

МЕРЫ, ПРЕДПРИЯТЫЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СИСТЕМЫ ОТКОСОВ В ОТВАЛАХ¹

Докт. инж. ПЕТЕР БИЛЬЦ²

Реферат. В 1962—1965 гг. наблюдались движения грунта и оползни различной интенсивности в системе откосов высотой 60 м, сложенной отвалами покрывающих пород открытых выработок лигнитов. В результате было сильно нарушено движение поездов на различных бермах системы. Основная причина наблюдаемых явлений — поднятие уровня грунтовых вод и связанное с ним изменение консистенции, а следовательно и характеристик сопротивления связных смешанных грунтов отвалов. Достижения в области геологии, гидрогеологии и механики грунтов дали возможность провести расчет устойчивости, который оказался в прекрасном согласии с естественными условиями (последовательность и величина движения). Было также доказано, что чрезмерное поднятие уровня грунтовых вод может быть предотвращено дренажем даже этих связных смешанных грунтов отвалов. Благодаря положительному эффекту проведенных комбинированных земляных работ и дренажа была получена возможность на ограниченный период продолжить эксплуатацию системы откосов, находящихся в состоянии, близком к критическому равновесию.

Введение

В течение 1962—1965 гг. в разработанный карьер лигнитов полуциркулярной в плане формы у гор. Лейпцига (ГДР) отсыпались отвалы. С этой целью была создана система откосов, состоящая из трех горизонтов, железнодорожных путей, соединяющих уступы, и ленточных транспортеров, доставлявших отвалы. Эту систему откосов вначале предполагалось использовать до 1974 г., но позже было решено производить отсыпку в течение более долгого периода, и часть ее находилась в эксплуатации до 1979 г., когда вся территория была засыпана.

Еще в марте 1965 г. были замечены оползни на участке, примыкающем к восточному откосу. В декабре 1965 г. появились трещины в центральной части системы, препятствовавшие движению поездов и в дальнейшем создавшие угрозу общей устойчивости (Bilz, 1973, 1974). Для восстановления и поддержания устойчивости откосов был предпринят ряд мер. Их анализ был дан автором ранее (Bilz, 1973); более полное описание приводится ниже.

Группы отвалов отличаются по своим свойствам от грунтов в естественном залегании. В открытых разработках лигнита при наличии нескольких угольных прослоек возникает специфическая проблема пустой породы, состоящей из связного грунта с примесью бурого угля. Если материал отвала состоит из зернистого грунта, то его прочность легко определяется испытанием на сдвиг или по углу откоса. В случае смешанных грунтов отвалов сопротивление сдвигу определяется грубо приближенно или же его вообще невозможно измерить вследствие трудности учета ряда факторов, влияющих на извлечение, переработку и отсыпку отвалов; здесь большое значение имеет тонкая фракция.

¹ Сокращенный перевод с английского проф. Г. И. Тер-Степаняна.

² Институт инженерного и глубинного строительства, Строительная академия ГДР, Лейпциг.

Нижний слой толщиной 20—25 м состоит в основном из связной пустой породы с углем (90—99% глины и лигнитсодержащей глины), которая была отсыпана на породу лежащего бока, обнаружившуюся после снятия лигнита; эта порода в основном состояла из пылеватого песка с конкрециями. Применение роторного экскаватора или черпаковой рамы приводило к созданию более или менее крупных комьев грунта, свойства которых отличались от свойств естественного зернистого грунта (Bilz, 1971). Верхняя часть, образованная отвалами верхнего и глубокого горизонтов (два слоя), содержит в основном зернистый материал вскрыши. Однако главная часть вскрыши состоит из пылеватого тонкого песка («педельвицкого» песка) и некоторого количества валунистой глины и поэтому содержит значительную часть тонких частиц.

