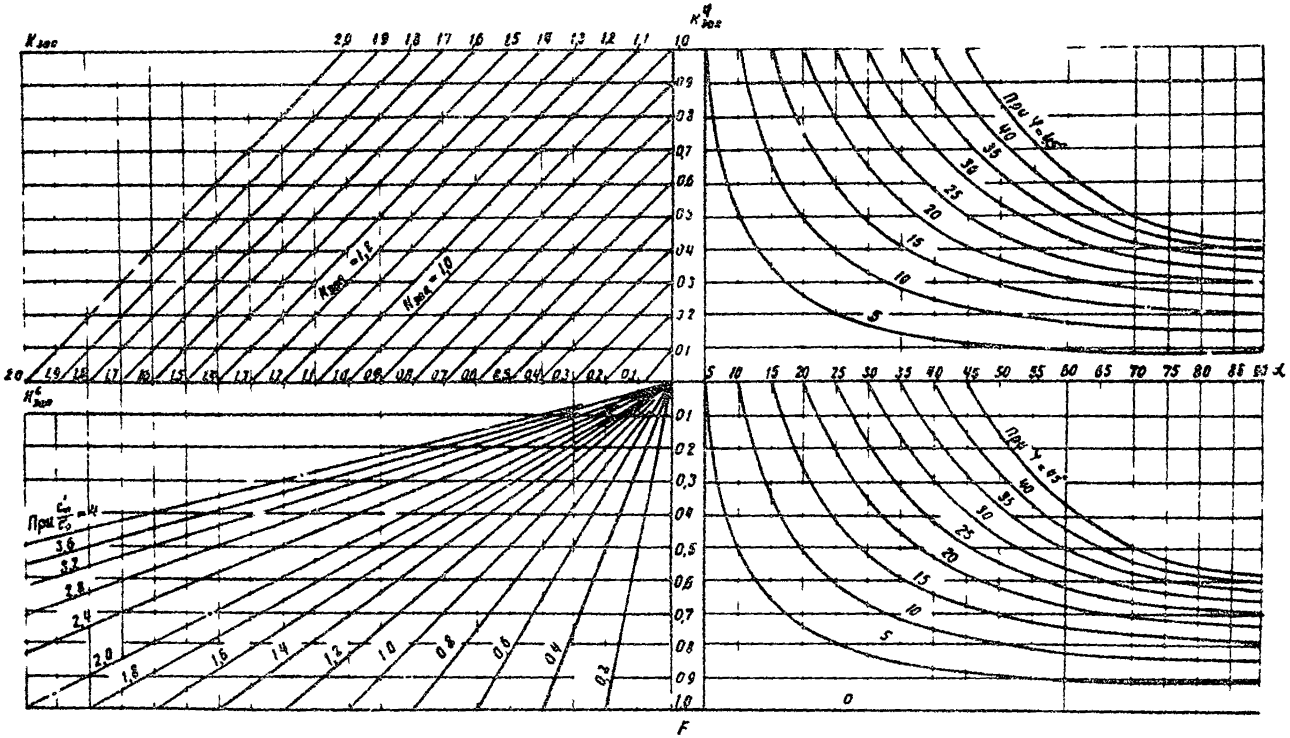


Рис.2. Номограмма для определения коэффициента запаса устойчивости откосов, однородных по прочности

C_0' – предельное сцепление при $K_{зап} = 1{,}0$, $C_0' = \frac{C_0}{\gamma' H}$;

C_1 – переменная величина сцепления грунта в расчетной точке откоса, кгс/см^2;

σ_1, σ_2 – относительное значение главных напряжений в расчетной точке откоса, кгс/см^2.

4. Найденные значения $K_{зап}$ сравнивают с требуемым значением $K_{треб} = 1{,}3$. При $K_{зап} < K_{треб}$ расчет повторяют, предварительно уменьшив крутизну откоса.

