

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО ТОПЛИВНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ПРИ ГОСПЛАНе СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА
ВНИИ

ОСУШЕНИЕ КАРЬЕРНЫХ
ПОЛЕЙ

(Материалы к "Методическому пособию по дренажу
месторождений полезных ископаемых, подлежащих
разработке открытым способом")

Часть I

Ленинград
1965

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО ТОПЛИВНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ПРИ ГОСПЛАНе СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА
ВНИИ

ОСУШЕНИЕ КАРЬЕРНЫХ
ПОЛЕЙ

(Материалы к "Методическому пособию по дренажу
месторождений полезных ископаемых, подлежащих
разработке открытым способом")

Часть 1

Ленинград
1965

А н н о т а ц и я

В книге рассмотрены вопросы о влиянии подземных и поверхностных вод на устойчивость бортов карьеров и на условия ведения открытых горных работ, излагаются принципы выбора оптимальных способов осушения карьеров. Работа основывается на анализе опыта осушения большого числа карьеров. Книга предназначается для использования при проектировании, строительстве и эксплуатации карьеров.

В составлении работы участвовали:
канд. геол.-мин. наук МИРОНЕНКО В.А.,
канд. техн. наук ФИСЕНКО Г.Л.,
инженеры НОРВАТОВ Ю.А. и БОКИЙ Л.Л.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

В в е д е н и е	3
---------------------------	---

Р А З Д Е Л I

Глава I. Влияние подземных и поверхностных вод на устойчивость откосов.

§ 1. Влияние природных вод на обшук устойчивость откосов за счет изменения напряженного состояния пород	5
§ 2. Развитие процессов механического выноса под воздействием подземных и поверхностных вод.	10
§ 3. Выщелачивание и растворения пород в процессе строительства и эксплуатации карьеров. . .	17
§ 4. Изменение механических свойств горных пород под влиянием подземных и поверхностных вод.	18

Глава II. Влияние подземных и поверхностных вод на качество полезного ископаемого и на технологию горных работ.

§ 1. Влияние подземных и поверхностных вод на качественную характеристику полезного ископаемого.	22
§ 2. Влияние подземных и поверхностных вод на работу горно-транспортного оборудования и на буровзрывные работы	22

Р А З Д Е Л II

Глава III. Основные исходные положения. 25

Глава IV. Дренаж карьеров в условиях горизонтально залегающих неустойчивых горных пород (месторождения типа А-I)

§ 1. Дренаж нерабочего борта	28
§ 2. Дренаж рабочего борта	34
§ 3. Осушение полезного ископаемого	46
§ 4. Дренаж разрезной траншеи	48

Глава V. Дренаж карьеров в условиях наклонно залегающих неустойчивых горных пород (месторождения типа А-2)

§ 1. Особенности осушения наклонно залегающих пород	53
§ 2. Дренаж пород висячего бока и полезного ископаемого в период эксплуатации	54
§ 3. Дренаж пород лежащего бока в период эксплуатации	57
§ 4. Дренаж разрезной траншей	58

Глава VI. Дренаж карьеров в условиях устойчивых горных пород (месторождения группы Б)

§ 1. Особенности осушения трещиноватых пород	58
§ 2. Дренаж пород висячего бока и полезного ископаемого в период эксплуатации	60
§ 3. Дренаж пород лежащего бока	62
§ 4. Дренаж разрезной траншей	62

Глава VII. Дренаж карьеров на месторождениях смешанного типа 63

Глава VIII. Дренаж внутренних отвалов и подомов карьера 64

Глава IX. О некоторых перспективных методах дренажа горных пород

§ 1. Горизонтальные скважины	66
§ 2. Использование "песчаных свай"	68
§ 3. Водопонижающие скважины большого диаметра	69

Глава X. Борьба с поверхностными водами и организация внутрикарьерного стока. 69

Л и т е р а т у р а	72
--------------------------------------	-----------

П р и л о ж е н и я	74
--------------------------------------	-----------

ВВЕДЕНИЕ

В связи с разработкой открытым способом месторождений со сложными инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями, большое значение приобрел вопрос о дренаже карьерных полей, являющийся, как известно, одним из основных мероприятий по предотвращению деформаций бортов, откосов уступов и отвалов. В громадном большинстве случаев при назначении схем дренажа и объемов осушительных работ делается упор на необходимость обеспечения устойчивости бортов. Однако, обоснование этого положения в проектах, как правило, не проводится, в результате чего проектирование дренажей чаще всего оказывается, по сути дела, оторванным от решения вопросов устойчивости. Поэтому во многих случаях на карьерах наблюдались деформации бортов и уступов, обусловленные неправильным выбором схемы дренажных мероприятий, или, наоборот, объемы дренажных работ необоснованно завышались, вызывая неоправданные затраты, выражавшиеся в миллионах рублей, вследствие чего на некоторых месторождениях себестоимость полезного ископаемого увеличивалась на 25-30%.

