

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОТИВООПОЛЗНЕВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ УСТУПОВ И БОРТОВ КАРЬЕРОВ

А.С. Ковров, Национальный горный университет, Украина

Рассмотрены теоретические и прикладные аспекты обеспечения противооползневой устойчивости откосов уступов и бортов карьеров. В работе проанализированы причины возникновения деформаций карьерных откосов, а также инженерные способы противооползневой защиты.

Введение. При открытой разработке месторождений имеют место разнообразные деформации бортов карьеров и отвалов в виде оползней, обрушений и обвалов, осыпей и оплывин, просадок. Наиболее опасными и масштабными нарушениями карьерных откосов являются оползни, которые по объемам достигают от десятков тысяч до миллионов кубических метров вскрышных пород. Формы поверхности скольжения и их расположение в массиве зависят от физико-географических и геологических факторов, физико-механических свойств вмещающих горных пород, геометрических параметров откосов, технологии открытых горных работ и других факторов [1].

Современные карьеры требуют углубленного изучения и надежного обоснования параметров устойчивых откосов уступов и бортов, ведения заоткосных работ на проектных контурах, а также постоянного инструментального контроля за происходящими в прибортовых массивах геомеханическими процессами с целью своевременного прогноза различного рода деформаций. Увеличение глубины и объемов ведения открытых горных работ, ухудшение геологических и горнотехнических условий разработки месторождений определяют качественно новый подход к обеспечению устойчивости карьерных откосов [2].

Формулировка целей. Оползневые процессы являются широко распространенным экзогенным геологическим процессом, развитие которого обусловлено действием как природных, так и антропогенных факторов. В естественных условиях оползни наиболее часто наблюдаются на склонах вдоль берегов рек, в балочно-овражных ландшафтных системах, и других понижениях местности с выходом на поверхность грунтовых вод, представляя собой одну из форм природного стихийного бедствия. В искусственных (или техногенных) условиях оползни возникают при формировании выемок грунта или породы при открытой разработке месторождений полезных ископаемых, а также в процессе строительства промышленных и гражданских объектов, представляя собой фактор опасности и нарушения устойчивости объекта строительства.

На карьерах оползневые явления возникают на участках откосов вследствие нарушения равновесия пород, вызванного увеличением крутизны склона, ослаблением прочности пород при выветривании или переувлажнении осадками и подземными водами, воздействием сейсмических толчков, а также строительной деятельностью без учета геологических и гидрогеологических условий. Развитию оползней способствуют наклон инженерно-геологических слоев в сторону уклона, трещины или неоднородности в породах, направленные также в сторону уклона. Для борьбы с оползнями применяются укрепительные и дренажные сооружения, закрепления откосов сваями, насаждениями растительности и т.д.

Целью данной работы является анализ инженерных способов противооползневой защиты на карьерах.

Проблема деформаций и устойчивости карьерных откосов. Современное состояние изученности проблемы устойчивости карьерных откосов. Многие открытые горные разработки сопровождаются деформациями прибортовых массивов. Деформационные процессы представляют собой продолжительные по времени последовательные события, начиная от их возникновения и кончая оползневыми явлениями. В любом случае

деформации карьерных откосов снижают основные преимущества открытых работ, наносят значительный материальный ущерб горному предприятию, нарушая правильное и безопасное ведение горных работ, вызывая потери полезного ископаемого. Поэтому проблема обеспечения устойчивости карьерных откосов является одной из важнейших в горном деле. Для решения этой проблемы необходимо изучить причины деформаций прибортовых массивов и всё разнообразие их проявлений.

Согласно многочисленным исследованиям [3] все явления деформации откосов уступов, бортов карьеров и отвалов можно обобщенно разделить на пять видов: осыпи, обрушения, оползни, просадки и оплывины (рис. 1). В свою очередь, выделенные виды деформаций прибортовых массивов на карьерах имеют много разновидностей, проявляющихся в различных горно-геологических условиях.

Причинами появления деформаций являются: несоответствие углов наклона карьерных откосов геологическим условиям или недостаточная изученность этих условий (структурно-тектонические особенности горного массива и его физико-механические свойства); отсутствие дренажа или его неэффективность; неправильное ведение горных работ (например, буровзрывных); неправильное представление о характере деформационного явления, его недооценка; применение неправильного метода расчета параметров откоса и оценки его устойчивости.

При выемке экскаватором типа прямой механической лопаты очередной заходки в слабых породах откосы уступов высотой 10–15 м имеют вогнутую форму (рис. 2,а), так как угол наклона откосов больше угла естественного откоса (раздробленных пород), то с течением времени происходит постепенное разрушение верхней части уступа под влиянием высыхания пород и у его подошвы накапливается *осыпь* с углом наклона 34–36°. Процесс разрушения и осыпания крутой части откоса завершится после того, как развитие осыпи достигнет верхней бровки откоса.