Пример. Определить коэффициент запаса устойчивости откоса при $\alpha = 45^\circ$, $H = 20$ м, $\gamma' = 2$ т/м^3, $\varphi_w = 20^\circ$, $C_w = 4{,}65$ тс/м^2, $C_w' = \frac{C_w}{\gamma' H} = \frac{4{,}65}{2 \cdot 20} = 0{,}12$.

1) По рис. 1 при $\alpha = 45^\circ$, $\varphi_w = 20^\circ$ находят $C_0' = \frac{C_0}{\gamma' H} = 0{,}078$.

2) По номограмме при $\alpha = 45^\circ$, $\varphi_w = 20^\circ$, $K_{зап}^{\varphi} = 0{,}42$, при $\frac{C_w'}{C_0'} = 1{,}4$ $K_{зап}^{c} = 0{,}83$.

Суммарное значение коэффициента запаса устойчивости $K_{зап} \approx 1{,}3$.

Оценка устойчивости откосов насыпей из глинистых грунтов по деформируемости во времени

1. В зависимости от категории автомобильной дороги величина предельно допустимой осадки ограждения барьерного типа, расположенного на расстоянии 0,5 м от бровки откосов насыпи, при ползучести глинистых грунтов не должна превышать к сроку капитального ремонта покрытия значений, приведенных в табл. 1.

Таблица 1

Категория автомобильной дороги (СНиП II-Д.5-72)	Предельно допустимая деформация осадки ограждения, см
I	5
II	10
III	15

2. Минимальное время накопления предельно допустимых деформаций ползучести зависит от типа покрытия (табл. 2).

3. Исходя из предельно допустимых значений деформаций ограждающих конструкций (см. табл. 1), предельную деформацию бровок откосов насыпей в зависимости от категории дороги и крутизны откосов следует назначать по табл. 3.

4. Величину деформации ползучести ΔZ бровки откоса насыпи для пластичных глинистых грунтов ($\varphi_w = 0$; $C_c = 0$; $\Sigma_w \neq 0$) следует определять по формуле

$$\Delta Z = t_g \alpha \sqrt{\frac{2t}{\pi}},$$

Таблица 2

Тип покрытия	Категория дороги (СНиП II-Д.5-72)	Минимальное время накопления предельно допустимых деформаций ползучести, годы
Усовершенствованные капитальные		
жесткие (монолитные, цементобетонные)	I, II и III	20
нежесткие	I, II и III	15
Усовершенствованные облегченные	III	10

Таблица 3

Категория дороги	Крутизна откосов насыпи	Предельно допустимая осадка ползучести бровки откоса насыпи, см
I	1:1	20
	1:1,5	16
	1:2	14
	1:3	12
II	1:1	27
	1:1,5	23
	1:2	20
	1:3	18
III	1:1	35
	1:1,5	29
	1:2	26
	1:3	23

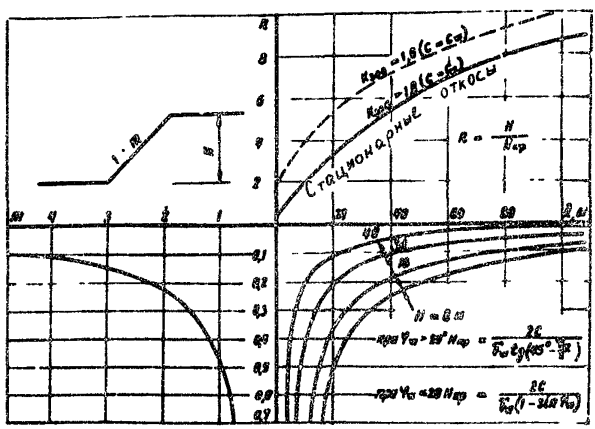
где α – угол наклона образующей откоса к горизонту;

$\mathcal{D}$ – коэффициент деформируемости, $\mathcal{D} = \frac{18\pi f g}{\eta}$;

f – сила тяжести единицы объема грунта, дин.;

g – ускорение свободного падения, см/с^2;

η – вязкость грунта, пуаз.



