

О стабилизации оползневого склона анкерной крепью ТИТАН

А.В. Манько

ФГБОУ ВО НИ Московский государственный строительный университет

Аннотация: В статье рассмотрены результаты моделирования стабилизации оползневого склона методом конечных элементов. Система стабилизации склона включает в себя подпорные железобетонные сооружения (вновь возведенные и реконструируемые) с анкерной крепью системы ТИТАН.

Ключевые слова: оползень, оползневой склон, оползневой цирк, подпорные сооружения, анкерная крепь, анкер, математическое моделирование, геомеханическое моделирование, метод конечных элементов.

В данной статье рассматриваются результаты одного из проектов по укреплению оползневого склона в Крыму. Проект по укреплению включает в себя как реконструкцию существующих подпорных бетонных стен, так и возведение новых подпорных бетонных стен с устройством дополнительной анкерной крепи.

По вопросу о стабилизации как отдельного оползня, так и оползневых цирков выполнено и написано много работ. Этому посвящены, например, работы Михайлина А.А., Филонова С.В. [1], Волкомирской Л.Б., Гулевич О.А., Кривошеева Н.В. [2], Петрова Н.Ф. [3], Сольского С.В., Быковской С.А. [4], Пранцевича Дж.П. [5], Шульца К. [6] и других. Вопросом по математическому моделированию геологических сред, систем противооползневой защиты и анкерному креплению посвящены, в частности, работы Хасима Р., Ашока Дж. [7], Цеева З.Р., Ахмедова С.Ш. [8], Лавыгина Д.С., Леонтьева В.Л. [9], Вознесенского Е.А. [10] и других.

В качестве основного анкера было принято решение использовать анкер ТИТАН (далее ТИТАН). Анкеры системы ТИТАН разработаны фирмой «ISCHEBECK GmbH» (Германия) и относятся к штанговым, самозабуриваемым железобетонным анкерам с одноразовыми коронками. Буроинъекционные штанги ТИТАН изготавливают из конструкционной

стали. Устройство анкеров ТИТАН заключается в том, что для их установки не требуется предварительное бурение скважин (рис.1).

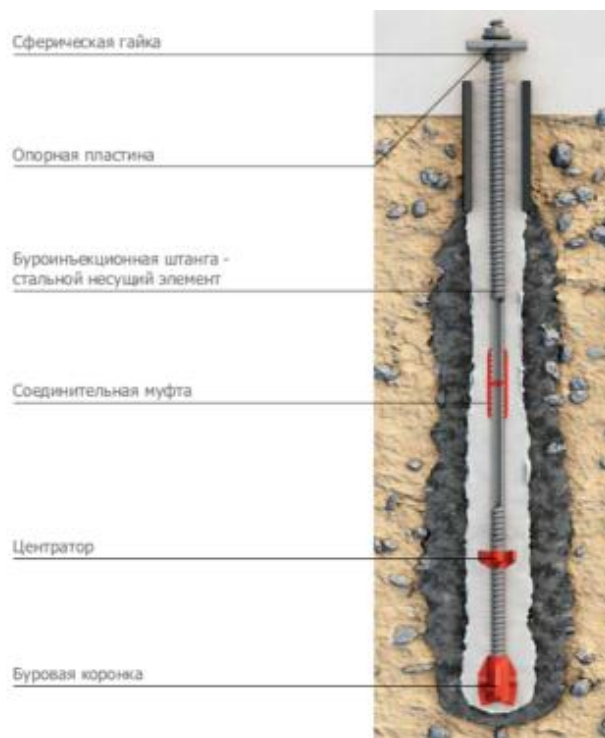


Рис.1. - Схема анкера ТИТАН

У каждого анкера буровая коронка работает при непосредственном бурении с промывкой жидким цементным раствором ($v/c = 0,7-1,0$). Промывочный цементный раствор выносит буровой шлам из скважины. После того как достигается расчётная глубина анкера, буровая штанга продолжает вращаться и нагнетается густой цементный раствор ($v/c = 0,4-0,6$), который вытесняет жидкий цементный раствор. При этом возможно повышение давления до 80 бар, что в слабых грунтах способствует их уплотнению, а также расширению диаметра анкера. Буровая штанга остаётся в скважине в качестве армирующего элемента, который позволяет воспринимать нагрузки на сжатие и выдергивание. Бурение без обсадной трубы и одновременное нагнетание цементного раствора через буроинъекционную штангу значительно ускоряет и упрощает процесс