Было пробурено большое количество скважин, главным образом дренажных или гидрогеологических, и поэтому не во всех случаях брались образцы грунта. Однако общего количества взятых образцов достаточно для получения надежных данных относительно гранулометрического состава, плотности, влажности и степени водонасыщения. В буровых журналах имеются противоречивые данные в отношении границы между высокосвязными и зернистыми материалами (граница ОА/МА) и об уровне грунтовых вод.

Как правило, уровень грунтовых вод в связных смешанных грунтовых отвалах восстанавливается сравнительно быстро, если имеется достаточный приток воды. Причиной этого главным образом являются макропоры. Комки, состоящие из глины, лигнитсодержащей глины, конкреционного ила и др., в присутствии воды не распадаются так быстро, как это происходит с валунистой глиной; такие комки обладают более высокой природной сопротивляемостью и выдерживают определенное давление вышележащих пород. С 1965 г. наблюдался непрерывный подъем уровня грунтовых вод; это может быть приписано как притоку воды из ненарушенных пород, окружающих систему отвалов, так и поступлению снизу. Основываясь на притоке воды и изменении ее уровня, в 1970 г. был составлен прогноз уровня грунтовых вод на 1974 г., ко времени предполагаемого закрытия системы. Новый расчет был произведен в 1971 г.; он показал, что ожидаемый на 1974 г. уровень воды не будет превзойден. Этот прогноз подтвердился в 1975 г.

Для более точного определения границы ОА/ОМ между высокосвязными и зернистыми материалами и степени водонасыщения отвалов в 1971 и 1974 гг. на двух горизонтах были проведены повторные пенетрационные испытания с помощью конического самоходного пенетromетра (Schneider, 1972). Сравнение результатов пенетрационных испытаний, произведенных в 1971 и 1974 гг., показало, что комки связного грунта в отвалах со временем сделались более пластичными и однородными. Путем измерения порового давления оказалось возможным определить пьезометрический уровень.

Движение грунта

До 1969 г. существовала старая сеть геодезических знаков; новая сеть, состоящая из десяти поперечников, была добавлена в 1969 г. Систематические наблюдения за поднятием и опусканием уровня воды были начаты в июле (шесть поперечников) и ноябре (четыре поперечника) 1969 г. Для получения данных на возможно длительный период результаты наблюдений по старой сети рассматривались совместно с данными по новой сети. Для большинства точек отсчеты делались еженедельно в течение активного периода (до середины 1969 г.), затем ежемесячно, а начиная с 1972 г. ежеквартально. Вследствие условий грунтов и состояния склонов, а также вибрации, вызванной движе-

нием поездов, точная нивелировка в строгом значении слова была невозможна, но измерения проводились на достаточно высоком уровне. Надежность данных определяется частотой наблюдений. Средняя ошибка определения высоты точек равнялась ± 10 мм. Для иллюстрации движения грунта на различных бермах на каждом поперечнике в среднем было выбрано по три точки. Была получена ясная картина; например, в результате выполаживания откосов, произведенного в 1968 г., на трех поперечниках движение грунта в начале 1969 г. снизилось, а на соседних двух поперечниках в середине 1969 г. значительно замедлилось (Bilz, 1973).

Исследованиями автора установлена прямая зависимость между оползанием уровня грунтовых вод, наблюдаемыми причинами и оползными (Egger, 1974). Первая трещина появилась в декабре 1965 г. Позже они расширились, и наблюдалось продолжающееся оседание. Трещины поднятия впервые наблюдались в июле 1968 г. После выполаживания склона не происходило каких-либо оползневых явлений, несмотря на прогрессирующее поднятие уровня грунтовых вод; однако небольшие движения грунта указывают, что система откосов находилась некоторое время в состоянии критического равновесия.

Измерения, сделанные за более длительный интервал времени — с 1970 по 1976 гг., не показали движения грунта в системе откосов; это подтверждает результаты расчетов устойчивости для случая, когда осуществлены все защитные мероприятия. Исключение составлял сравнительно крутой откос, где более быстрое поднятие уровня грунтовых вод в 1975—1976 гг. вызвало образование эрозийных промоин.