При производстве массовых взрывов в вертикальных скважинах большого диаметра происходит интенсивное дробление пород за контуром выемки, которое приводит к массовому развитию осыпей. После выемки экскаватором взорванной горной массы в уступах остаются породы, сохранившие не более 20–25 процентов естественной прочности массива. С течением времени откосы уступов таких пород разрушаются, то есть интенсивно осыпаются.

Как и в первом, так и во втором случае оставляемые между уступами предохранительные бермы частично покрываются осыпью вышележащего уступа или частично разрушаются. В результате борт карьера на отдельных участках приобретает вид сплошного откоса большой высоты, работа под которым становится опасной.

На карьерах *обрушения* откосов большей частью происходят по поверхностям ослабления естественного происхождения, к которым относятся тектонические нарушения, контакты слоев, трещины отдельности большого протяжения, сланцеватость, падающие в сторону выемки. Как и при осыпях, обрушения приводят к образованию сплошных откосов. Однако, в отличие от постепенного увеличения объемов осыпей на бермах, возникновение обрушений, длящихся несколько секунд, оказывается неожиданным и проявляется катастрофически.

Оползни, например, слабифильтрующих пород (суглинки, глины, слабые алевролиты) могут возникать при наличии вблизи от откосов водосточных канав или впадин, в которых скапливается влага (дождевые и талые воды). Проникающая в массив вода не высачивается в откосе, а увеличивает водонасыщенность пород вплоть до их полного насыщения и набухания до текущего состояния.

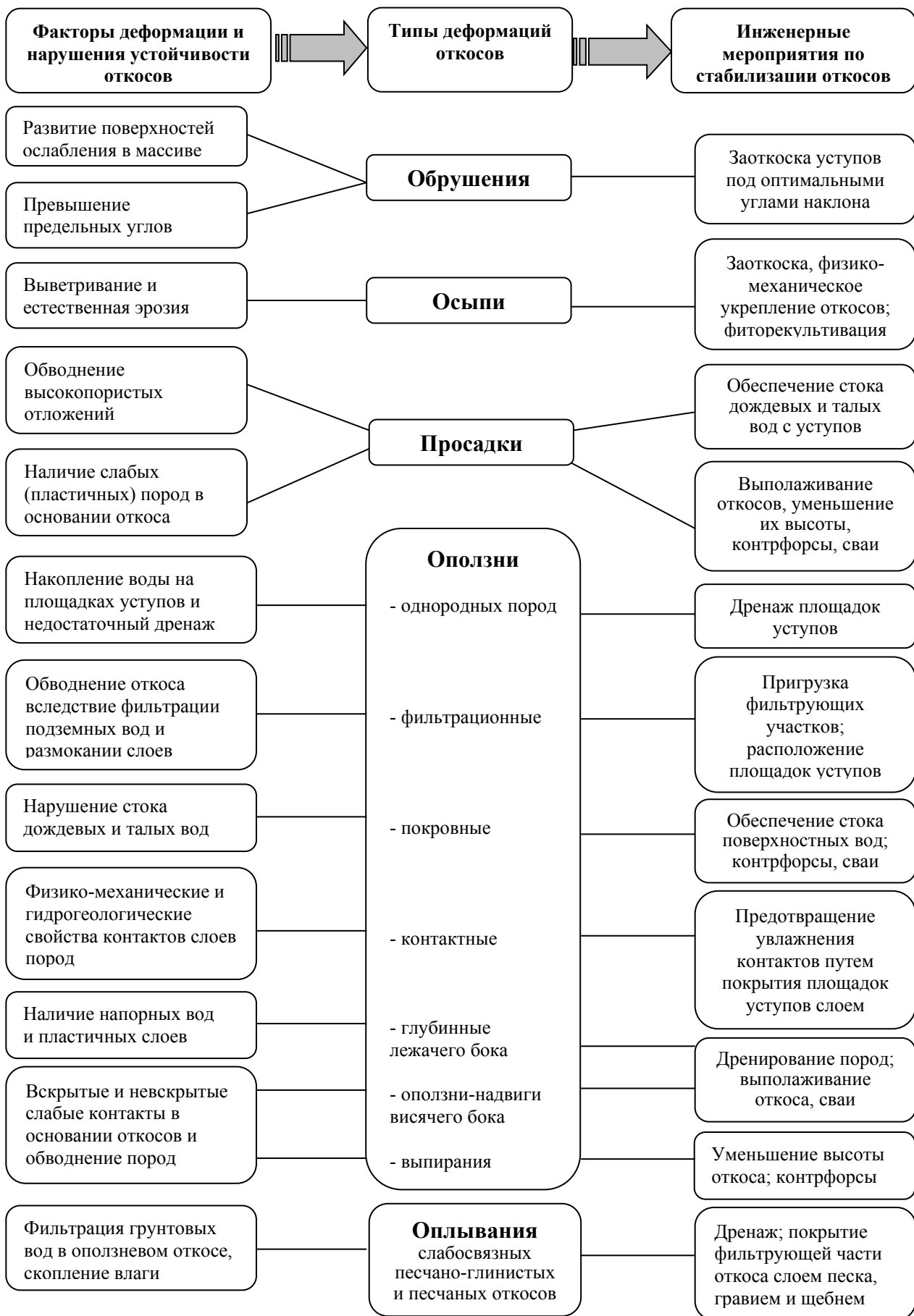


Рис. 1. Типы деформаций карьерных откосов, сложенных слабыми глинистыми, песчано-глинистыми и песчаными породами и противооползневые мероприятия