Номограмма для расчета устойчивости однородных глинистых откосов по деформируемости

5. Оценку устойчивости откосов насыпи, сооружаемой из глинистых грунтов скрытопластичной разновидности ($\varphi_w \neq 0$; $C_c \neq 0$; $\Sigma_w \neq 0$), по деформируемости следует выполнять в случае, если крутизна проектируемых откосов удовлетворяет требованиям по прочности, но оказывается выше крутизны стационарного откоса, определяемого по номограмме (см. рисунок).

6. Величину деформации ползучести бровки откоса насыпи ΔZ для скрытопластичных грунтов следует определять по формуле

$$\Delta Z = \frac{\lambda \operatorname{tg} \alpha}{2} \sqrt{\frac{1}{\pi}\left(1 - e^{\frac{-4q}{\lambda^2} t}\right)}$$

Параметр λ находят по сплошной кривой номограммы (см. рисунок).

7. Насыпь считается устойчивой во времени, если выполняется требование

$$\Delta Z \leq \Delta Z_{доп} \quad \text{при} \quad t = t_{расч}.$$

Приложение 4

Анкерные противооползневые конструкции

1. Анкерная конструкция относится к удерживающим противооползневым конструкциям. В отличие от известных конструкций обеспечения устойчивости оползневых склонов (подпорных стен, буронабивных свай и т.д.) анкерная конструкция позволяет прижать смещающуюся массу грунта к коренным устойчивым породам и тем самым создать упорную грунтовую призму, воспринимающую давление от расположенных выше по склону оползневых масс грунта.

2. Анкерная конструкция представляет собой конструкцию с гибкой анкерной связью, позволяющей по мере возможного смещения оползневых масс, вызванного строительством на оползневом склоне каких-либо инженерных сооружений или сильным динамическим воздействием (взрыв, землетрясение и т.п.), увеличивать давление на грунты оползневого массива, прижимая со все возрастающим усилием оползневые грунты к устойчивым коренным породам.

3. Анкерная конструкция состоит из одного или нескольких рядов анкерных затяжек, обычно располагаемых поперек склона, устойчивость которого требуется обеспечить.

4. Анкерная затяжка (см.рисунок) состоит из четырех основных элементов:

а) верхнего анкера;

б) анкерной плиты, укладываемой на поверхность грунта, устойчивость которого требуется обеспечить;

в) анкерной тяги, состоящей из пучка высокопрочной проволоки или стержневой арматуры;

г) нижнего анкера, закрепленного в устойчивых грунтах.

5. Строительство анкерной конструкции может быть осуществлено как без натяжения анкерных тяг, так и с предварительным их натяжением.

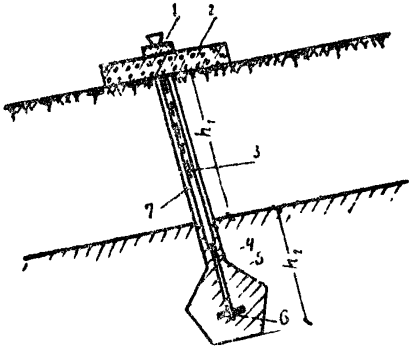


Схема анкерной затяжки:
1–анкер; 2–анкерная плита; 3–шланг; 4–пучок из высокопрочной проволоки; 5–бетон; 6–нижний анкер; 7–скважина

Следует учитывать, что предварительное натяжение анкерной тяги позволяет исключить дальнейшие подвижки оползня при определенной величине оползневого давления.

6. Расчет анкерной конструкции включает:

а) оценку степени устойчивости оползневого массива и определение активного оползневого давления с учетом требуемого коэффициента запаса устойчивости $K_{зап}$;

б) определение расчетного анкерного усилия;

в) определение безопасной и допустимой нагрузок от анкерной плиты на грунты оползневого массива;

г) назначение конструкции анкерной плиты и тяги;

д) введение в расчет предварительного натяжения анкерной тяги поправки на удлинение тяги и осадку анкерной плиты;

е) назначение количества анкерных затяжек и размещение их в плане откоса или склона;

ж) назначение конструкции и расчет нижней анкерной заделки.