Свойства материала отвалов

При проектировании системы откосов в 1962 г. были произведены работы в области механики грунтов. В те же годы для оценки поведения и физических свойств материала связных отвалов специалисты обычно использовали эмпирические величины; систематические исследования не проводились и значения ряда параметров были основаны на допущениях. За последние 10—15 лет в этой области механики грунтов произошел прогресс. Применение более точных методов исследования и интерпретации было вызвано необходимостью учета временной неустойчивости системы откосов, представляющей опасность для людей и угрожающей сохранности оборудования.

Физические свойства материала отвалов с 95% статистической вероятностью приведены в таблице.

Свойство	Символ	Зернистый материал вскрыши МА	Связный материал прослоев ОА	Единицы
Плотность	ρ	1920 ± 60	1420 ± 70	$[\text{кг/м}^3]$
Взвешенная плотность	ρ'	930 ± 90	490 ± 60	$[\text{кг/м}^3]$
Угол внутреннего трения	φ'	28	$17,1 \pm 2,0$	$[\text{°}]$
Сцепление	c'	17	$13,4 \pm 4,1$	$[\text{кПа}]$
Проводимость (водопроницаемость)	k_f	$2 \cdot 10^{-6}$	$10^{-8} \cdot 10^{-10}$	$[\text{м/с}]$

Меры, принятые для защиты системы откосов

Меры по защите системы откосов заключались в а) уборке земляных масс или замене их другим заполнителем; б) общем или частичном дренировании и в) устройстве подпорных сооружений.

Начальные меры по стабилизации, предпринятые в 1967—1968 гг., заключались в уположении основного откоса. Пути были смещены,

чтобы уменьшить ширину берм, которые вначале достигали 100 м. В результате угол склона, где ранее наблюдались подвижки, составлял от 8 до 17°. Вторая эффективная мера могла бы заключаться в укладке проницаемого заполнителя в нижней части откоса для дренирования основания уступа. Однако это помешало бы железнодорожному движению, так как уклоны оказались бы слишком крутыми даже для локомотивов-толкачей.

Поскольку ничего иного техника земляных работ дать не могла, был поставлен вопрос о технике дренирования, хотя он обсуждался и в прошлом. Потеря устойчивости в основном приписывалась прогрессирующему насыщению отвалов водой (увеличение объема вследствие взвешивания и уменьшения сопротивления сдвигу). Влияние различной техники дренирования (общее понижение уровня грунтовых вод, застой вод, воронкообразное понижение грунтовых вод у подошвы уступа, уменьшение взвешивания и др.) было рассмотрено автором (Bilz, 1973). Опыт, приобретенный за последние годы, показал, что наиболее эффективными, по задержке подъема грунтовых вод оказались непрерывная работа колодцев в двух фильтрационных завесах, устроенных по периметру системы откосов, ремонт неисправных и проходка новых колодцев.

Горизонтальные колодцы и вакуумные иглофильтры собирали небольшое количество воды (до 25 л/мин) в течение длительного периода. Они имели ограниченное влияние на систему откосов, но все же в некоторой степени содействовали повышению устойчивости (Bilz, 1973).

Расчеты устойчивости

На различных фазах исследований в большом масштабе проводились вариационные расчеты. Вначале они концентрировались на геометрических величинах (уположение откоса, укладка фильтрующего материала, установление уровня грунтовых вод и др.), но в дальнейшем внимание было перенесено на более точную оценку физических свойств материала отвалов (удельный вес, сопротивление сдвигу, давление поровой воды) и изменения со временем. Здесь было учтено, что при данном водонасыщении связного грунта сопротивление сдвигу зависит от порового давления. В течение различных этапов исследования значение степени водонасыщения S_r в 90—95% случаев было более 0,8. По Бишопу и Блайту значение λ для связных грунтов при $S_r = 0,8$ достигает 0,8—0,9 (Bishop, Blight, 1963).