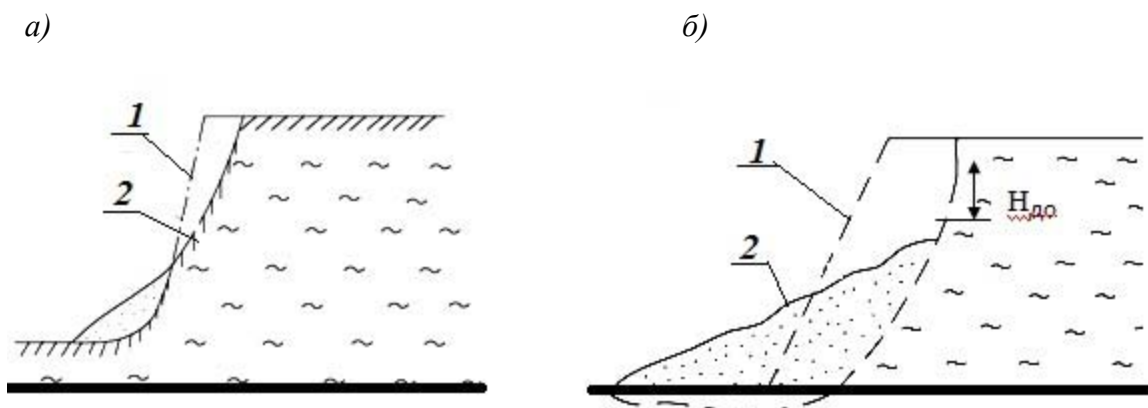


Рис. 2. Деформации откосов уступов на карьерах:

а) откос уступа в глинках и суглинках; б) откос уступа в глинистых породах: 1 – положение откоса после выемки экскаватором; 2 – после образования осыпи (оползня)

Оползание массива происходит по поверхности скольжения в виде плавной кривой в нижней и средней части, а вверху заканчивающейся вертикальной трещиной отрыва глубиной H_{90} (рис. 2, б).

При этом сползший блок обычно полностью разрыхляется и приобретает еще большую способность к поглощению воды. Разрыхленные и насыщенные водой глинистые породы приобретают свойства грунтовой пасты, располагающейся на площадках уступов под углом 12-14°, а при дальнейшем насыщении водой оползневая масса может перейти в оплывину.

Ширина по фронту откоса одновременно оползающего блока зависит от пластичности глин и высоты откоса – чем выше эти параметры, тем больше ширина.

Просадки как вид деформации прибортовых массивов характерны, например, для долговременных отвалов глинистых пород. По мере наращивания высоты отвала увеличивается давление на отдельные куски глинистых пород в нижнем и среднем слое. Наиболее слабые из них разрушаются и заполняются макропоры, приводя к уплотнению отвальной массив и его просадкам. Этот процесс прогрессирует при увлажнении рыхлых пород. Просадки довольно часто являются начальной стадией образования оползней, если в основании отвалов залегают слабые пластичные глинистые породы.

В целом практически на каждом карьере можно встретить наличие осыпей, присущих всем откосам, сложенных различными типами пород. Откосы, сложенные скальными и полускальными породами, подвержены локальным обрушениям, представленным в виде клиньев, пирамид и т.п.

Откосы, сложенные глинистыми породами, при подпитке их различными водами способствуют локальным оползням. Основные просадки наблюдаются при отсыпке отвалов на слабые глинистые основания. Реже встречаются откосы, представленные в виде *оплывин*. Они характерны для глинистых пород, насыщенных водой.

В некоторых случаях невозможно ликвидировать основную причину деформации (например, осыпеобразования, локальные обрушения), и тогда становится более выгодным уменьшать последствия систематически или постоянно (производить зачистки берм по мере накопления осыпей, устанавливая заградительные стенки, применять искусственное укрепление ослабленных участков массивов, создавать контрфорсы и др.).

Во многих же случаях, при достаточной изученности структурных особенностей прибортовых массивов, их физико-механических свойств, обводненности, необходимо разработать мероприятия по управлению устойчивостью карьерных откосов. Такими мероприятиями могут быть: эффективное осушение прибортовых массивов; разворот откосов в плане относительно выявленных неблагоприятно залегающих поверхностей ослабления; разработка обоснованной технологии ведения буровзрывных работ при постановке уступов на проектный контур, управляемое обрушение уступов скальных пород и создание искусственных оползней глинистых пород; обоснование размера

предохранительной площадки при отсыпке отвалов и др. [2].