7. Степень устойчивости оползневого склона оценивают по методу "круглоцилиндрической поверхности" или методом горизонтальных сил (метод Маслова–Берера).

8. В тех случаях, когда угол внутреннего трения φ

грунтов, слагающих склон, близок к нулю, а общее структурное сцепление обусловлено главным образом силами связности, необходимо дополнительно проверять устойчивость оползневого массива по деформируемости[x].

9. Активное оползневое давление R следует определять по формуле

$$R = \Sigma T_i K_{зап} - (\Sigma N_i \operatorname{tg}\varphi + Cl), \qquad (1)$$

где ΣT_i – сумма сдвигающих сил;

$K_{зап}$ – требуемый коэффициент запаса устойчивости;

$\Sigma N_i \operatorname{tg}\varphi$ – сумма удерживающих сил;

φ – угол внутреннего трения оползневых грунтов (в зоне плоскости скольжения);

C – сопротивление грунта сдвигу (в зоне плоскости скольжения);

l – длина оползневого массива.

10. Расчетное анкерное усилие в тяге S без учета самоанкеровки определяют по формуле

$$S = \frac{R}{\sin\beta + \cos\beta \operatorname{tg}\varphi}, \qquad (2)$$

где R – активное оползневое давление, тс/м;

β – угол наклона анкерной тяги от нормали к плоскости скольжения (в сторону движения оползня).

11. При назначении угла наклона анкерной тяги следует учитывать, что наиболее интенсивный рост удерживающей способности анкерной конструкции происходит при $\beta > 13^{\circ}$.

---

x) См. "Методические рекомендации по противооползневым мероприятиям на автомобильных дорогах в условиях Молдавской ССР". Союздорнии. М., 1975.

12. Анкерное усилие с учетом самоанкеровки, т.е. увеличения усилия в тяге при смещении оползневого склона, следует рассчитывать по формуле

$$R = S(\sin\beta + \cos\beta \cdot tg\,\varphi) + \\ + EF\,\frac{\left(1 - \frac{\cos\beta}{\cos\beta_0}\right)\cdot(tg\,\varphi + tg\,\beta)}{1 + \frac{E}{E_{ст}}\left(1 - \frac{\cos\beta}{\cos\beta_0}\right)(tg\,\varphi + tg\,\beta)}, \text{ тс/м}, \qquad (3)$$

где E – модуль деформации грунта;
$E_{ст}$ – модуль деформации стали анкерной тяги;
F – площадь анкерной плиты;
β_0 – первоначальный угол наклона анкерной тяги;
β – угол наклона анкерной тяги, полученный в результате смещения оползневого склона.

13. Ширина анкерной плиты назначается исходя из величины безопасного удельного давления на грунт $p_{без}$ по формуле Маслова

$$p_{без} = \frac{\pi\,\frac{C}{tg\,\varphi}}{ctg\,\varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}}, \qquad (4)$$

где C – сопротивление сдвигу грунтов верхней части оползневого массива;
φ – угол внутреннего трения грунтов верхней части оползневого массива.

14. В тех случаях, когда проектом противооползневых мероприятий предусмотрено осушение грунтов оползневого массива или отсыпка в месте установки анкерных плит гравийного или щебеночного слоя тол-

щиной свыше 15 см, удельное давление на грунт может быть повышено (формула Маслова):

$$P_{доп} = \frac{\pi \gamma_{ср}\left(2b\,tg\,\varphi + \frac{c}{\gamma_{ср}\,tg\,\varphi}\right)}{c\,tg\,\varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}}, \qquad (5)$$

где $\gamma_{ср}$ – средняя объемная масса грунта;
$2b$ – ширина анкерной плиты.

