

УДК 624.131.543

ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНОВ ПРИ ПЕРЕДПРОЕКТНОЙ ПРОРАБОТКЕ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ТРАССЫ ГАЗОПРОВОДА И ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Объектом исследований является оползневой склон вдоль трассовой линии электропередачи газопровода "Россия - Турция". Проанализированы основные сочетания техногенных и природных факторов, приведших к смещению грунта с вовлечением опор линии электропередачи и угрозой газопроводу, а также варианты взаимодействия трубы и опор с оползнем. Приведены исследования по определению расчетных прочностных показателей грунтов смещающегося оползневого склона, взаимодействующих с трубопроводом. Разработана экспресс-методика оценки устойчивости склона, использование которой позволило предложить варианты инженерной защиты газопровода и линий электропередач.



**БЕЗУТЛОВА
ЕКАТЕРИНА ВЯЧЕСЛАВОВНА**

Доктор геолого-минералогических наук, доцент кафедры строительных материалов и конструкций Кубанского государственного аграрного университета; главный специалист ООО "НТЦ ГеоПроект" (Кубань, Россия).

Основные направления деятельности:

- расчеты устойчивости оползнеопасных склонов, оценка и управление оползневой опасностью, проектирование инженерной защиты. Автор более 60 научных работ, в том числе 3 монографий.



**МАЦИЙ
СЕРГЕЙ ИОСИФОВИЧ**

Доктор технических наук, профессор кафедры строительных материалов и конструкций Кубанского государственного аграрного университета; директор ООО "НТЦ ГеоПроект"; член президиума РОМГГиФ (Кубань, Россия).

- проектирование инженерной защиты объектов от оползневых процессов, геотехнический мониторинг, оценка и управление оползневой опасностью. Автор более 230 научных работ, в том числе 4 монографий.

Введение

Многие транспортные и коммуникационные линейные сооружения (автомобильные и железные дороги, трубопроводы, линии электропередачи), проложенные в горах, взаимодействуют с геологической средой в относительно узкой полосе, образуя региональные транспортно-коммуникационные природно-технические системы (ПТС) [1]. Наличие в их границах отдельных оползневых участков вызывает необходимость создания локальных транспортных природно-технических систем (ТПТС), включающих в себя объекты инженерной защиты. ТПТС обладают новыми свойствами, по сравнению с входящими в них компонентами [2]. Объектами настоящих исследований являются ТПТС, расположенные на трассе газопровода "Россия – Турция".

Инженерно-геологические условия

Линия электропередачи (ЛЭП), проходящая вдоль трассы, и участок газопровода устроены на водоразделе, склон имеет крутизну 35...40°. При плановом осмотре были выявлены деформации нескольких опор ЛЭП, и обнаружена стенка срыва грунта, высотой около 3 м.

Потенциально опасным оказался массив просеки, ограниченной лесом, шириной 40...50 м, протяженностью порядка 500 м, с перепадом высот 120 м. Активный оползень имел размеры в плане 100×30 м. Смещению был подвержен рыхлый глинистый грунт глубиной 0,5...1,0 м с включениями дресвы и щебня полускальных пород – аргиллитов и песчаников (рис. 1).

При визуальном обследовании выявлены деформации шести опор ЛЭП. Одна из опор была смещена оползнем с оси трассы вниз на 3...4 м и влево на 2...3 м, отклонившись от вертикали на 10...15°. Трещинами, шириной раскрытия до 1 см, была нарушена целостность железобетонной конструкции другой опоры. Подвижки грунта обнажили и вызвали изгиб противоэрозийных перемычек, устроенных на склоне. Левым бортом оползень задел газопровод. Таким образом, из-за



Рис. 1. Общий вид на оползневой участок трассы газопровода "Россия - Турция" и вдольтрассовую линию электропередачи

отсутствия комплексной защиты, линейные сооружения оказались в зоне влияния экзогенных геологических процессов.

Отметим, что создание и последующее функционирование ПТС изменяет устойчивость склонов. При этом, как поясняет Г.М. Шахунянц [3], чем ближе к дневной поверхности расположен слой, тем чаще, при прочих равных условиях, в нем возможны изменения.