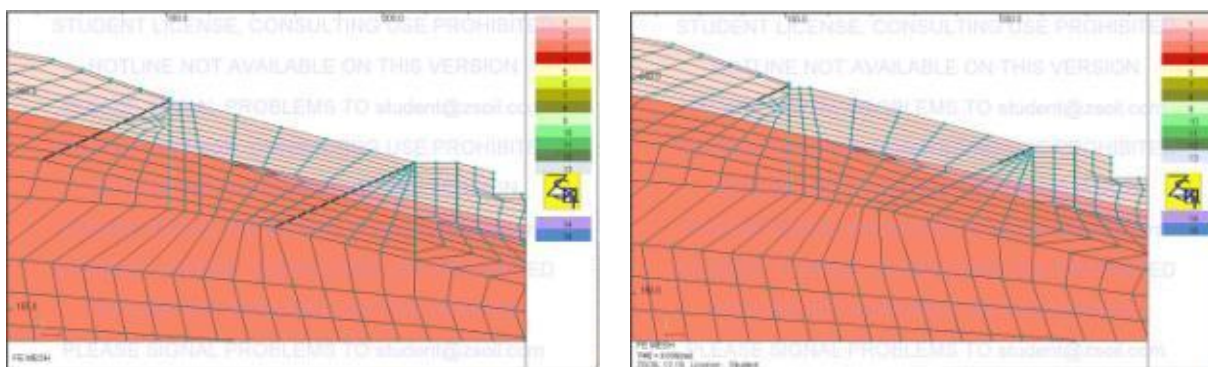
устройства анкеров ТИТАН по сравнению с иными системами анкерной крепи.

По сравнению с другими системами анкерной крепи аналогичной конструкции анкера ТИТАН обладают меньшей длиной (в среднем 3 метра) при одинаковых параметрах анкера на разрыв.

Моделирование геомеханической работы анкерной крепи производилась методом конечных элементов. При этом учитывались особенности поэтапности возведения анкерной крепи. Также, для сравнения, было проведено моделирование тросовых анкеров.

В рамках данной статьи невозможно рассмотреть все подпорные сооружения с анкерной крепью на трех оползневых склонах общей площадью около 50 га, поэтому остановимся только на одном результате.

На рис.2. представлена часть двух расчетных схем: с тросовым железобетонным анкером и с анкером ТИТАН.



а)

б)

Рис.2. - Часть расчетной схемы:

а) с тросовым анкером, б) с анкером ТИТАН

В расчетных схемах учтены историческое напряженно-деформированное состояние массива, поэтапность работ по реконструкции и возведению подпорных стен, устройство анкеров. Результаты перемещения в теле оползня при креплении подпорных стен тросовыми железобетонными анкерами и самих конструкций представлены на рис.3.