Во всех расчетах устойчивости, произведенных в 1970—1971 гг., применялся метод Бишоп (Bishop, 1954). Обратный расчет оползней 1965 и 1967 гг. по методу Фрëлиха показал требуемые низкие значения коэффициента устойчивости только для «коротких» кругов скольжения, что находилось в противоречии с реальными условиями (Fröhlich, 1950). Применение метода Бишоп показало, что различие коэффициента безопасности для «коротких» и «длинных» склонов было значительно меньшим. Вариационные расчеты были проведены на ЭВМ типа NE 503. В 1975 г. сделалась доступной более усовершенствованная и исчерпывающая программа Боровичка, также основанная на круговых поверхностях скольжения (Borowicka, 1970); ее преимущества были описаны Шеффлером (Scheffler, 1972). Первое давление вычисляется по сеткам течения, строящимся для различных предопределенных линий тока и служащим для расчета устойчивости.

Вариационные вычисления были проведены в большом масштабе (для четырех отобранных критических сечений проверено 14540 версий); основной целью была оценка влияния дальнейшего поднятия

уровня грунтовых вод во время эксплуатации до 1978 г. (включая за-
пасную полосу $\Delta W = 2$ м). Ставилась также задача определения влия-
ния разброса значений физических параметров грунтов отвалов. Из
анализа расчетов было установлено, что разброс значений плотности
показывает незначительное влияние на требования минимума устойчи-
вости $\Delta \gamma_1 = 0,02$ до $0,03$. Различие устойчивости, вытекающее из воз-
можных различий параметров сопротивления сдвигу перекрывающих
пород, также весьма ограничено — $\Delta \gamma_2 = 0,02$. Параметры сопротивле-
ния сдвигу, определенные в 1970—1971 гг. для связного материала от-
валов, оказались очень неблагоприятными, так как по данным 1975 г.
(с учетом существовавшего уровня грунтовых вод) наблюдалась за-
метная неустойчивость в одном из поперечников ($\gamma_{\text{выч}} \ll 1,0$), что проти-
воречило результатам наблюдений, проведенных в 1971 г., и тому фак-
ту, что в это время там не происходило никаких движений. Поэтому
статистически безопасные параметры сопротивления сдвигу вблизи от
нижнего предела доверительного интервала $\min \varphi_{\text{ма}}$ и $\min c_{\text{ма}}$ могут
быть приняты как оптимально отражающие природные условия.

Последнее утверждение подкрепляется оценкой общей степени не-
определенности, присущей результатам вычислений (Yucemen, Tang,
1975). Так как влияние вариации плотности и сопротивления сдвигу вы-
шележащих масс является ничтожным, необходимо ограничиться со-
противлением сдвигу пустой породы. Принимая во внимание такие
факторы, как нарушение при взятии образцов, размеры образцов,
скорость сдвига и влияние прогрессирующего разрушения, и применяя
коэффициент вариации, полученный по опытным данным Юсима и
Танга, находим следующее значение общей неопределенности: $\Omega_{\varphi_{\text{ма}}} =$
 $0,14$; $\Omega_{c_{\text{ма}}} = 0,21$. Эти значения имеют тот же порядок, что и приводи-
мые указанными авторами при оценке оползня в нетрещиноватой ва-
лунной глине ($\Omega_{\varphi} = 0,14$; $\Omega_c = 0,17$); однако необходимо помнить, что
эти авторы располагали очень точными результатами лабораторных и
полевых испытаний и были в состоянии отлично восстановить картину
разрушения. Это соответствие подтверждает тот факт, что расчетные
параметры для пустой породы являются наиболее реалистичными.