15. Расчетное усилие в анкерной тяге при выбранном с использованием формул (4) и (5) очертании анкерной плиты не должно превышать

$$S_{расч} \leq P_{без} F \qquad (6)$$

или

$$S_{расч} \leq P_{доп} F. \qquad (7)$$

16. При назначении расчетного усилия предварительного натяжения анкерной тяги в расчет следует вносить поправку на удлинение материала анкерной тяги и осадку анкерной плиты по формуле

$$S_{расч} = \frac{(\Delta T + \eta) E_a F_a}{0{,}8 L} \qquad (8)$$

или, используя формулу (2),

$$R = \frac{E_a F_a (\Delta T + \eta)(\sin\beta + \cos\beta\, tg\,\varphi)}{0{,}8 L}, \qquad (9)$$

где ΔT – удлинение материала анкерной тяги;
η – осадка плиты, $\eta = H \ell_{p z}$;
L – длина тяги от поверхности грунта до плоскости скольжения оползня;
E_a – модуль упругости материала анкерной тяги;

F_a – площадь поперечного сечения арматуры анкерной тяги;

H – мощность слоя оползневых грунтов;

l_{pz} – модуль относительной деформации грунта, определяемый по компрессионным испытаниям.

17. Для ориентировочных расчетов конечную величину осадки ζ анкерной плиты квадратного очертания можно определять по формуле Маслова

$$\zeta = 0{,}55 \cdot l_0 2b, \qquad (10)$$

где l_0 – модуль осадки, соответствующий нагрузке $S_{расч}$;

$2b$ – ширина анкерной плиты.

18. В тех случаях, когда использование зависимостей (8) и (9) экономически нецелесообразно (например, общее укрепление оползневого склона без необходимости защиты каких-либо инженерных сооружений), следует определять величины перемещения оползневого массива в процессе самоанкеровки по формуле

$$l = \frac{\sqrt{H^2-(H-\zeta)^2}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sqrt{H^2-(H-\zeta)^2}}{2}\right)^2 + M}, \qquad (11)$$

где

$$M = \frac{(S_к - S_0)H}{E_a F_a}\left[H + \frac{(S_к - S_0)H}{E_a F_a}\right]; \qquad (12)$$

l – величина перемещения оползневого массива в процессе самоанкеровки (до полного укрепления оползня), м;

H – мощность оползневой толщи, м;

ζ – осадка анкерной плиты.

19. Необходимое количество анкерных затяжек находят по формуле

$$n = \frac{SB}{S_{расч}}, \qquad (13)$$

где n – количество анкерных затяжек;
S – расчетное анкерное усилие, тс/м;
$S_{расч}$ – расчетное усилие в анкерной тяге, тс;
B – ширина оползневого массива, м.

20. Анкерные затяжки следует устанавливать в два-три ряда поперек оползневого массива. Расстояние между рядами анкерных затяжек принимают конструктивно из условий удобства выполнения работ (бурение скважин, монтаж плит), но не более чем $\ell' = 3{,}5 \cdot 2b$, где $2b$ – ширина анкерной плиты.

21. Нижнюю анкерную заделку в случае уширения нижней части скважины следует рассчитывать по формуле

$$S_{расч} = \pi R^2 \left[A_1 C + \gamma_{ср}(H + z)\right] + 2\pi R z'' \left[\gamma_{ср}\left(H + \frac{z''}{2}\right) \xi t_g \varphi + C\right], \qquad (14)$$

где

$$A_1 = \frac{1}{\cos\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right) \sin\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right) - \sin^2\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right) t_g \varphi}; \qquad (15)$$

$$z'' = z - \frac{R}{t_g\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right)}; \qquad (16)$$

R – радиус уширенной части скважины;
$\gamma_{ср}$ – средняя объемная масса грунта;
H – мощность оползневых накоплений;
z – величина заглубления нижнего анкера;

r – радиус скважины;

c – сопротивление сдвигу грунтов коренных пород;

φ – угол внутреннего трения грунтов коренных пород;

$\xi = tg^2(45° - \frac{\varphi}{2})$ – коэффициент бокового давления, равный 0,2–0,6.

22. При закреплении нижнего анкера лишь за счет трения грунта по поверхности свайной заделки, образованной при твердении цементопесчаного раствора, залитого в скважину, формула (14) принимает вид

$$S_{расч} = 2\pi r z\left[\left(H + \frac{z}{2}\right)\gamma_{гр}\xi tg\varphi + c\right]. \qquad (17)$$

При закреплении нижнего анкера с помощью инъецирования раствора под давлением величину r следует принимать равной среднему радиусу закрепления.