Мероприятия по обеспечению устойчивости откосов, сложенных мягкими породами.

При открытой разработке месторождений полезных ископаемых основными направлениями обеспечения устойчивости откосов, сложенных мягкими породами, являются управление геометрическими параметрами, снижение водообильности породного массива, а также применение разнообразных инженерных методов укрепления откосов. Их комбинированное применение позволяет локализовать и предупредить деформации породного массива, обеспечить нормальные условия работы в карьере, сократить объемы вскрыши за счет более крутых углов наклона стационарных уступов и бортов карьеров.

В настоящее время наиболее распространенными способами предотвращения деформаций откосов уступов и отвалов являются инженерные мероприятия, связанные с выполаживанием откосов и снижением их высоты, дренажем, управлением процессами поверхностной эрозии, созданием контрфорсов и упорных призм, укреплением откосов верхних горизонтов с помощью железобетонных свай и др.

На рис. 1 приведены традиционные способы управления долговременной устойчивостью откосов на карьерах в зависимости от типа деформаций прибортового массива пород согласно классификации Г.Л. Фисенко [3].

Геометрические параметры уступов. Управление высотой и углом наклона откоса уступа является одним из первых мероприятий, способствующих предотвращению развития деформаций бортов карьеров. Однако вследствие трещиноватости пород и изменчивых физико-механических характеристик в конкретных климатических и технологических условиях откосы уступов подвергаются интенсивным осыпанию и оползням. В откосах, сложенных крепкими скальными породами, углы наклона могут достигать 90° . Их устойчивость зависит преимущественно от трещиноватости массива и технологии ведения горных работ.

Необходимые уступы, сложенные суглинками и глинами разного состава, сохраняют устойчивость в течение длительного времени при углах $35\text{--}40^\circ$, а сложенные плотными глинами – при $45\text{--}50^\circ$. Их устойчивость зависит в основном от показателей угла внутреннего трения, сцепления и обводненности пород. Углы откосов уступов, сложенных склонными к набуханию глинистыми породами, обычно рассчитываются по предельному равновесию с коэффициентом запаса 1,5–2. Фильтрующие откосы песчаных глин и глинистых песков склонны к оплыванию и для обеспечения устойчивости их необходимо покрывать слоем в 1,5–2 м песчано-гравийного материала, придавая им на участке высачивания угол в $20\text{--}25^\circ$. Песчано-гравийные отложения длительное время сохраняют устойчивость при углах естественного откоса $36\text{--}38^\circ$, а при наличии глинистого материала – $40\text{--}45^\circ$ [3].

Вышеприведенные величины углов откосов рабочих и нерабочих уступов рекомендуются высотой 15–20 м. При этом углы откосов при сдваивании уступов рыхлых пород необходимо рассчитывать по условию предельного равновесия, с коэффициентом запаса 1,3–1,5.

В работе [4] приведены параметры расчета устойчивого откоса, сложенного однородным суглинком, в зависимости от его геометрии. Расчет откоса выполнялся для условий Мотроновско-Анновского участка Малышевского месторождения (г. Вольногорск, Украина) посредством численного моделирования в Phase2 с использованием критерия Мора-Кулона. Для однородного откоса, сложенного суглинком, приняты следующие физико-механические характеристики пород: удельный вес $-17,64 \text{ кН/м}^3$, сцепление – 40 кПа, угол внутреннего трения – 21° . Алгоритм снижения прочности на сдвиг интегрированный в Phase2, позволяет выполнять конечно-элементный анализ и вычислять критический коэффициент снижения прочности КСП (SRF, Strength Reduction Factor) для выбранной модели, который по своему смыслу эквивалентен коэффициенту запаса устойчивости откоса.

Как показано на рис. 3, при заданных физико-механических характеристиках породного массива представляется возможным определить наиболее целесообразные геометрические параметры откоса, варьируя значениями высоты откоса (от 15 до 40 м) и угла наклона (от 30° до 70°) для обеспечения безопасности технологии открытых горных работ.