Заключение

Приведенное описание и анализ условий устойчивости сравнитель-
но большой системы откосов котлована в лигнитах в течение свыше
10 лет, дополняющие наши знания по механике грунтов в области гор-
ного дела, в частности для условий отвалов из смешанных связных от-
валов, имели целью показать:

- возможности определения физических параметров таких не-
однородных материалов применением статистического анализа резуль-
татов испытаний;

- предпочтительность оценки геологических и гидрогеологических
условий в данной окружающей среде путем комбинированной интер-
претации прямых (колодцы, гидрогеологические скважины) и непря-
мых (зондирование) методов;

- возможность предотвращения чрезмерного поднятия уровня
грунтовых вод путем заблаговременного проектирования дренажных
мероприятий и их последовательного осуществления, если даже отва-
лы состоят из связных смешанных грунтов.

Система откосов, имеющих повышенные углы наклона в от-
вальных связных грунтах, делающаяся неустойчивой вследствие подь-
ема уровня грунтовых вод, может быть эксплуатирована при неболь-
шом запасе устойчивости в случае, если совместно осуществляются

земляные работы и дренирование, что дает значительную экономию. Необходимо, однако, отметить, что большая часть расходов на уположение откосов—дренирование, а также расходов, связанных с мерами по устранению опасности, угрожающей жизни людей и сохранности оборудования, и вызванными ими перебоями в работе могут быть устранены, если будут приняты во внимание еще в стадии проектирования ожидаемые уменьшения устойчивости вследствие поднятия грунтовых вод. Это приведет к значительному уменьшению общих расходов, хотя стоимость установления самой системы может оказаться и более высокой, даже если система была запроектирована для ее эксплуатации только в течение ограниченного времени.

ԼՅԱԿՈՒՅՏԵՐՈՒՄ ՇԵՊԵՐԻ ՄԻՍՏԵՄԻ ՊԱՇՏՊԱՆՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱՐ ՁԵՌՆԱՐԿՎԱՆ ՄԻՋՈՑՆԵՐ

Դոկտոր ինժեներ Պետեր Բիլց

Ինժեռա—Հիգիենի փորվածքների ծածկող ապարների լցակույտերում 60 մ բարձրությամբ շեղերի սխտեմում 1962-ից 1965 թ. դիտվել են գրունտի շարժումները և տարրեր ինտենսիվության սողանքները։ Դրա հետևանքով սխտեմի տարրեր առափների վրա խախտված էր զնաքների շարժումը։ Դիտվող երևույթների հիմնական պատճառը գետնաջրերի մակարդակի բարձրացումն էր ու դրա հետ կապված թանձրության և հետևաբար լցակույտերի կապակցված խողը գրունտների զիմազրության բնութագրերի փոփոխությունները։ Հիմնվելով երկրաբանության, գետնաջրաբանության և գրունտների մեխանիկայի ձևեր բերված նվաճումների վրա՝ հետազոտոր եղավ անցկացնել կայունության հաշվարկ, որը լրիվ համապատասխանում է բնական պայմաններին (շարժումների հերթականությունը և մեծությունը)։ Ապացուցված է նաև, որ նույնիսկ կապակցված խողը գրունտներից կաղմված կույտերում գետնաջրերի մակարդակի չափազանց բարձրացումը ցամաքորդելով կարելի է կանխել։ Համատեղ հողային աշխատանքները և ցամաքորդման դրական արդյունքները թույլ տվեցին կրիտիկական հավասարակշռության դիրքին մոտ գտնվող շեղերի սխտեմի աշխատանքի շարունակումը սահմանափակ ժամանակաշրջանում։

MEASURES TAKEN TO PROTECT A SYSTEM OF SLOPES IN DUMPS

PETER BILZ, Eng. D.²

Synopsis. Soil movement and slides of different intensity were observed in recent years in a 60 m high slope system consisting of overburden dumped in an open-cast lignite mine between 1962 and 1965. As a result the movement of trains on different berms of the system was severely hampered. The main reason for the phenomena observed was a rise in the groundwater level and related changes in the consistency, and hence the strength characteristics of the dumped cohesive mixed soils. Based on geological, hydrogeological and soil mechanics data it was possible to conduct stability calculations which were in excellent agreement with the natural conditions (sequence and scope of movement). It is also demonstrated that an excessive rise in the groundwater level can be prevented through drainage even in these cohesive

¹ ԳԴՀ-ի Երկրաբանական ակադեմիայի ինժեներական և խորրային շինարարության ինստիտուտ, Լայպցիգ

² Institut für Ingenieur- und Tiefbau, Bergakademie der DDR, Leipzig.

mixed soil dumps. As a result of the most recent investigations confirming the positive effect of earthwork and drainage operations, the continued operation of the slope system being in a state close to critical equilibrium has been authorized for a limited period.