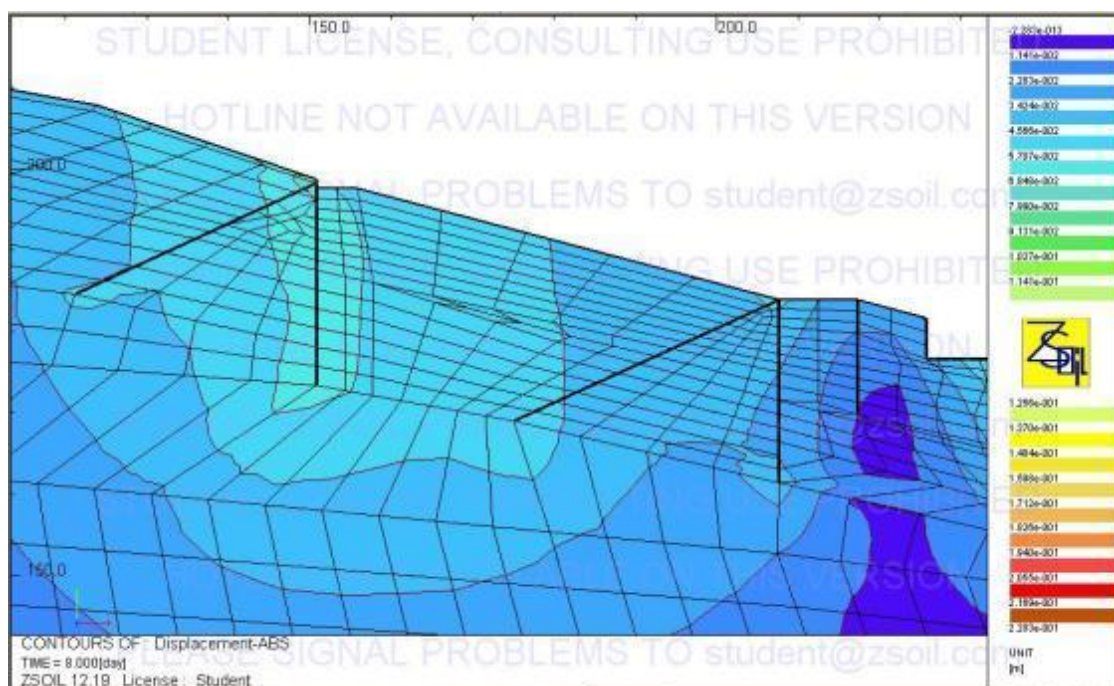


Рис.3. - Перемещения в теле оползня при креплении подпорных стен тросовыми железобетонными анкерами

Перемещения в теле оползня при креплении подпорных стен анкерами ТИТАН представлены на рис.4.

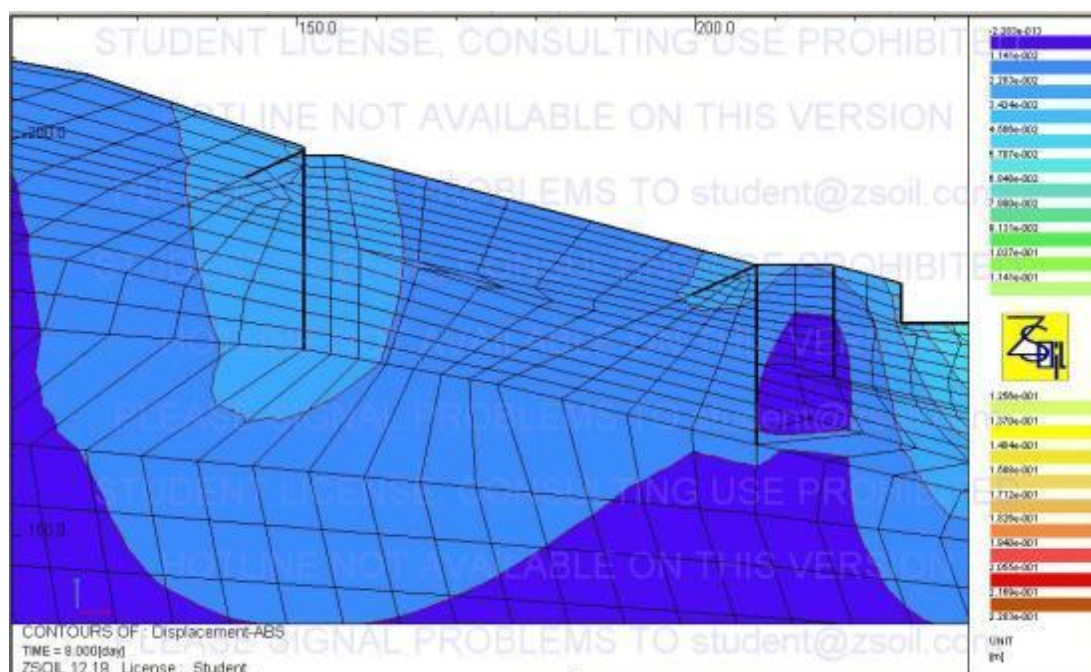


Рис.4. - Перемещения в теле оползня при креплении подпорных стен анкерами ТИТАН

При анализе полученных результатов можно сделать вывод о том, что оба типа рассматриваемых анкеров выполняют свою работу, а именно помогают подпорным стенам удерживать оползневой склон от движения. При этом перемещение самой подпорной стенки составило 4,56 см при тросовом анкере и 2,28 см при креплении анкерами ТИТАН. Перемещение корня тросового анкера составило 3,45 см, а корня анкера ТИТАН 2,28 см.