Техногенные воздействия способствуют появлению природно-техногенных (инженерно-геологических) опасностей [4, 5] и неблагоприятных последствий, связанных с неправильной оценкой рисков [6].

Оценка сложившейся ситуации

В связи с опасностью активизации оползневой процесса, первостепенными задачами являются: оценка ситуации, расчеты устойчи-

вости склона, разработка мероприятий инженерной защиты. Анализ возможного сочетания воздействующих техногенно-природных факторов, а также вариантов устройства взаимодействия трубы и опор ЛЭП с оползнем показал [7]:

1. Полка газопровода и вдольтрассовой ЛЭП нарезана по водоразделу; направление движения оползня совпадает с осью ЛЭП и трассы газопровода.

2. Так как газопровод расположен вдоль оползня, он подвергается воздействию касательных напряжений с возможностью развития вертикальных деформаций (провисание трубы).

3. Деформируемые опоры ЛЭП расположены в головной и средней частях оползня, поэтому происходит смещение фундаментов опор вместе с грунтом, а при регрессивном развитии оползня (выше по склону от стенки срыва) возможно вовлечение в смещение и других опор, потеря их устойчивости и опрокидывание.

4. Основными техногенно-природными факторами являются: прорубка просеки под ЛЭП, устройство широкой срезки для землеройных машин и трубоукладчиков, набухание пород после разгрузки, уменьшение их плотности, а также активное развитие эрозионных процессов, разупрочняющих массив.

Для предотвращения дальнейшего развития оползневой процесса необходимы дополнительные мероприятия. Целесообразно предусмотреть вертикальную планировку полки газопровода, возведение удерживающих сооружений для защиты газопровода, установку опор ЛЭП на буронабивные сваи, организацию стока поверхностных вод.

Постановка и пути решения проблемы

Конструктивные решения инженерной защиты, местоположение сооружений на склоне и, в целом, безопасность функционирования ТПТС зависят от достоверности исходных данных. Основные проблемы связаны с определением прочностных показателей грунтов, оценкой устойчивости склона и расчетом оползневого давления.

Определяя прочностные показатели, можно получить характеристики, в зависимости от плотности, влажности грунта, особенностей текстуры и структуры, метода испытания, оценки результата [8]. Лабораторными и полевыми исследованиями оценивается состав и состояние грунтов в месте отбора проб, что не гарантирует такие же показатели в зоне разрыва сплошности массива.

Исследованиями А. Я. Туровской [9] показано, что образцам, отобраным из области скольжения, главного уступа и языка оползня соответствует различная структура.

В.Ф. Безруков [10], изучив оползни Черноморского побережья Кавказа, рекомендует использовать в расчетах результаты испытаний монолитов, отобранных из области скольжения, как наиболее отвечающие предельному состоянию склона. А.А. Каган [11] рекомендовал при принятии решений учитывать результаты обобщения исследований состава и свойств грунтов в изучаемом районе.

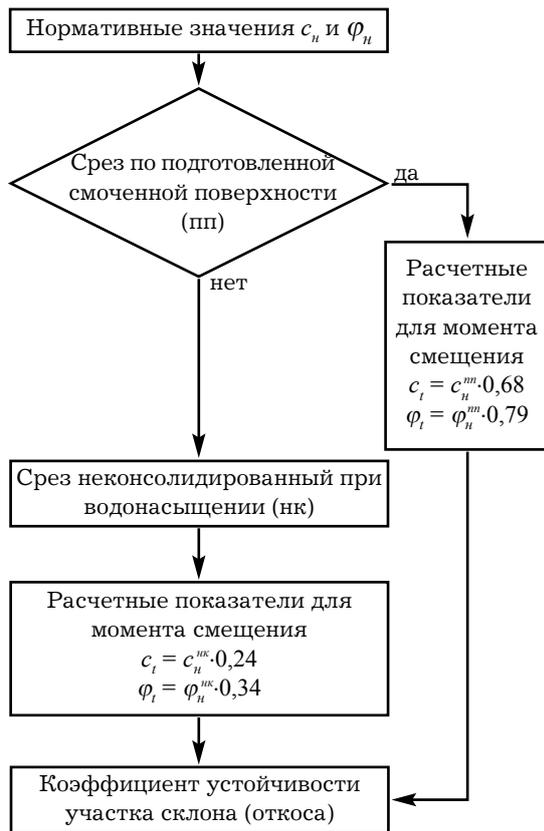


Рис. 2. Блок-схема предлагаемой методики детерминированного расчета устойчивости оползнеопасных участков

