

Рахимов Зуфар Рафисович

кандидат технических наук, магистр бизнеса,
и. о. доцента кафедры транспорта
и технологических машин,
Рудненский индустриальный институт
Минобрнауки Республики Казахстан
(РГП на ПХВ «РИИ» МОН РК),
111500, Республика Казахстан,
Костанайская область, г. Рудный,
ул. 50 лет Октября 38,
e-mail: rakhimov.zufar@mail.ru

Rakhimov Zufar R.

candidate of technical sciences,
Master of business, acting senior lecturer of the
transport and technological machines department,
the Republican state enterprise on the right of economic conducting the Rudnensky Industrial
Institute, the Ministries of Education and Science
of the Kazakhstan Republic
(RSE on REC «RII» RK MES)
111500, Republic of Kazakhstan,
Kostanaisky region, Rudniy,
50 years of October st., 38
e-mail: rakhimov.zufar@mail.ru

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЗМА
ДЕФОРМИРОВАНИЯ И СХЕМЫ ДЛЯ
РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ,
НАХОДЯЩИХСЯ В СЛОЖНОМ
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОМ
СОСТОЯНИИ**

**DETERMINATION THE MECHANISM OF
DEFORMATION AND THE PATTERN FOR
CALCULATION THE SLOPES' STABILITY
BEING IN A DIFFICULT
STRESSED-DEFORMED STATE**

Аннотация:

Произошедшие оползни карьерных откосов позволили сделать предположение о наличии слабого контакта в их основании. Однако результаты исследования свойств слагающих откос глинистых пород позволяют утверждать, что слабый контакт в исследуемом откосе отсутствует, а устойчивость верхних уступов карьера зависит от физико-механических свойств пластичных глин, которые изменяются при увеличении внешней нагрузки. Лабораторные исследования позволили установить, что деформирование откосов карьера происходит из-за их низкой несущей способности. Для разработки способа оценки устойчивости нагруженных откосов, сложенных пластичными породами, необходимо учитывать механизм деформирования, форму и размеры наиболее напряженной поверхности скольжения, которые предлагается определять методом моделирования физически подобными материалами. Проведенные исследования доказывают, что при внешнем нагружении глинистого откоса деформирование происходит практически по горизонтальной плоскости, которая формируется в результате давления вышележащих пород и отвалов

Ключевые слова: пластичность, устойчивость откоса, схема для расчета устойчивости откосов, моделирование откосов, метод физического подобия

Abstract:

The occurred landslips of open pit slopes have permitted to make the assumption of weak contact presence in their basis. However the results of studying the properties of clay rocks composing a slope make it possible to assert, that weak contact in an investigated slope is absent, and the stability of the open pit top benches depends on physical and mechanical properties plastic clays changing at external loading increase. Laboratory researches have permitted to establish, that open pit slopes' deformation takes place because of their low bearing ability. For working out the procedure of estimation the stability of loaded slopes combined by plastic rocks it is necessary to consider the deformation mechanism, the form and size of the most stressed surface that are offered to be defined by modeling physically similar materials. The carried out researches prove, that by external loading of clay slope, deformation occurs practically on a horizontal plane being formed as a result of overlying rocks and dumps pressure

Key words: plasticity, slope's stability, the pattern for calculation the slopes' stability, slopes modeling, a method of physical similarity

При строительстве карьера № 6 Восточно-Аятского месторождения бокситов произошел ряд оползней общим объемом более 2 млн м³ (рис. 1).

Первоначально на основе осмотров и изучения оползневых тел было сделано предположение о наличии слабого контакта в основании деформирующихся откосов. Анализ образцов пород из оползневых тел позволяет сделать вывод, что верхний горизонт карьера сложен четвертичными суглинками, четвертичными глинами, чеганскими выветренными глинами, чеганскими запесоченными выветренными глинами, чеганскими глинами. Полученные результаты исследований физико-механических свойств пород доказывают, что откос сложен глинистыми породами полутвердой, твердой и тугопластичной консистенции (табл. 1). Однако при увеличении влажности или нормальных нагрузок четвертичные и чеганские выветренные глины проявляют высокую пластичность с уменьшением угла внутреннего трения в пределах от 22° до 0° и коэффициента сцепления в пределах от 0,65 до 0,122 МПа. Такое поведение глинистых пород создает предпосылки возникновения в исследуемом массиве сложного НДС.