Полученные результаты позволяют сделать общий вывод о том, что при меньшей длине анкер ТИТАН дает меньшее перемещение тела оползня вниз по склону, что доказывает эффективность использования данного типа анкеров при стабилизации оползней.

Литература

1. Михайлин А.А., Филонов С.В. Анализ устойчивости глубоко разрыхленных склонов // Инженерный вестник Дона. 2014. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2491

2. Волкомирская Л.Б., и др. Пространственное исследование формирования поверхности скольжения оползня методом сверхширокополосной радиолокации и оценка объема перекрывающей толщии пород // Инженерный вестник Дона. 2016. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3567

3. Петров Н.Ф. Оползни правобережья р. Волга у монумента Славы в г. Чебоксары, их устойчивость и методы стабилизации // Современные географические, геологические и экологические исследования. Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2007. с. 38-77.

4. Сольский С.В., Быковская С.А. Оптимизация стабилизации оползнеопасных склонов // Вестник МГСУ. 2019. Том 14. №10. с. 1258-1271.

5. Prancevic J.P., et al. Decreasing Landslide Erosion on Steeper Slopes in Soil-Mantled Landscapes // Geophysical Research Letters. 2020. Volume 47, Issue10. URL: agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2020GL087505

6. Schultz C. Subsurface structure affects landslide susceptibility. Eos, Transactions American Geophysical Union, 92(50), pp.476-476.

7. Rizwan H., et al. Numerical simulation of roof bolt system during depillaring operation in bord and pillar panel // Recent Advances in Rock Engineering (RARE 2016). Paris: Atlantis Press, 2016. pp.69-73.

8. Цеев З.Р., Ахмедов С.Ш., Лейер Д.В. Численное моделирование поверхности скольжения на активных оползневых склонах // Научное обеспечение агропромышленного комплекса – сборник статей по материалам X Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 120-летию И. С. Косенко. Ответственный за выпуск А. Г. Коцаев. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2017. с. 1184-1185.

9. Лавыгин Д.С., Леонтьев В.Л. Алгоритм смешанного метода конечных элементов решения задач теории стержней // Инженерный вестник Дона. 2013. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1910

10. Вознесенский Е.А., Гишкелюк И.А. Компьютерное моделирование диагностики анкерной крепи // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. №11. с. 99-103.

References

1. Mihajlin A.A., Filonov S.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2014. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2491

2. Volkomirskaja L.B., et al. Inzhenernyj vestnik Dona. 2016. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3567

3. Petrov N.F. Opolzni pravoberezh'ja r. Volga u monumenta Slavy v g. Cheboksary, ih ustojchivost' i metody stabilizacii. [Landslides on the right bank of the river. Volga at the Monument of Glory in Cheboksary, their stability and stabilization methods]. *Sovremennye geograficheskie, geologicheskie i jekologicheskie issledovanija*. Cheboksary: Chuvashskij gosudarstvennyj universitet imeni I.N. Ulianova, 2007. pp.38-77.
4. Sol'skij S.V., Bykovskaja S.A. *Vestnik MGSU*. Volume 14. №10. pp. 1258-1271.
5. Prancevic J.P., et al. *Geophysical Research Letters*. 2020. Volume 47, Issue10. URL: agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2020GL087505
6. Schultz C. Subsurface structure affects landslide susceptibility. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 92(50), pp.476-476.
7. Rizwan H., et al. *Recent Advances in Rock Engineering (RARE 2016)*. Paris: Atlantis Press, 2016. pp.69-73.
8. Ceev Z.R., Ahmedov S. Sh., Lejer D.V. Chislennoe modelirovanie poverhnosti skol'zhenija na aktivnyh opolznevnyh sklonah [Numerical modeling of the sliding surface on active landslides]. *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa – sbornik statej po materialam H Vserossijskoj konferencii molodyh uchenyh, posvjashhennoj 120-letiju I. S. Kosenko*. Otvetstvennyj za vypusk A. G. Koshhaev. Krasnodar: Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni I.T. Trubilina, 2017. pp. 1184-1185.
9. Lavygin D.S., Leont'ev V.L. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2013. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1910
10. Voznesenskij E.A., Gishkeljuk I.A. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'*. 2008. №11. pp. 99-103.