Исследование прочностных свойств делювиально-оползневых грунтов

При разработке противооползневой защиты сооружений на Черноморском побережье Кавказа авторами проведены исследования прочностных свойств делювиально-оползневых отложений, представленных глинами и суглинками [12].

По механизму смещения оползни, в основном, классифицируются как оползни скольжения (консеквентные), течения (пластические, оплывины), сложные [12]. Для данных типов оползней, согласно региональным рекомендациям [12, 13], целесообразно выполнять лабораторные испытания грунтов по схемам:

- срез ускоренный по искусственно подготовленной, смоченной поверхности;
- срез в сдвиговых приборах после водонасыщения.

Авторами статьи выполнена статистическая обработка результатов испытаний грунтов, приведенных в отчетах по инженерно-геологическим изысканиям на десятках объектов [14...17]. Данные о механических свойствах грунтов различных участков, учитывая сходное происхождение, состав, возраст и условия, объединили для получения значительной выборки. Проведены также "обратные расчеты устойчивости" участков активных оползней, согласно региональным рекомендациям, "с целью определения показателей сопротивления пород сдвигу" [12, 13].

Полученные данные сопоставлены между собой для выявления количественных различий

"расчетных значений" (вычисленных согласно ГОСТ 20522) и величин, полученных "обратными расчетами" на момент смещения. Определены соотношения между нормативными значениями сцепления c_n , угла внутреннего трения φ_n и прочностными показателями, полученными "обратными расчетами" на момент смещения оползня (c_t , φ_t):

1. При неконсолидированном срезе образцов $c_t/c_n \approx 0,24$ (от 0,19 до 0,32); $\varphi_t/\varphi_n \approx 0,34$ (от 0,24 до 0,53).
2. При срезе по подготовленной, смоченной поверхности $c_t/c_n \approx 0,68$ (от 0,57 до 0,83); $\varphi_t/\varphi_n \approx 0,79$ (от 0,64 до 0,86).

Разработана блок-схема методики детерминированной оценки устойчивости оползнеопасных участков (рис. 2). Для выполнения вероятностного расчета выявлены диапазоны изменения нормативных показателей исследуемых грунтов и параметры отклонения отдельных величин от выборочного среднего [18]:

1. Срез неконсолидированный после водонасыщения: $c_n = 34,00...48,38$ кПа; $\varphi_n = 9,68...22,11^\circ$; стандартное отклонение SD нормативного сцепления $c_n - 4,52...6,80$; нормативного угла трения $- 1,34...2,45$; $c_n/SD = 5,98...8,62$; $\varphi_n/SD = 6,41...11,36$.
2. Срез по подготовленной и смоченной поверхности: $c_n = 12,96...23,47$ кПа; $\varphi_n = 5,15...13,00^\circ$; SD нормативного сцепления $c_n - 2,07...3,65$; SD угла $\varphi_n - 0,75...1,95$; $c_n/SD = 5,00...7,19$, в среднем, 5,62; $\varphi_n/SD = 6,25...10,64$, в среднем, 7,14.