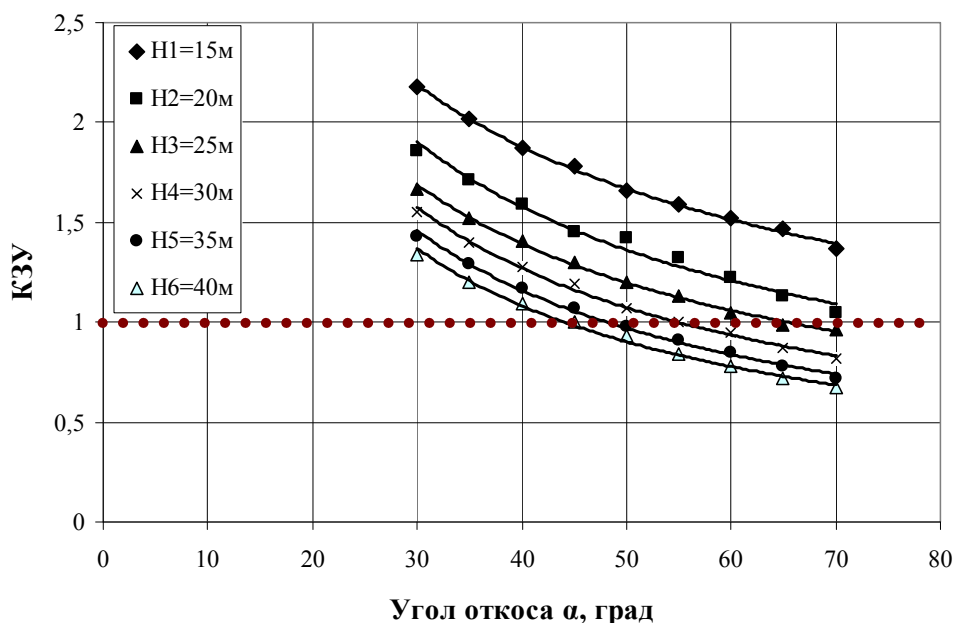


Рис. 3. Зависимость устойчивости откоса от геометрических параметров

Укрепление песчаных и песчано-глинистых откосов пригрузками. Фильтрующие постоянные песчаные откосы (откосы траншей и нерабочих уступов) для предотвращения оплывания пригружают гравийной призмой треугольного сечения, параметры которой зависят от коэффициента фильтрации водоносного слоя K_f , удельного расхода q и от заложения откоса в пределах промежутка высачивания m . Высота пригрузки должна быть несколько больше высоты промежутка высачивания h_v , определяемого по формуле [5]

$$h_e = (m + 0.5) \frac{q}{K_f}. \quad (1)$$

Ширина основания гравийной призмы a определяется по формуле

$$a = \frac{h_e}{A} \left(\frac{\bar{a}}{2\gamma_{np} A} + \frac{K_f}{K_{np}} \right), \quad (2)$$

где

$$A = \sin \alpha \left(1 - \frac{K_f}{K_{np}} \cos \alpha \right); \quad (3)$$

где K_f и K_{np} – коэффициенты фильтрации грунта и материала пригрузки; α – угол откоса без пригрузки; γ_{np} – объемный вес материала пригрузки; ρ – угол внутреннего трения грунта. Вспомогательная величина \bar{a} определяется по графику (рис. 4) [3].

График, рассчитанный В. А. Мироненко, подобен графику В.М. Шестакова [6], по которому определяются параметры пригрузочной призмы четырехугольного сечения. При треугольном сечении призмы расход гравия сокращается вдвое.

Фильтрующие откосы песчаных глин, суглинков, и глинистых песков для предотвращения набухания и оплывания пригружают слоем чистых песков, гравия или щебня. При угле фильтрующего песчано-глинистого откоса в 25° достаточная мощность пригрузки внизу откоса составляет 2–2,5 м (рис. 5).

В тех случаях, когда угол наклона борта по расчету общей устойчивости может достигать 32 – 35° и более, песчаные откосы целесообразно укреплять путем цементации через скважины с тем, чтобы была обеспечена их устойчивость под углом не менее 40° .

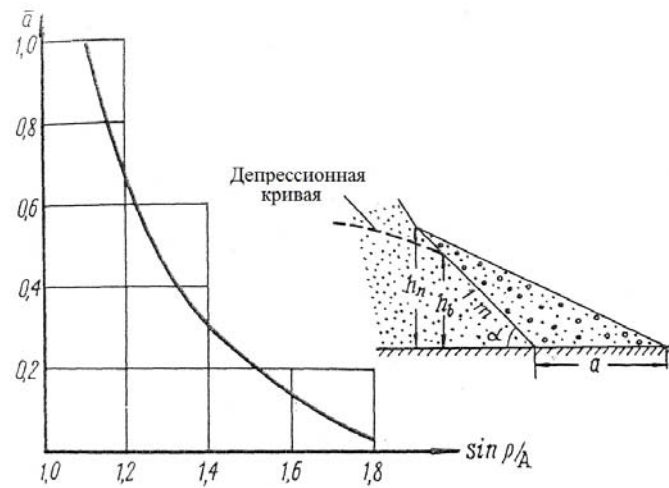


Рис. 4. Вспомогательный график и схема пригрузки откоса



Рис. 5. Виды пригрузок песчано-глинистых откосов

Предотвращение контактных оползней откосов однородных песчано-глинистых пород может быть осуществлено покрытием площадок уступов слоем жирных глин мощностью 30–40 см; таким же путем могут быть защищены уступы высокопористых пород от просадок. Площадки в этих случаях должны быть спланированы и иметь водосточные каналы.

В работе [7] показано эффективное использование суглинков и рыхлых пород скальной вскрыши в качестве пригрузок (рис. 6) для стабилизации оползневых откосов путепровода циклично-поточной технологии (ЦПТ) в Первомайском карьере СевГОКа (Украина).