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ—ЛИТЕРАТУРА—REFERENCES

- Bilz P. 1971. Beitrag zur Erfassung der Standsicherheitsverhältnisse an bindigen Mischbodenklippen mit Fließcharakter.—Leipzig, Freiburger Forschungshefte A 488.
- Bilz P. 1973. Langfristige Bewegungen in einem Böschungssystem aus geschüttetem bindigen Mischböden infolge Grundwasseranstiegens.—Neue Bergbautechnik, Leipzig, 3 (3), S. 185—195.
- Bilz P. 1974. Kippenstabilität und Festigkeitsanalyse.—Zeitschrift für geologische Wissenschaften, Berlin 2 (3), S. 291—297.
- Bishop A. W. 1954. The use of the slip circle in the stability of slopes.—Géotechnique, 5(1), p. 7—17.
- Bishop A. W., Blight G. E. 1963. Some aspects of effective stress in saturated and partly saturated soils.—Géotechnique, 13 (3), p. 177—197.
- Borowicka H. 1970. Ein statisch einwandfreies Verfahren zur Ermittlung der Standsicherheit einer Böschung.—Bauingenieur, 45 (9), S. 307—313.
- Brandl H. 1976. Die Probleme des Erd- und Grundbaues bei der Tauernautobahn—Scheitelstrecke.—In: Tauernautobahn, Salzburg, S. 397—490.
- Egerer F. 1974. Langfristige Bewegungen in einem Böschungssystem aus geschütteten bindigen Mischböden infolge Grundwasseranstiegs.—Neue Bergbautechnik, Leipzig, 4 (5), S. 353—358.
- Fröhlich O. K. 1950. Sicherheit gegen Rutschen einer Erdmasse auf kreiszylindrischer Gleitfläche mit Berücksichtigung der Spannungsverteilung in dieser Fläche.—Beiträge zur angewandten Mechanik. Wien, Verlag F. Deuticke
- Scheffler H. 1970. Zur Frage der Ermittlung der Schubfestigkeit bindiger Kippenmischböden.—Bergbautechnik, Leipzig, 20 (12), S. 633—638.
- Scheffler H. 1972. Beitrag zur Berechnung der Standsicherheit von Baggerböschungen auf Prüfflächen allgemeiner Form nach Borowicka.—Neue Bergbautechnik, Leipzig, 2 (2), S. 121—125.
- Schneider E. 1972. Erfahrungen mit der Drucksondierung bei geologisch-hydrologischen Erkundungsarbeiten auf kleinem Raum.—Neue Bergbautechnik, Leipzig, 2 (2), S. 87—88.
- Schultze E. 1975. Some aspects concerning the application of statistics and probability to foundation structures.—Proceed. 2nd Internat. Conf. on Applic. of Statistics and Probability in Soil and Structural Engng. Aachen, 4/14, p. 457—494.
- Stamatopoulos A. C., Kotzias P. C. 1975. The relative value of increasing number of observations.—Proceed. 2nd Internat. Conf. on Applicat. of Statistics and Probability in Soil and Structural Engng. Aachen, 4/15, p. 495—510.
- Yucemen M. S., Tang W. H. 1975. Long term stability of soil slopes—a reliability approach.—Proceed. 2nd Internat. Conf. on Applicat. of Statistics and Probability in Soil and Structural Engng. Aachen, 2/13, p. 215—229.