Учитывая меньшую изменчивость показателей в области подготовленной поверхности скольжения [18] и полученные соотношения, предложена блок-схема вычисления вероятностных параметров (рис. 3). Приведенные блок-схемы целесообразны как экспресс-методики вычисления (уточнения) прочностных показателей делювиально-оползневых грунтов (наряду с "обратными расчетами") для предварительной оценки устойчивости склонов и откосов на этапе пред-

Таблица

Вероятностные параметры устойчивости склона	Количественный показатель
Коэффициент устойчивости K_y на основное сочетание нагрузок	1,05
Расчетный диапазон изменения коэффициента устойчивости	0,34-1,63
Стандартное отклонение SD значений коэффициента устойчивости	0,15
Показатель надежности β	0,47
Вероятность повторного оползневого смещения P	32,24%

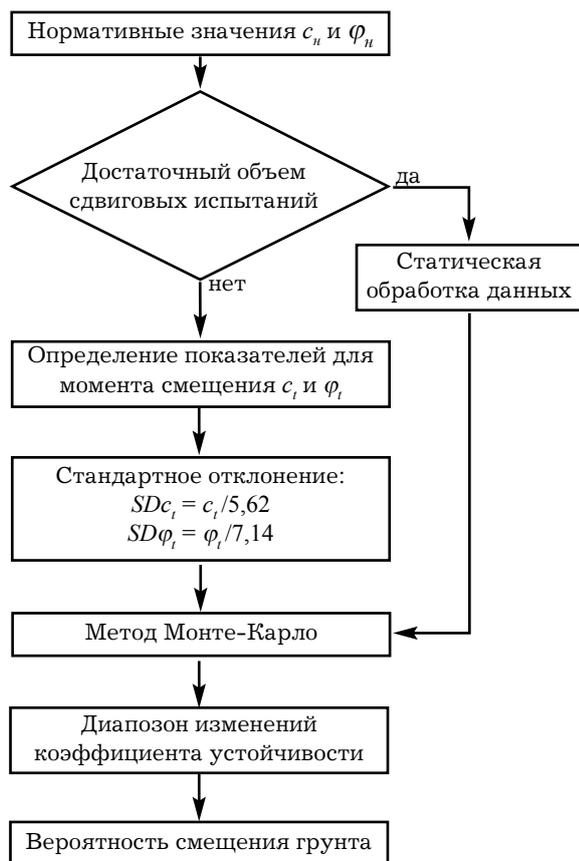


Рис. 3. Блок-схема предлагаемой методики вероятностного расчета устойчивости оползнеопасных участков

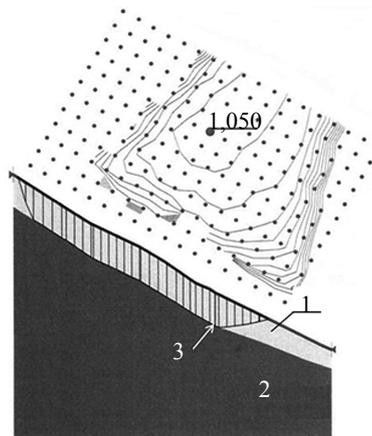


Рис. 4. Фрагмент расчетного сечения склона в плоскости (программный комплекс GeoStudio): средний коэффициент устойчивости $K_y = 1,05$; 1 - суглинок; 2 - аргиллит; 3 - плоскость скольжения

проектных проработок. Результаты исследований апробированы и отражены в двух отраслевых дорожных методических документах [19, 20].

Применение экспресс-методики расчета устойчивости склона для принятия решений инженерной защиты ТПТС

Для предварительного определения параметров и стоимости защитных сооружений на стадии предпроектных проработок авторами выполнены расчеты устойчивости с применением программного комплекса GeoStudio [22]. Ввиду отсутствия конкретных данных, использована усредненная информация о свойствах делювиально-оползневых глинистых отложений на других участках трассы газопровода "Россия – Турция" [14, 15, 17 и др.]. На основе экспресс-методик вычислены сцепление и угол внутреннего трения, а также их стандартные отклонения $c_t = 12,4$ кПа ($SD c_t = 2,28$); $\varphi_t = 7,17^\circ$ ($SD \varphi_t = 1,01$).

Оценка устойчивости склона проведена по плоскому сечению методом общего предельного равновесия (GLE), позволяющим определять коэффициент устойчивости из условия равновесия моментов и сил. Основные положения, расчетные схемы и формулы метода приведены в [19, 22]. На рис. 4 приведен фрагмент расчетного сечения. Результаты вероятностного расчета показывают, что с определенной вероятностью коэффициент устойчивости изменяется от 0,34 до 1,63 (таблица).

