Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института имени Г.В.Плеханова,
1989. Т.118

УДК 624.131.1:622.03

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРА СЕВЕРО-ОНЕЖСКОГО РУДНИКА

А.Е.ШЕВЧЕНКО

В настоящее время в Северо-Онежском районе открытым способом ведется отработка западной части Иксинского месторождения бокситов. Породы вскрыши здесь представлены четвертичными, песчано-глинистыми образованиями. Общая мощность пород, перекрывающих бокситы, достигает 45 м. Экономичность отработки этой части месторождения во многом определяется параметрами нерабочих бортов добычного карьера.

За период строительства и эксплуатации карьера был накоплен большой фактический материал, который позволяет пересмотреть проектные решения относительно конструкции и общего генерального заложения нерабочего борта.

Многолетние наблюдения за устойчивостью пород в откосах карьера, изучение состава, состояния и свойств пород, вскрытых горными выработками, а также использование специальной программы по прогнозу оползневых деформаций откосов позволили дать инженерно-геологическое обоснование устойчивости нерабочих бортов, и на этой основе скорректировать их параметры, что обеспечит наименьшую выемку пород вскрыши на предельном контуре при гарантии длительной устойчивости отстроеных здесь откосов.

Рабочий борт карьера, в пределах которого будет вестись отработка пород вскрыши и добыча бокситов, формируется значительно более пологим, что связано с необходимостью создания в его пределах широких рабочих и транспортных берм. Это исключает необходимость строгой оценки общей устойчивости рабочего борта карьера.

На участке ведения горных работ глубина карьера составляет 51 м. Разработка ведется в четыре уступа: три по вскрыше и один по полезному ископаемому.

Анализ условий, в которых предстоит отстройка нерабочих бортов карьера, показал, что прогноз устойчивости отдельных уступов, и всего борта карьера потребует решения задач с достаточно сложными расчетными схемами, так как поверхность часто имеет неправильные очертания, геологическое строение их откосов неоднородно и характеризуется чередованием горизон-

тально залегающих слоев пород, иногда водоносных и имеющих различные физико-механические свойства. В основании откосов к контактам пород отдельных горизонтов часто приурочены поверхности ослабления.

Для получения достоверных решений в таких условиях была разработана специальная программа. Описание расчетной схемы в каждом случае задается исходными данными, алгоритм расчета остается постоянным. В ходе расчета осуществляется поиск наиболее опасной поверхности скольжения. Криволинейная часть поверхности скольжения до сочленения со слабым контактом принята круглоцилиндрической. Определение суммы сдвигающих и удерживающих сил по заданной поверхности скольжения осуществляется алгебраическим их сложением. При захвате поверхностью скольжения слабого контакта реализуется комбинированный метод.

Учитывая, что общее генеральное заложение борта определяется параметрами его элементов, первоначально была определена допустимая для нерабочего борта величина заложения откосов уступов.

Выбор коэффициента запаса для них проводился параллельно с оценкой устойчивости. Наблюдения за устойчивостью откосов в глинистых породах показали, что с течением времени их устойчивость падает и возможны оползневые подвижки. По многочисленным наблюдениям на карьерах они проявляются в течение первых шести месяцев.[x]

Развитие таких деформаций связано с тем, что под длительным воздействием касательных напряжений породы могут проявлять меньшую прочность, чем при быстром приложении сдвигающей нагрузки. Длительное сопротивление сдвигу близко по величине сдвигающему напряжению, вызывающему в породах при быстром сдвиге пластические (нелинейные) деформации. Чем больше нормальная нагрузка, тем большим должно быть значение коэффициента запаса для того, чтобы предотвратить их развитие.

Под коэффициентом запаса понимается отношение максимально возможного сопротивления быстрому сдвигу пород при заданной нормальной нагрузке к величине сдвигающей нагрузки, вызывающей в породе пластичные деформации.

В многослойном откосе развитие подвижек по наиболее вероятной поверхности скольжения определяется общей для откоса величиной коэффициента запаса и сдвиговой деформируемостью пород наиболее прочного слоя. В случае его разрушения определяющую роль в развитии деформаций играет следующий из оставшихся наиболее прочный слой. По мере разрушения пород отдельных горизонтов снижается фактическая величина коэффициента запаса. Такая схема динамики развития оползневого процесса определена В.Д.Ломтадзе как схема многократно повторяющихся подвижек.[xx] До полного обрушения откоса они могут развиваться в течение нескольких лет.