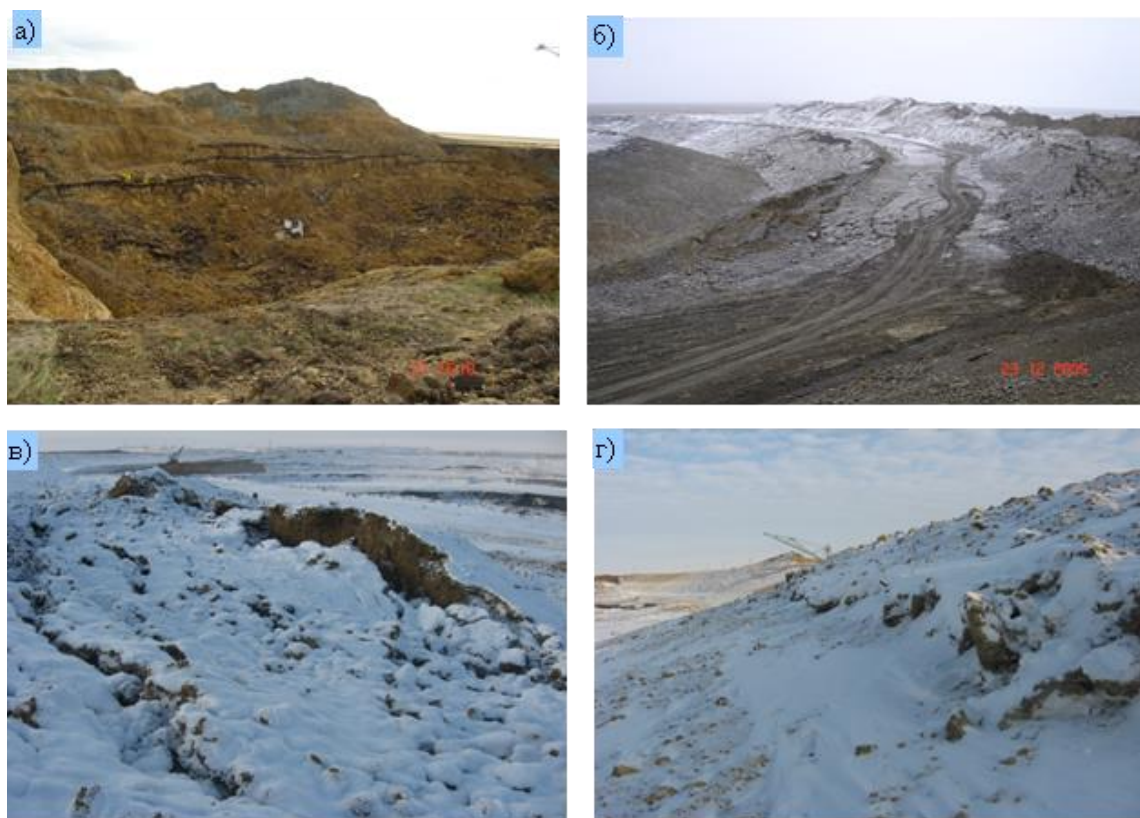


Рис. 1 – Проявления деформаций откосов карьера № 6 Восточно-Аятского месторождения бокситов в 2005 – 2007 гг.
а) – сентябрь 2005 г.; б) – декабрь 2005 г.; в) – декабрь 2007 гг. (отвал);
г) – декабрь 2007 г. (откосная часть первого уступа)

Результаты исследования свойств глинистых пород позволяют сделать вывод, что устойчивость откосов верхних горизонтов зависит от физико-механических свойств четвертичной и чеганской выветренных глин. Для оценки устойчивости нагруженных карьерных откосов, сложенных пластичными глинами, необходимы данные не только о физико-механических свойствах и действующих внешних нагрузках, но и о механизме деформирования и очертании наиболее напряженной поверхности. Вследствие того что внешний осмотр оползневых тел дает приближенное представление об очертании поверхности скольжения и механизме деформирования, возникает необходимость в лабораторном исследовании моделей нагруженных откосов. Лабораторное моделирование процессов деформирования откосов позволяет при корректно подобранных материалах и проведенных испытаниях определить механизм и очертания поверхности скольжения

в массиве горных пород. Важную роль лабораторное моделирование приобретает для исследования устойчивости массива горных пород с нетипичными условиями залегания [1, 2, 3] или с изменяющимися свойствами [4].