По результатам расчета рассмотрены варианты инженерной защиты. Основные мероприятия включают в себя: устройство бетонного быстротока с георешеткой "Прудон-494"; противоэрозийной защиты (материал фирмы "Ромекс", георешетка "Прудон"); противооползневых сооружений (буронабивные сваи); вертикальную планировку рельефа. При разработке рабочей документа-

ции, желателен (с целью оптимизации затрат на инженерную защиту) пространственный расчет устойчивости, учитывающий влияние бортов оползня, пространственные особенности топографии и геологии, нагружения, распределения поровых давлений и другие параметры. Предварительная стоимость инженерной защиты исследуемых ТПТС на предпроектных проработках составляет:

- защита только ЛЭП: 10,8...16,2 млн руб;
- защита газопровода и ЛЭП: 24,9...34,5 млн руб.

Выводы

1. Рассматриваемые локальные транспортно-коммуникационные природно-технические системы подвержены без комплексной инженерной защиты влиянию экзогенных геологических процессов, вызванных устройством широкой срезки при прокладке трубопровода и прорубкой просеки под вдольтрассовой линией электропередачи.

2. Продольное расположение газопровода относительно оползня потенциально способствует вертикальным деформациям трубы; одновременно происходит смещение фундаментов опор ЛЭП, расположенных в верхней и средней частях оползневого массива.

3. Для предотвращения деформаций сооружений целесообразно выполнить дополнительные мероприятия, включающие в себя вертикальную планировку полки газопровода и устройство удерживающих сооружений, установку опор ЛЭП на свайный фундамент, организацию поверхностного водоотвода.

4. При выполнении расчетов устойчивости участков возможного вторичного развития смещений, целесообразно уточнять сцепление и углы внутреннего трения делювиально-оползневых грунтов, а также их стандартные отклонения, по предлагаемым методикам.

5. Выполненные на основе разработанной экспресс-методики расчеты позволили на стадии предпроектных проработок ориентировочно оценить устойчивость склона и стоимость противооползневых сооружений для защиты газопровода и опор ЛЭП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галкин А. Н. Особенности формирования природно-технических систем на территории Беларуси и их типизация // Литасфера. - 2008. - № 1(28). - С. 126-140.
2. Соколов А. Д. Армогрунтовые системы автодорожных мостов // Наука и техника в дорожной отрасли. - 2014. - № 3. - С. 9-12.
3. Шахунянц Г. М. Принципы проектирования мероприятий по стабилизации земляного полотна // Борьба с оползнями, обвалами и размывами на железных дорогах Кавказа: Тр. совещания. - Днепропетровск: ДИИТ, 1961. - С. 5-14.
4. Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы (под ред. Е. М. Сергеева). - М.: Недра, 1985. - 332 с.
5. Осипов В. И. Мегалополисы под угрозой природных катастроф // Вестник Российской Академии наук. - 1996. - Т. 66. - № 9. - С. 771-782.
6. Измайлов Я. А., Абрамов С. Е., Гревцева Л. М. Проблемы рационального освоения и прогноза изменений геологической среды Черноморского побережья Кавказа // Проблемы гидрогеологического, инженерно-геологического и геоэкологического изучения морских побережий Северного Кавказа: материалы Всеоюз. науч.-техн. семинара. - Сочи, 1990. - С. 73-75.
7. Безуглова Е. В., Маций С. И., Подтелков В. В. Оползневой риск транспортных природно-технических систем. - Краснодар: КубГАУ, 2015. - 239 с.
8. Казарновский В. Д. Пути совершенствования оценки прочности грунтов в дорожном строительстве // Вопросы инженерной геологии и механики грунтов в практике строительства (сб. науч. тр.). - М.: МАДИ, 1988. - С. 4-11.
9. Туровская А. Я., Костыгова А. В. Экспериментальное исследование процесса формирования профиля предельного уположения оползневого склона и влияния отдыха на прочность грунта в зоне смещения // Вопросы геотехники. - Днепропетровск, 1972. - № 21. - С. 107-120.
10. Безруков В. Ф. Физико-механические свойства горных пород Сочинского района // Проблемы инженерной геологии Северного Кавказа. - Сочи, 1971. - Вып. 3. - С. 39-55.
11. Каган А. А. Расчетные показатели физико-механических свойств грунтов. - Л.: Стройиздат, 1973. - 144 с.
12. Рекомендации по инженерно-геологическим изысканиям на оползневых склонах Северного Кавказа с целью их хозяйственного освоения. - М.: Стройиздат, 1983. - 68 с.
13. Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов. - М.: Стройиздат, 1984. - 80 с.
14. Технический отчет по инженерно-геологическим изысканиям на объекте: "Инженерно-геологические изыскания по трассе газопровода "Россия - Турция" (км 340 - км 350). Оползнеопасный участок № 19 а". - Книга 1. - Ставрополь, 1999.
15. Отчет по теме: "Инженерные изыскания на оползнеопасных участках для обоснования рабочего проекта инженерной защиты газопровода Россия - Турция (км 320 - км 330)". - Т. 5. Оползнеопасный участок № 7. - М.: ПНИИИС, 1999.
16. Отчет об инженерно-геологических изысканиях на оползневых участках по трассе газопровода высокого давления Адлер - Красная Поляна участок ПК309. - Сочи: ООО "Инжзащита", 2002.
17. Инженерная защита газопровода Россия - Турция (участок км 320 - км 370). Оползневые массивы на участке км 360 - км 370. Оползнеопасный участок 29. Технический отчет по геолого-геофизическим изысканиям. - Краснодар: ДОО "Термнефтепроект", 2000.