---

[x] Ильин А.И., Гальперин А.М., Стрельцов В.И. Управление долговременной устойчивостью откосов на карьерах. М.: Недра, 1985.

[xx] Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Л.: Недра, 1977.

Для обеспечения длительной устойчивости откосов коэффициент запаса необходимо задавать так, чтобы при максимальном нормальном напряжении по наиболее вероятной поверхности скольжения не возникало очагов пластических деформаций. Его величина должна быть равна соотношению максимального сопротивления сдвигу пород при наибольшем действующем нормальном напряжении в откосе по поверхности скольжения к величине сдвигающих напряжений, вызывающих нелинейные деформации в породах. Причем с ростом нормальных напряжений для предупреждения пластических деформаций необходим больший коэффициент запаса.

Зная изменчивость свойств и характер развития деформаций в породах при сдвиге с различными нормальными напряжениями, можно установить общую величину коэффициента запаса, который будет гарантировать длительную устойчивость откосов.

Установленная величина заложения откосов уступов, а также ширина разделяющих их берм безопасности определяют в целом профиль всего борта.

Окончательно оценку устойчивости борта карьера в целом можно считать обоснованной, если установленное при расчете соотношение удерживающих и сдвигающих сил будет не меньше коэффициента запаса. При несоответствии фактического соотношения сил предельно допустимой величине коэффициента запаса заложение борта карьера потребуется увеличить за счет расширения берм.

На Северо-Онежском бокситовом карьере первый уступ по высоте достигает 14 м. Он сложен в верхней части торфом, озерными и озерно-ледниковыми глинами, а в нижней - моренными суглинками. По результатам расчетов в пределах нерабочего борта карьера откос уступа должен иметь угол заложения 33^0 при $\eta = 1{,}43$. Угол заложения второго уступа, сложенного гравийно-галечниковыми отложениями, также принят равным 33^0 (близким по величине к углу естественного откоса в этих породах), так как при более крутых углах в гравийно-галечниковых отложениях формируются осыпи, перекрывающие прибортовую дренажную систему.

Ширина бермы безопасности между первым и вторым уступом принята минимальной (по нормам проектирования 1/3 высоты уступа, в основании которого она расположена).

Угол заложения третьего уступа высотой 25 м в толще пород нижней морены по результатам расчета составляет 50^0 при $\eta = 1{,}39$. Ширина бермы безопасности между откосами второго и третьего уступов выбрана с тем, чтобы расположенный в основании обводненного гравийно-галечникового откоса водоограждающий вал не попадал в пределы призмы возможного обрушения откоса третьего уступа.

В достаточно прочных бокситовых породах, слагающих нижний, четвертый уступ карьера, откосы могут формироваться под углом $65-70^0$. Ширина бермы между откосом в нижней морене и бокситовых породах может быть принята минимальной (8 м).

Устойчивость борта карьера в целом при такой конструкции и соответствующем генеральном угле заложения 35^0, согласно расчету, обеспечена коэф-

фициентом запаса η = I,39, что соответствует условию, когда водоносный гравийно-галечниковый горизонт практически сдренирован. При повышении уровня подземных вод в этом горизонте η снижается до I,33. Накоплению подземных вод в гравийно-галечниковом горизонте способствует формирование в зимний период наледей на участках высачивания. Весной при оттаивании устраняется барраж из промерзших пород. В пределах призмы возможного обрушения возникают и сохраняются в течение некоторого времени повышенные фильтрационные градиенты. Этот период весьма кратковременен и не превышает одного месяца.