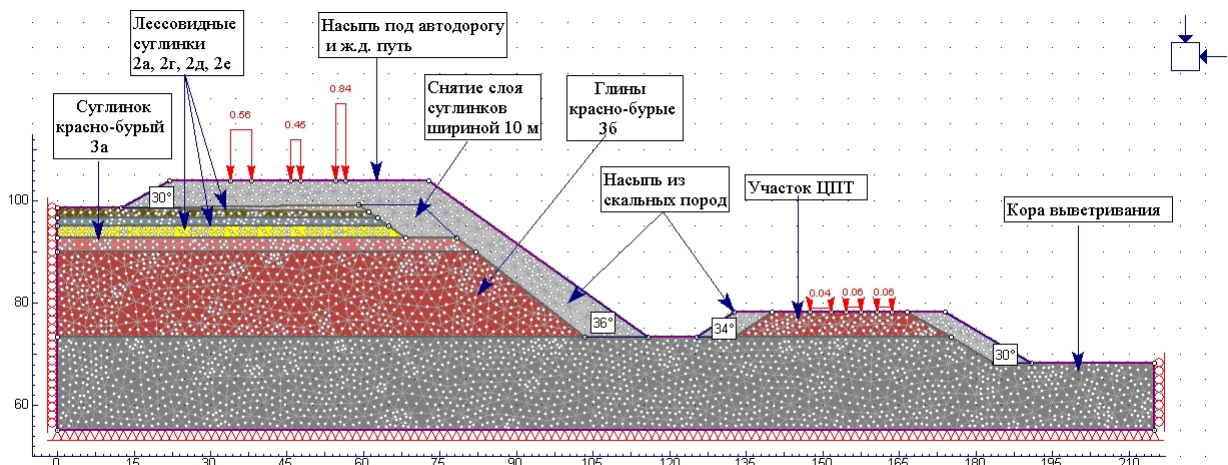


Рис. 6. Применение пригрузок для стабилизации оползневых откосов путепровода ЦПТ

Для устранения влияния динамических нагрузок от горнотранспортного оборудования и конвейеров на участке насыпи ЦПТ выполнено снятие слоя красно-бурых глин до коры выветривания с последующей пригрузкой откоса. Несмотря на сильные деформации в массиве пород обусловленные просадочными свойствами суглинков и внешними нагрузками, устойчивость путепровода обеспечена ($KЗУ = 5,51$).

Устройство контрфорсов из твердых пород у основания покровных оползней является недорогим и эффективным мероприятием (рис. 7) для стабилизации откосов уступов или отвалов.

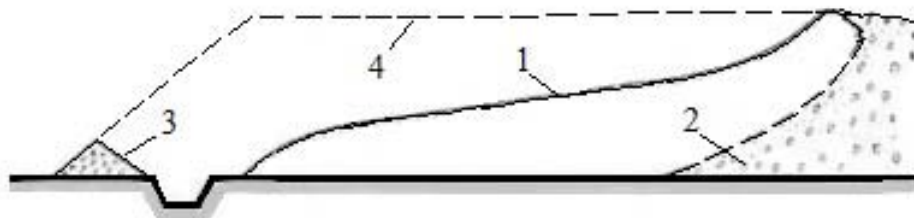


Рис. 7. Устройство контрфорса из крепких твердых пород перед надподошвенным оползнем отвала [3]: 1 – поверхность оползающего отвала; 2 – поверхность скольжения; 3 – вал крепких пород; 4 – поверхность отвала после остановки оползня отвала

Устройством контрфорса (вала) из твердых пород можно остановить движение надподошвенных оползней. В работе [7] выполнено численное моделирование геомеханических и гидрогеологических процессов, происходящих в насыпном массиве при сооружении насыпи для конвейеров циклично-поточной технологии (ЦПТ) скальных пород вскрыши в Первомайском карьере СевГОКа (Украина). На основании результатов моделирования разработаны противооползневые мероприятия для обеспечения стабильной эксплуатации комплекса ЦПТ, обеспечивающие устойчивость откосов насыпи и борта карьера. Сооружение контрфорсов и упорных призм и пригрузок из скальных пород вскрыши для укрепления откосов путепровода ЦПТ, сложенных суглинками, позволило эффективно устранить оползневые процессы (рис. 8).