23. При закреплении нижнего анкера в скальных грунтах глубину заделки можно рассчитывать по формуле

$$z = \frac{S_{расч}}{2\pi r R_{сц}}, \qquad (18)$$

где $R_{сц}$ – сцепление цементопесчаного раствора со стенками скважины.

Приложение 5

Свайные противооползневые конструкции

1. Свайные конструкции[x)] относятся к удерживающим противооползневым конструкциям. Основным элементом свайных конструкций являются железобетонные сваи, которые в зависимости от конкретных инженерно-геологических условий могут быть забивными или буронабивными.

Для получения гарантированных прочностных характеристик бетона буронабивных свай рекомендуется применять сваи диаметром 750-860 мм.

2. Конструктивные схемы свайных сооружений:

а) отдельные свайные поля с рядовым или шахматным расположением свай, объединенных поверху железобетонной плитой ростверка;

б) подпорные стены с фундаментом из буронабивных свай.

3. Свайные конструкции рекомендуется применять на оползневых склонах при наличии хорошо выраженной поверхности скольжения.

4. Если мощность оползневых накоплений не превышает 1,5-2 м, то целесообразно применять конструкции из забивных железобетонных свай, представляющих собой 2-4 ряда свай, расположенных в шахматном порядке.

5. Для обеспечения устойчивости оползневых склонов, при мощности оползневых накоплений от 5-6 до 12 м, рекомендуется использовать удерживающие конструкции из буронабивных железобетонных свай.

---

x) См. "Методические рекомендации по противо - оползневым мероприятиям на автомобильных дорогах в условиях Молдавской ССР". Союздорнии. М., 1975.

6. Применение буронабивных свай позволяет устраивать:

низовые и верховые подпорные стены на свайном основании;

глубокие, совершенные дренажи под защитой свайно-грунтовых стен;

свайно-грунтовые стены, воспринимающие оползневое давление.

7. При расчете свайных конструкций (по методике Союздорнии) для оценки устойчивости и определения коэффициента запаса устойчивости оползневого склона используют метод горизонтальных сил Маслова-Берера

$$K = \frac{\Sigma T}{\Sigma(\pm H)},$$

где $H = \rho t g \alpha$ – давление грунта при отсутствии трения и сцепления;

$K = \rho t g (\alpha - \varphi_p)$ – непогашенная часть общего давления;

T – часть давления H, воспринимаемая трением и сцеплением.

Свайную конструкцию рассчитывают на величину активного оползневого давления R.

8. Расчетом определяют: нагрузку (давление) на одиночную сваю; количество свай в конструкции; глубину заделки свай в устойчивые коренные породы; прочность сечения свай.

9. Обычно принимают, что активное оползневое давление распределяется равномерно между рядами свай и сваями в ряду, а эпюру давления на одиночную сваю принимают в виде равномерно-распределенной по высоте сваи в пределах оползневой толщи.

10. Величину оползневого давления $q_{св}$, воспринимаемого одиночной сваей, определяют по формуле

$$q_{св} = \sigma_{кр} H,$$

где H – мощность оползневых масс в месте установки свайного ряда, м;

$\sigma_{кр}$ – критическое удельное давление, определяемое исходя из недопущения "прорезания" грунта сваей,

$$\sigma_{кр} = \frac{\gamma \frac{D}{2}}{tg^4\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)} + \gamma \frac{D}{2} \frac{\left[1 + tg^4\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)\right]}{tg^5\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)} +$$

$$+ \frac{2c\left[1 + tg^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)\right]}{tg^3\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)};$$

γ – объемная масса грунта, т/м^3;

D – диаметр сваи, м;

φ – угол внутреннего трения, град;

C – сцепление, тс/м^2.