18. Маций С. И., Безуглова Е. В. Оползневая опасность и риск смещений грунтов на склонах // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. - 2007. - № 6. - С. 537-546.
19. Отраслевой дорожный методический документ ОДМ 218.2.006-2010. Рекомендации по расчету устойчивости оползнеопасных склонов (откосов) и определению оползневых давлений на инженерные сооружения автомобильных дорог. - М.: РОСАВТОДОР, 2011. - 115 с.
20. Отраслевой дорожный методический документ ОДМ 218.2.033-2013. Методические рекомендации по выполнению инженерно-геологических изысканий на оползнеопасных склонах и откосах автомобильных дорог. - М.: ФГУП Информавтодор, 2013. - 82 с.
21. Geo-Slope International Ltd. 1996. Slope/W for slope stability analysis, user's guide, version 3. Geo-Slope International Ltd., Calgary, Alta.
22. Маций С. И. Противооползневая защита. - Краснодар: АлВи-дизайн, 2010.- 288 с.

УДК 624.131.524.4.:624.151.6

ТРЕХМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ РАСТВОРОВ В ДЕФОРМИРУЕМОМ ГРУНТЕ С УЧЕТОМ АДСОРБЦИИ

Полный текст статьи будет опубликован в английской версии журнала "Soil Mechanics and Foundation Engineering".

ЧЖАН ЧЖИ-ХУН, ФАНГ ЮАНЬ-ФАН, ДЮ СЮ-ЛИ

Главная лаборатория по обеспечению безопасности Пекинского технологического университета (Пекин, Китай).

Дополнительная нагрузка из-за веса мусора на мусорных свалках вызывает консолидацию и деформацию подстилающих глинистых слоев, что приводит к изменениям их внутренней структуры и проницаемости. На основе объединения теории консолидации Био и теории переноса растворенных солей, была предложена трехмерная связанная модель, описывающая транспорт растворов в деформируемом грунте с учетом влияния эффектов консолидации. Уравнения переноса и консолидации связаны через изменяющийся коэффициент проницаемости. Изучается влияние разных механизмов адсорбции на процессы переноса при двух различных условиях: концентрация источника раствора остается постоянной или уменьшается со временем. Результаты показывают, что скорости переноса значительно разнятся. Кроме того, кривая пространственного распределения концентрации раствора для случая источника с убывающей концентрацией показывает, что концентрация постепенно увеличивается и достигает пика на определенной глубине в вертикальном сечении или в определенной позиции горизонтального сечения, и затем уменьшается, что значительно отличается от соответствующего распределения для случая источника с постоянной концентрацией.