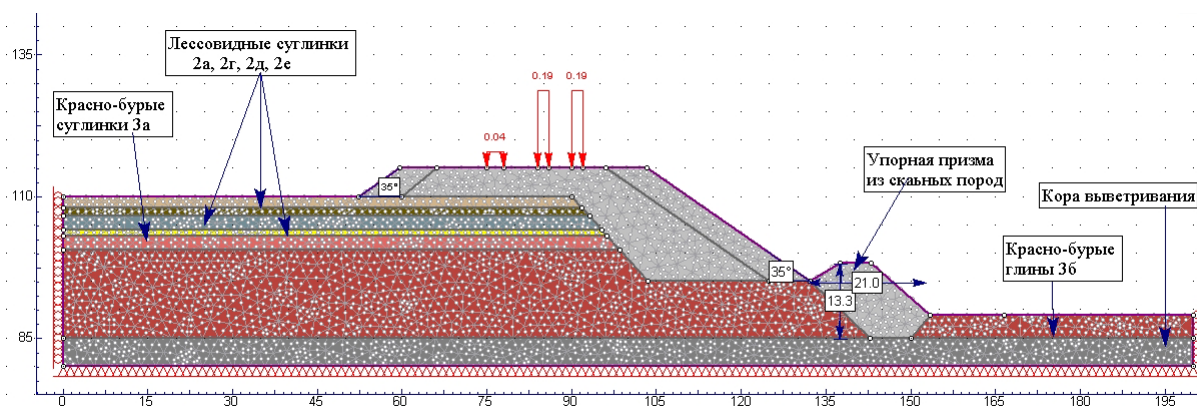


Рис. 8. Создание в коренных породах упорной призмы из скальных пород

Закрепление откоса позволило значительно повысить его устойчивость ($KЗУ = 5,44$).

Фиторекультивация нерабочих бортов карьеров древесно-кустарниковой растительностью. Наличие древесно-кустарниковой растительности на склонах является важным противоэрозионным и противооползневым мероприятием, завершающим этапом биологической рекультивации нарушенных земель, обеспечивающим их устойчивость, как в геотехническом, так и в экологическом контексте. Так, например, полная фиторекультивация нерабочего борта на одном из крупнейших бурогольных разрезов «Хамбах» (Рейн-Вестфальский бурогольный бассейн, Германия) обеспечило не только защиту от масштабных оползневых явлений, а также создало предпосылки для восстановления естественной природной среды. В работе [8] выполнена оценка армирующих свойств

корневых систем древесно-кустарниковой растительности на откосе (склоне). В предложенной геомеханической модели откоса корневые системы деревьев и кустарников представлены в виде своеобразных анкеров (фитоанкеров) морфологически подобными натурным объектам.

Показано, что эрозионные процессы и деформации практически отсутствуют в откосах с уклоном до 40° и покрытии растительностью более 70%. В зависимости от густоты фитоценоза, в корневой зоне формируется характерная фитоанкерная структура, позволяющая связывать грунт в единый монолит (рис. 9,а).

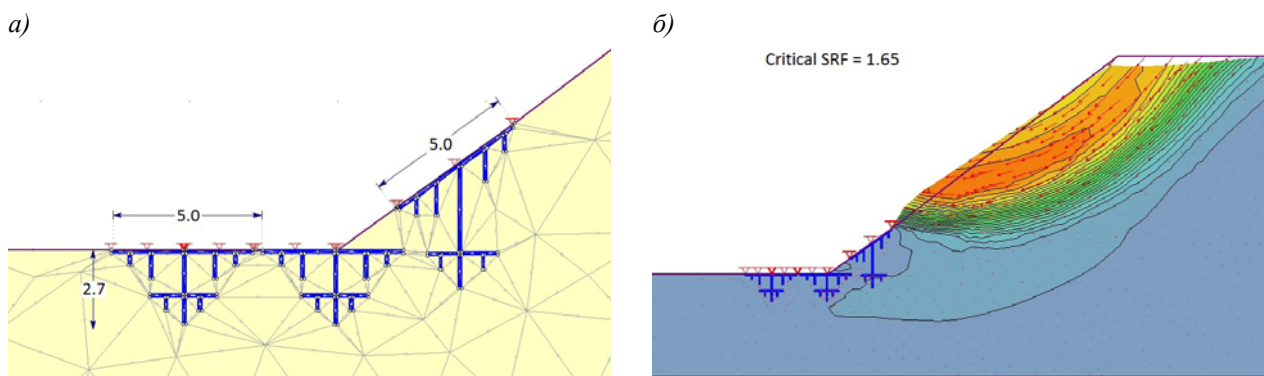


Рис. 9. Закрепление откоса древесной растительностью:
а) геометрические параметры фитоанкеров; б) сдвиговые деформации в откосе

В данном случае устойчивость откоса обуславливается не только физико-механическими характеристиками грунта, влиянием внешних факторов, но и армирующими свойствами корней древесной растительности на поверхности. Согласно классическим представлениям о процессе развития деформаций в откосе и его обрушении (оползании), потенциальная поверхность скольжения возникает в верхней части откоса в виде заколов и распространяется в массиве и выходит у нижней бровки.

В гипотетической модели откоса с учетом армирующих свойств корневых систем деревьев принята схема посадки деревьев в три ряда: средний ряд – у основания нижней бровки откоса, а два остальных ряда – на расстоянии $l = 4 \dots 5$ м от среднего ряда (рис. 9,б). При этом, один ряд деревьев следует высаживать непосредственно на откосе. В модели принимается среднее расстояние горизонтального распространения корней до 5 м.