Таблица 1

Классификация глинистых пород по числу пластичности и консистенции

Глинистые породы и их особенности	Число пластичности, J_p , %	Тип пород по J_p	Консистенция, J_L , доли ед.	Классификация глинистой породы по консистенции J_L
Четвертичные суглинки желтого цвета	16,45	суглинок	0,04	полутвердая
Четвертичные глины серо-голубого цвета	20,00	глина	0,26	тугопластичная
Чеганские выветренные глины, осветленные, синезеленого, желто-красного цвета	21,50	глина	– 0,16	твердая
Чеганские выветренные запесоченные глины серого цвета с желтыми включениями	19,70	глина	0,04	полутвердая
Чеганские оливково-зеленые глины с линзочками светло-серого песка	19,30	глина	–0,34	твердая

В данном исследовании для уточнения очертаний наиболее напряженной поверхности скольжения, причин и механизма деформирования откосов выполнено лабораторное моделирование нагруженных откосов. В качестве материала для моделирования используется чеганская выветренная глина нарушенной структуры с повышенной влажностью, подвергаемая внешнему силовому воздействию.

Анализируя все достоинства и недостатки стендов, применяемых при моделировании, учитывая свойства материала, простоту получения информации о возникающих деформациях и ее обработки, а также используя первоначальные предположения о процессах, протекающих в массиве горных пород, можно прийти к выводу, что на данном этапе исследования лучше проводить на стендах для плоских моделей. Для этих целей был разработан стенд, конструкция которого позволяет испытывать модели плоских откосов, с размерами 1,00×1,16×0,16 м. Стенд изготовлен методом сварки и разъемных болтовых соединений катаных специальных профилей и схематично показан на рис. 2.

Для обеспечения устойчивости моделируемого откоса после снятия опалубки в процессе формирования массива модели в нее закладываются тяжи, состоящие из металлических стержней и ограничителей бокового распора, представляющие собой парные круги из органического стекла. Стержни в количестве 65 штук изготовлены из прутка диаметром 5 мм и имеют длину 158 мм. На краях стержней длиной 5÷6 мм нарезана резьба М5, на которую закручиваются ограничители из органического стекла толщиной 5 мм и диаметром 45 мм.

С целью оперативного контроля за процессом деформаций в откосе модели конструкция предусматривает наличие датчиков горизонтальных и вертикальных смещений, в качестве которых используются индикаторы часового типа, размещаемые в специальных кронштейнах.

Стенд снабжается рычажным механизмом нагружения, что позволяет за счет рычага создавать более высокую нагрузку и повышает безопасность проведения испытаний. Для обеспечения вертикальности нагружения испытываемой модели разрабатывается конструкция центрирующей площадки.

Сложное НДС в массиве модели создается за счет передачи нагрузки от рычажной системы через слой увлажненного песка. Данный подход позволяет более плавно и правдоподобно имитировать воздействие внешнего отвала на массив модели, чем жесткий штамп.

Подготовка материала для моделирования заключается в том, что вначале определяется влажность доставленной из карьера выветренной чеганской глины. Затем влажность глины доводится до необходимого уровня добавлением воды. После подготовки материал укладывается в стенд слоями по 0,1 м. Для обеспечения стабильной плотности массива модели каждый слой уплотняется двадцатикратным прокатыванием десятикилограммового ролика по полосе линолеума, уложенного поверх глинистого материала. После изготовления массива модели со стенда снимается опалубка, модель выдерживается 24 часа без нагрузки для стабилизации в ней напряжений и деформаций. В этот же период очищаются круги оргстекла тяжей, компенсирующих боковой распор от глины для обеспечения визуального наблюдения и измерений смещений центров тяжей, в качестве которых выступают резьбовые отверстия в кругах оргстекла.