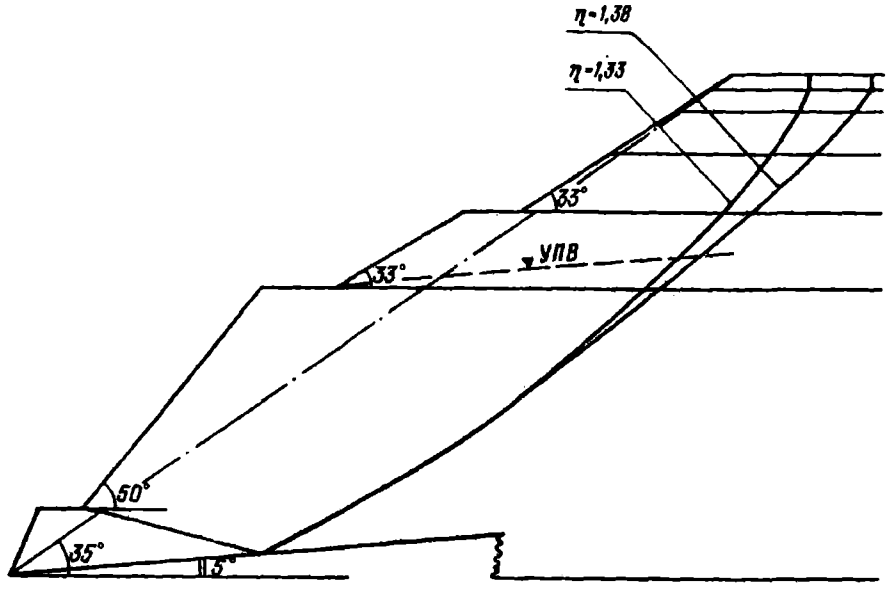
Положение наиболее опасной поверхности скольжения в зависимости от обводненности борта карьера не одинаково (см. рисунок). В нижней части как при максимальном, так и минимальном обводнении она следует по контакту бокситовых пород и подстилающей терригенной толщи. До середины горизонта нижнеморенных отложений поверхности скольжения совпадают. При повышенных фильтрационных градиентах в гравийно-галечниковом горизонте поверхность скольжения проходит несколько выше поверхности скольжения для осушенного борта.

Низкое сопротивление сдвигу по контакту, который захватывается поверхностью скольжения, связано с наличием здесь четко выраженной отдельности, что в основном определило пониженное по этой поверхности сцепление, малое трение обусловлено низким трением в бокситовых породах.

Анализ развития деформаций по поверхности скольжения показал, что наиболее опасно развитие пластических деформаций в нижней части надбокситового горизонта моренных суглинков. Здесь нормальные напряжения по поверхности скольжения будут достигать 0,42 МПа. Развитие нелинейных деформаций в моренных суглинках будет предотвращено при η = I,39. С учетом погрешности определения свойств пород общий коэффициент запаса должен быть не менее η = I,39·I,07 = I,49.

Отстройка нерабочего борта при такой конструкции и общем генеральном заложении 35^0 возможна с пригрузкой его внутренними отвалами. При формировании нерабочих бортов без последующей пригрузки необходимо снижение генерального угла заложения борта до 31^0. В этом случае η = I,49, что обеспечит длительную устойчивость нерабочего борта.

Установленные углы заложения нерабочего борта карьера на участке, где ведутся в настоящее время горные работы, превышают принятый в проекте угол генерального заложения 22^0. Отстройка борта карьера при угле заложения 31^0 (без пригрузки) позволит на каждых I00 м по периметру предельного контура сокращать выемку пород на I00 тыс.м^3. Реализация возможности формирования нерабочего борта при генеральном угле заложения 35^0, т.е. с последующей его пригрузкой, позволит сокращать объем выемки пород на каждых I00 м отстроенного нерабочего борта до I30 тыс.м^3.



Колонка	Возраст	Мощность, м	Породы	c, мПа	φ	γ, т/м³
	tIV	2,0	Торф	0,008	6	1,00
	$l\,IV$	2,0	Глины текучие	0,008	6	1,60
	$lgIII_2^{ms}$	4,0	Глины мягкопластичные	0,02	6	1,90
	$gIII_2^{kl}$	6,0	Суглинки валунные тугопластичные	0,028	24	2,10
	$mIII_2^{m}$	8,0	Гравийно-галечниковые образования	0,04	35	1,66
	gII_2^{ms}	22,0	Суглинки валунные, полутвердые	0,07	26	2,20
	$tl\text{-}al\,C_1v$	7,0	Бокситы каменистые	1,10	15	2,25
				0,05	15	
	D_3h	>40	Глины алевритовые, полутвердые	0,13	28	1,85

Расчетная схема нерабочего борта карьера
УПВ – уровень подземных вод

Выводы

I. Использование традиционных методик для оценки устойчивости откосов со сложным геологическим строением затруднено. Наиболее опасное положение поверхности скольжения определяется многократными достаточно сложными расчетами по отдельным вариантам сдвижения.

2. При выборе коэффициента запаса, определяющего устойчивость откоса, необходимо учитывать особенности напряженного состояния пород в откосе и их деформируемость.

3. Коэффициент запаса устойчивости откоса должен зависеть от его высоты.

4. Если откос подсечен в нижней части слабым контактом, коэффициент запаса должен быть увеличен.