11. Расстояние между осями свай в ряду для однорядной свайной конструкции определяют по формуле (рис.1)

$$l = \frac{q c B}{R},$$

а количество свай в ряду – по формуле $N = \frac{B}{l}$,

где B – ширина оползня в месте установки свайного ряда.

12. При многорядной свайной конструкции расстояние между осями свай в ряду находят по формуле

$$l = \frac{m q c B}{R},$$

где m – количество рядов свай.

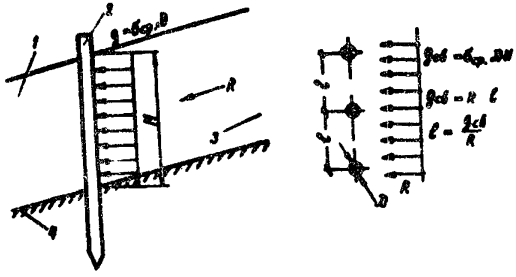


Рис.1. Расчетная схема к определению расстояний между осями свай в рядах : 1–оползневое тело; 2–свая; 3–поверхность скольжения; 4–коренные породы

13. Глубину заделки свай в коренные породы, а также прочность сечения свай от воздействия оползневого давления рассчитывают на основе соответствующих норм и технических условий.

14. Переползания оползневого грунта над свайной конструкцией не происходит, если соблюдается условие $E_o \geq R$,

где E_o – пассивное сопротивление призмы отпора перед сооружением,

$$E_o = \frac{1}{2}\gamma h^2 tg^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) + 2ch\,tg\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right),$$

R – активное оползневое давление .

15. Учитывая свойство глинистых грунтов деформироваться во времени под действием постоянной нагрузки (ползучесть), следует рассчитывать свайные конструкции на возможность "обтекания" ее грунтом оползневого массива (рис.2). Скорость обтекания определяют по эмпирической формуле

$$v = \frac{q_{св}}{4\pi\eta\gamma DH},$$

где v – установившаяся скорость обтекания, см/с;

$q_{св}$ – оползневое давление на одиночную сваю, кгс/см²;

D – диаметр сваи, см;

η – динамический коэффициент вязкости глинистого грунта, кгс·с/см² .

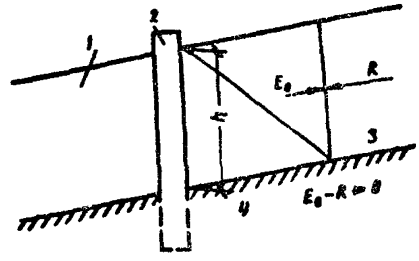


Рис.2. Расчетная схема к проверке свайной удерживающей конструкции на возможность переползания ее грунтом оползневого массива : 1–оползневое тело; 2–свая; 3–поверхность скольжения; 4–коренные породы

16. Величину смещения оползневого массива λ за тот или иной промежуток времени t находят по формуле

$$\lambda = vt.$$

Оглавление

	Стр.
Предисловие	3
1. Общие положения	4
2. Особенности трассирования автомобильных дорог в оползневых районах	6
3. Влияние климатических, геоморфологических, геологических, гидрологических и сейсмических условий на развитие оползневых процессов	8
4. Расчет устойчивости природных склонов и откосов земляного полотна	13
5. Основные принципы назначения противооползневых мероприятий	15
Приложения:	
1. Основные инженерно-геологические типы оползней	26
2. Расчет устойчивости откосов земляного полотна на прочность с учетом их напряженного состояния	30
3. Оценка устойчивости откосов насыпей из глинистых грунтов по деформируемости во времени	34
4. Анкерные противооползневые конструкции	38
5. Свайные противооползневые конструкции	46

Ответственный за выпуск
инж. В.Е.Губанов

Редактор О.А.Ильина
Технический редактор А.В.Евстигнеева
Корректоры И.А.Рубцова, Ж.И.Иноземцева

Подписано к печати 18/1 1977г. Формат 60x84/16
Л 114230
Заказ 79-7 Тираж 300 3,2 уч.-изд.л. Цена 32 коп.
3,3 печ.л.

Ротапринт Союздорнии

gost.e-ecolog.ru