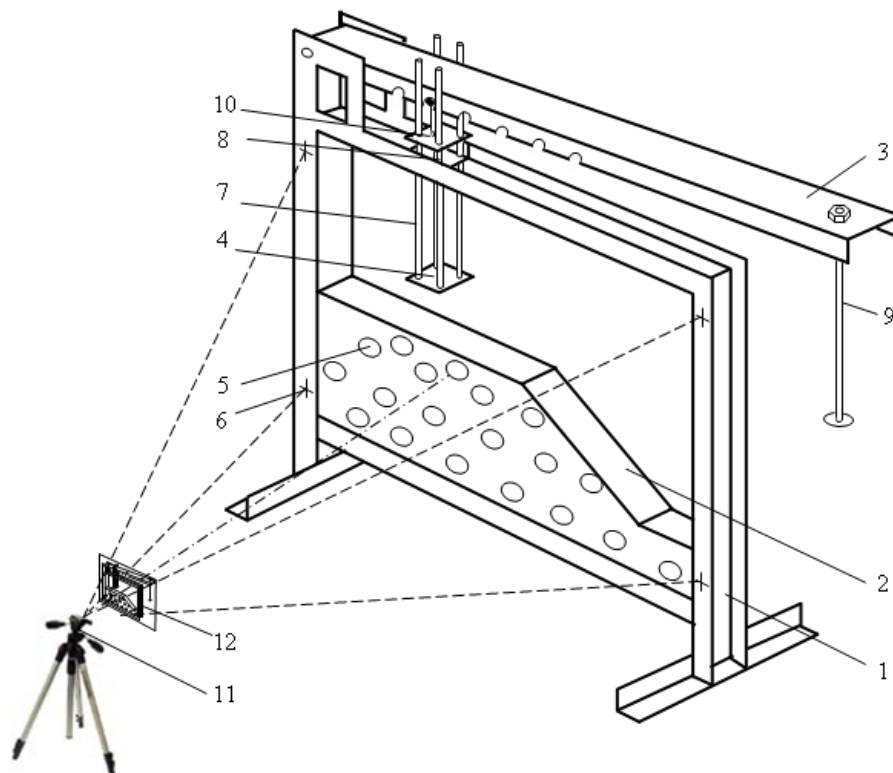


Рис. 2 – Общий вид стенда для моделирования

1 – каркас стенда, 2 – откос, 3 – рычаг системы задатчика внешней нагрузки, 4 – штамп имитации давления внешнего отвала, 5 – тяж компенсации бокового распора, 6 – опорные марки, 7 – выравнивающие упоры, 8 – площадка выравнивания штампа, 9 – тяга для грузов, 10 – стальной шарик, 11 – фотоаппарат на штативе, 12 – снимок модели

Уступ в массиве модели формируется удалением глины, после чего на ее горизонтальную площадку устанавливается форма для отсыпки модели отвала из влажного песка высотой 0,08 м, шириной 0,17 м и длиной $0,17 \div 0,34$ м, которая имитирует внешний отвал. Сверху формы песок уплотняется и на верхнюю поверхность отвала укладывается металлический штамп толщиной 4 мм. Нагрузка на тягу рычага передается ступенчато разновесами от 0,2 до 4,0 кг.

Результаты исследований, зафиксированные в ходе лабораторного моделирования нагруженных откосов, изложены в работах [5, 6].

Исследования, проведенные более чем на 40 моделях, позволяют процесс деформирования нагруженного откоса модели из физически подобных материалов условно подразделить на несколько стадий. Первую стадию можно охарактеризовать как состояние массива, не тронутого до начала горных работ, когда наблюдаются только микродеформации усадки в течение 24 часов, отводимых для стабилизации напряжений в сформированном массиве. Данная стадия аналогична длительному периоду формирования отложений.

Вторую стадию, в течение которой формируется откос, можно охарактеризовать как период разуплотнения и упругого восстановления за счет разгрузки. В течение второй стадии наблюдаются микродеформации упругого восстановления материала моделирования после удаления части объема (рис. 3, а). В результате массив, находящийся в равновесии до начала проведения горных работ, претерпевает воздействие различных факторов, за счет чего начинают развиваться деформационные и реологические процессы, что приводит к снижению устойчивости откоса. Данная стадия характеризуется устойчивостью откоса, что обеспечивается равновесием призмы упора и призмы активного давления. В качестве последней выступает вес пород, слагающих верхнюю часть откоса. Силы, удерживающие откос в равновесии, связаны с силами сцепления и трения нижней части откоса. Таким образом, данная стадия характеризует устойчивость ненагруженного откоса.