Согласно результатам расчетов устойчивость откоса, закрепленного древесной растительностью, увеличилась на 44,7% ($KЗУ = 1,65$) по сравнению с незакрепленным. Круглоцилиндрическая поверхность скольжения является менее выраженной, а нижняя ее часть не распространяется в области нижней бровки. При вариациях высоты гипотетического откоса $H = 15-40$ м и угла наклона $\alpha = 30-70^\circ$ его устойчивость повышается на 8...26%.

Выводы.

В работе проанализированы причины возникновения деформаций откосов уступов и бортов карьеров, а также инженерные способы противооползневой защиты. В настоящее время наиболее распространенными способами предотвращения деформаций откосов уступов и отвалов являются инженерные мероприятия, связанные с выполаживанием откосов и снижением их высоты, дренажем, управлением процессами поверхностной эрозии, созданием контрфорсов и упорных призм, укреплением откосов верхних горизонтов с помощью железобетонных свай и др.

Управление высотой и углом наклона откоса уступа является ключевым мероприятием, способствующем предотвращению развития деформаций бортов карьеров.

Предотвращение контактных оползней откосов однородных песчано-глинистых пород может быть осуществлено покрытием площадок уступов и откосов пригрузками из суглинков и рыхлых пород скальной вскрыши, а также созданием контрфорсов.

Создание древесно-кустарниковой растительности на откосах можно рассматривать

инженерный способ защиты от эрозии, а также как противооползневое мероприятие, способствующее стабилизации откоса или нерабочего борта в долгосрочной перспективе.

Список литературы

1. Ковров А.С. Моделирование устойчивости борта карьера методом конечных элементов / А.С. Ковров // Форум гірників–2010: Матеріали міжнар. конф. 21–23 жовт. 2010 р.: доп. – Д.: Національний гірничий університет, 2010. – Т.2. – С. 94–102.
2. Нурпеисова М.Б., Ковров А.С. Управление устойчивостью карьерных откосов: монография / М-во образования и науки Украины; Нац. горн. ун-т. М-во образования и науки Республики Казахстан; Каз. нац. исслед. техн. ун-т. – Д.: Литограф, 2016. – 363 с.
3. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М., 1965. – 378 с.
4. Ковров А.С. Моделирование устойчивости борта карьера методом конечных элементов / А.С. Ковров // Форум гірників–2010: Матеріали міжнар. конф. 21–23 жовт. 2010 р.: доп. – Д.: Національний гірничий університет, 2010. – Т.2. – С. 94-102.
5. Воробков Л.Н., Шестаков В. М. и др. Водопонижение в гидротехническом строительстве. Госстройиздат. 1960, 312 с.
6. Шестаков В. М., Кузнецова Н. Л. Фильтрационная устойчивость песчаных откосов. Труды института ВОД ГЕО, 1958, 237 с.
7. Ракишев Б.Р., Ковров А.С., Молдабаев С.К., Бабий Е.В. Обеспечение геомеханической устойчивости насыпей для конвейеров при циклично-поточной технологии / Вестник НАН Республики Казахстан, Т.2. – №360 (2016). – С. 103-110.
8. Ракишев Б.Р., Ковров А.С., Федотов В.В. Геомеханическая оценка армирующих свойств корневых систем древесной растительности на склонах и техногенных откосах / Журнал «Разработка месторождений полезных ископаемых». – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2015. – С. 355–362.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЫБРОСОПАСНЫХ ЗОН НА УГОЛЬНОМ ПЛАСТЕ d_4 ШУ «ПОКРОВСКОЕ» ПО ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ УКЛОНОВ

*С.П. Минеев, Р.А. Дякун, А.А. Кострица, Институт геотехнической механики
им.Н.С. Полякова НАН Украины, Украина
А.С. Янжула, М.А. Кишкань, А.А. Гулай, ШУ «Покровское», Украина*

Приведены результаты исследований физико-механических характеристик угля пласта d_4 обрабатываемого на ШУ «Покровское» и выявлены потенциально выбросоопасные зоны 12 южной лавы блока № 10.

В настоящее время одной из причин неудовлетворительной работы угледобывающей отрасли является недостаточное развитие либо недостаточный учет имеющейся информации о данных горно-геологических условий отработки выбросоопасных угольных пластов на больших глубинах в тектонически нарушенном углепородном массиве. Целью данной работы является определение потенциально выбросоопасных зон и опасных по внезапным выделениям метана из угля и вмещающих угольный пласт пород и спутников-пластов, при отработке угольного пласта d_4 12 южной лавы блока №10 ШУ «Покровское».

Угольный пласт d_4 в рассматриваемых условиях широко пересечен малоамплитудными геологическими нарушениями. Основой для проведения данных исследований стала методика определения техногенных зон методом удельной изменчивости уклонов [1-4], а исходной информацией для проведения исследований служили данные маркшейдерских замеров высотных отметок почвы угольного пласту d_4 , выполненные через 20м по 11 и 12