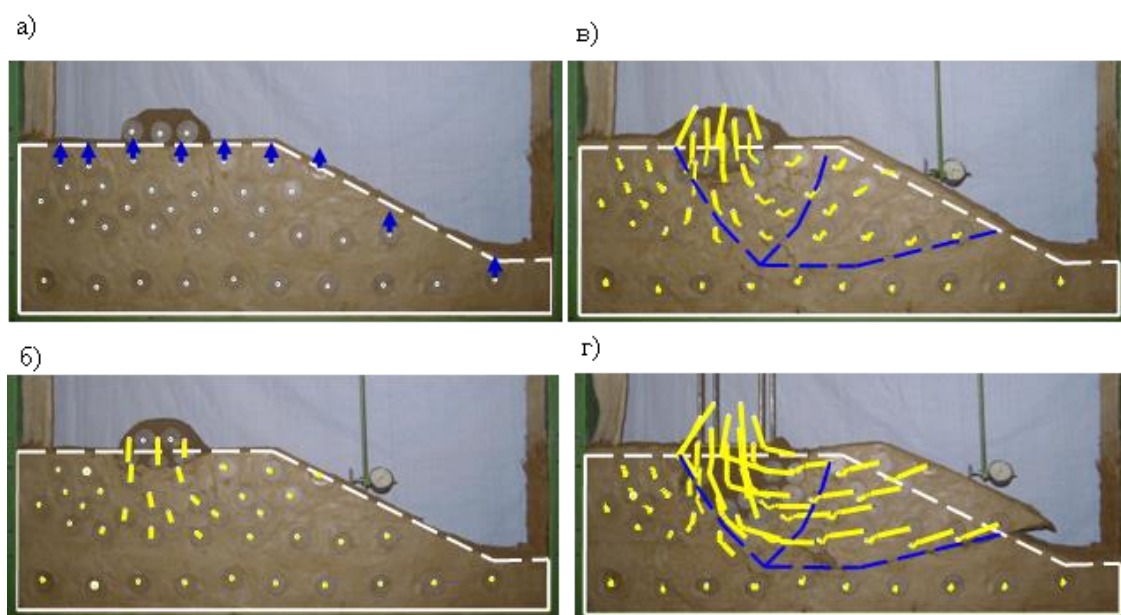


Рис. 3 – Стадии деформирования откоса модели откоса при внешнем нагружении: а) – вторая стадия испытания модели – разуплотнение и упругое восстановление за счет разгрузки; б) – третья стадия – равномерное уплотнение пород модели откоса под действием нагрузки; в) – четвертая стадия – смещения в сторону выработанного пространства; г) – пятая стадия – оконтуривание и сдвиг оползневого тела в сторону выработанного пространства

Для третьей стадии, в течение которой для реализации гравитационного подобия прилагается внешняя нагрузка, характерно равномерное уплотнение пород модели откоса (рис. 3, б). При этом наблюдаются незначительные деформации (1 – 4 мм), достигающие поверхности откосной части уступа, что фиксируется индикатором часового типа ИЧ–10МН. Данные деформации напрямую увязываются с выполнением условия гравитационного подобия. Третья стадия аналогична процессу формирования внешнего отвала на незначительном удалении от верхней бровки откоса. В процессе нагружения модели вначале придается адекватный удельный вес глинистому материалу согласно

масштабу моделирования, а затем формированию внешних отвалов на незначительном удалении от верхней бровки откоса борта карьера для нагрузок более $1,0 \div 1,5$ кПа.

Четвертая стадия характеризуется тем, что при нагрузках, вызывающих деформации, легко обнаруживается разделение оползневого тела на призмы активного давления и упора, так как в период четвертой стадии доминируют смещения в сторону выработанного пространства (рис. 3, в). Стадия аналогична завершению формирования внешнего отвала и началу процессов ползучести и релаксации при неизменной нагрузке от отсыпанных отвалов.

Пятая стадия является завершающей, так как при ней происходит оконтуривание и сдвиг оползневого тела в сторону выработанного пространства на расстояние, достигающее 20, а отдельных случаях и 150 мм (рис. 3, г). Пятая стадия аналогична финальной стадии оползня, когда происходят значительные стремительные деформации.

На основании исследования поведения моделей из физически подобных материалов механизм обрушения нагруженного внешним отвалом откоса пластичных горных пород происходит однотипно. В начале под нагрузкой имитирующего давление пород отвала штампа влажный песок вдавливаются в поверхность верхней площадки откоса. В момент, когда вдавливание достигает максимальных значений под центром штампа, оно симметрично снижается по его краям. Породы откоса сжимаются в большей степени в вертикальном, чем в боковых направлениях, смещения не достигают поверхности откоса. С увеличением давления точка максимального вдавливания начинает смещаться от центра внедряемого штампа в сторону откоса, при этом горизонтальные смещения величиной в несколько миллиметров достигают его поверхности.

При определенном значении вертикального давления наблюдается незначительное (от 8 до 24 мм) выпучивание вверх части оползневого тела, располагаемого между штампом и поверхностью откоса, с одновременным увеличением смещения в сторону откоса. Первоначально предполагается, что это сопряжено с отсутствием гравитационного подобия на участках, примыкающих к штампу, но даже при искусственной их нагрузке эффект выпучивания сохраняется. Именно в этот момент оползневое тело оказывается оконтуренным видимыми трещинами.

Дальнейшего увеличения проседания, имитирующего отвальную массу песка и смещения оползня в сторону выработанного пространства, можно достичь как увеличением давления на штамп, так и при постоянной нагрузке в течение продолжительного времени за счет реализации эффекта идеальной пластичности чеганской выветренной глины.

На рис. 4 проиллюстрирована заключительная стадия деформирования модели нагруженного откоса. На него нанесены смещения марок всех предыдущих циклов нагружения и показана поверхность скольжения. Поверхность скольжения начинается на удаленном от откоса конце штампа (точка А) под углом $\psi = \pi/4 + \varphi_{\max}/2$. По круглоцилиндрической поверхности она достигает глубины, на которой $\varphi = 0^\circ$ (В), под углом $\pi/4$ к горизонтальной линии. Поверхность скольжения из точки В продолжается горизонтально до точки D. Линия BD соответствует состоянию пластического течения материала моделирования. От точки D, лежащей практически на одной вертикали с верхней бровкой откоса Е, поверхность скольжения выходит в точку поверхности откоса F под углом $\theta = \pi/4 - \varphi_{\max}/2$. Геометрические параметры полученной наиболее напряженной поверхности скольжения хорошо согласуются с положениями статики сыпучей среды [7], в соответствии с которой площадки скольжения образуются при нагрузках, создаваемых столбом породы высотой H_{90} . В модели площадки скольжения начинаются сразу под штампом, так как он имитирует давление отвальных пород. Величина угла ψ также соответствует значениям статики сыпучей среды, как и угол между линиями 1-го и 2-го семейств скольжения, составляющий $\pi/2$ при $\varphi = 0^\circ$.

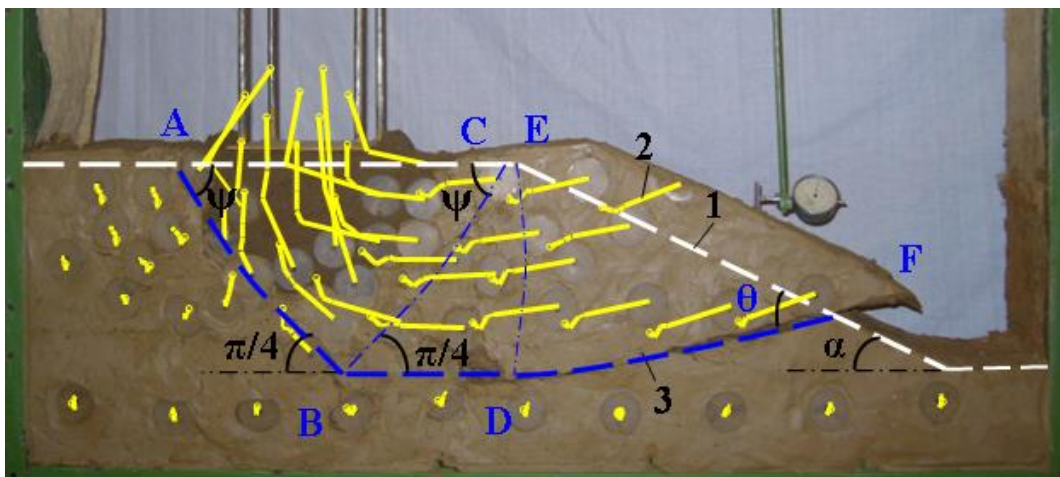


Рис. 4 – Механизм деформирования нагруженного откоса пластичных пород:
1– контур исходного откоса; 2– смещение марки; 3 – наиболее напряженная поверхность скольжения

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что схема деформирования нагруженного откоса, сложенного пластичными глинистыми породами, аналогична схеме, представленной на рис. 5.

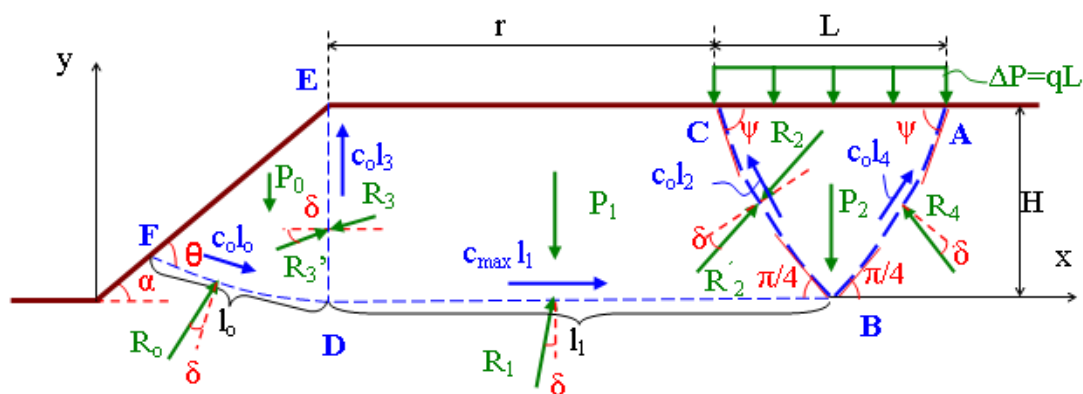


Рис. 5 – Схема для расчета устойчивости нагруженного откоса, сложенного пластичными глинистыми породами

Для рассматриваемого случая оползня карьерного откоса берма между нижним основанием отвала и верхней бровкой карьера составляла $r=45$ м ($\alpha = 30^\circ$, $H = 15$ м, $\gamma = 1,93$ г/см³, $c_{\max} = 0,122$ МПа, $c_{\min} = 0,065$ МПа, $\varphi_{\max} = 24^\circ$). Расчет с использованием предлагаемой схемы и снижением физико-механических свойств с учетом коэффициента запаса, равного двум, доказывает, что берма безопасности должна быть увеличена до 100 – 120 м.

Выводы

1. Проведенные лабораторные исследования позволили установить, что деформирование откосов карьера № 6 Восточно-Аятского месторождения бокситов происходит из-за низкой несущей способности слагающей их пластичной горной породы.
2. При разработке способа оценки устойчивости нагруженных откосов, сложенных пластичными глинистыми породами, необходимо учитывать механизм деформирования открытой горной выработки, форму и размеры наиболее напряженной поверхности скольжения методом моделирования физически подобными материалами.
3. Проведенные исследования доказывают, что при внешнем нагружении откоса, сложенного пластичными глинистыми породами, деформирование происходит по схеме, представленной на рис. 5.

Литература

1. Анашкин А.И. Методика моделирования карьерных откосов с пликативными поверхностями ослабления / А.И. Анашкин // Сдвигение горных пород и земной поверхности при разработке месторождений полезных ископаемых: тематический сборник. – Караганда: КарПТИ, 1984. – С. 60 – 64.
2. Низаметдинов Ф. К. Моделирование карьерных откосов с извилистыми поверхностями ослабления / Ф.К. Низаметдинов, Р.П. Окатов // Совершенствование маркшейдерской службы на горных предприятиях: тематический сборник. – Караганда: КарПТИ, 1982. – С. 33 – 38.
3. Окатов Р.П. Моделирование карьерных откосов с изменчивыми поверхностями ослабления / Р.П. Окатов, Ф. К. Низаметдинов, А. И. Анашкин // Известия вузов. Горный журнал. – 1984. – № 4. – С. 21–24.
4. Габитов Р. М. Свойства эквивалентных материалов на основе Na–мыла / Р.М. Габитов, Е.П. Кашапова // Освоение месторождений полезных ископаемых: межвуз. сб. науч. тр. – Магнитогорск: Изд-во МГТУ, 2004. – С. 69 – 71.
5. Барулин А.И. Моделирование нагруженных откосов в массиве пластичных горных пород / А.И. Барулин, З.Р. Рахимов // Вестник национальной инженерной академии Республики Казахстан. – 2007. – № 4 (26). – С. 94 – 99.
6. Рахимов З. Р. Исследование влияния жесткости испытательного стенда на точность моделирования откосов / З.Р. Рахимов, А.И. Барулин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. – 2007. – № 4 (20). – С. 5-9.
7. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды / В.В. Соколовский. – М.: Наука, 1990. – 272 с.