В настоящее время вопросы увязки схем осушения с задачами обеспечения устойчивости бортов карьеров в специальной литературе освещены весьма слабо, в частности:

- 1) не выяснено, какие из применяемых ныне схем осушения являются наиболее целесообразными в тех или иных условиях с точки зрения обеспечения устойчивости бортов карьеров;
- 2) отсутствует обобщающая работа, в которой были бы систематизированы и сведены воедино имеющиеся решения;
- 3) отдельные частные решения не всегда в достаточной степени учитывают специфику открытых горных выработок.

Отсюда становится очевидной необходимость составления "Методического пособия по дренажу месторождений полезных ископаемых, разрабатываемых открытым способом", которое позволило бы проектным организациям максимально увязать схемы осушения не только со схемами отработки, но и с вопросами обеспечения устойчивости бортов карьеров.

ВНИИМ, как головной институт по исследованию устойчивости бортов карьеров, с 1962 г. ведет работу по составлению такого пособия. В этом пособии будут рассмотрены основные принципы осушения, намеченные оптимальные схемы дренажа в зависимости от гидрогеологических, инженерно-геологических и горнотехнических условий и приведены методы расчетного обоснования этих схем.

В основу работы положены исследования, проведенные лабораторией устойчивости бортов карьеров ВНИИМ на месторождениях: КМА, Соколовско-Сарбайском (железородном), Никопольского марганцево-рудного бассейна, Подмосковного, Канско-Ачинского, Челябинского, Байкирского и Северо-Уральского угольных бассейнов, Боровичском (огнеупорных глин), Уральских (никелевых) и Зырянском (полиметаллическом). В работе также использована практика осушения таких месторождений, как Днепровские (угольные), Роздольское (серное), Тихвинские (бокситовые), Завальевское (графитовое), Янтарное, Калужское (соляное), Ангренское (угольное), Сибайское (меднорудное), Высокогорское (железородное) и др. Наконец, приняты во внимание богатый опыт водопонижения в гидротехническом строительстве.

Первая редакция пособия, составленная в 1963 году, была рассмотрена рядом научных, проектных и производственных организаций ("Укрниипроект", "Ленгипрошахт", "Гипроруда", "Уралгипрошахт", "Союзшахтоосушение", "Фундаментпроект", Соколовско-Сарбайский горно-обогатительный комбинат, комбинат "КМА-руда", Лаборатория гидрогеологических проблем им.Саваренского, Ленинградский горный институт).

Авторы приносят глубокую благодарность за сделанные полезные замечания, которые были учтены при составлении настоящей второй редакции пособия, излагаемой в сокращенном варианте.

Данная работа будет положена в основу первого раздела "Методического пособия по дренажу месторождений полезных ископаемых, разрабатываемых открытым способом", в составлении которого участвуют ряд организаций.^{х)}

х) Одновременно институтом ВНИИМ выпускаются материалы ко второй части указанного пособия ("Фильтрационные расчеты осушения карьерных полей").

РАЗДЕЛ 1.

ВЛИЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД НА РАЗРАБОТКУ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

Практика строительства и эксплуатации карьеров показывает, что подземные и поверхностные воды во многих случаях вызывают существенные осложнения в процессе ведения открытых горных работ. В этом плане влияние природных вод представляет интерес с трех точек зрения:

- 1) влияние на устойчивость бортов, откосов уступов и отвалов;
- 2) влияние на качественную характеристику (влажность) полезного ископаемого;
- 3) влияние на работу вскрышного и транспортного оборудования и на ведение буровзрывных работ.

Глава 1

ВЛИЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСОВ

§ 1. Влияние природных вод на общую устойчивость откосов за счет изменения напряженного состояния пород

Напряженное состояние пород в обводненных откосах изменяется под воздействием гидростатических и гидродинамических сил, а также вследствие увеличения объемного веса пород в зоне аэрации при увлажнении.

А. Значение гидростатических сил

Как и всякие тела, находящиеся под водой, горные породы, при залегании их ниже уровня подземных вод (рис.1), испытывают действие сил гидростатического взвешивания. Изменяя напряженное состояние пород в откосе, эти силы обычно приводят к относительному уменьшению "удерживающих" сил и снижают степень устойчивости откоса. Такова, например, природа многих оползней, наблюдавшихся при затоплении отработанных карьеров, при заполнении водохранилищ и т.п. При этом, как показывают расчеты, наилучшие условия отмечаются при подтоплении неспящего откоса примерно на $1/3$ высоты.

Аналогичная картина наблюдается в бортах карьеров, в основании которых находится недренируемые напорные водоносные горизонты ^{х)}, что особенно важно при наклонном залегании слоев. Например, напорные

х) В этом случае обычно весьма существенную роль играет и гидродинамическое давление (п.Б).

воды являются основной причиной оползней на карьерах Северо-Уральского бурогоугольного бассейна и на ряде других карьеров.

Подчеркнем, что песчаные грунты, залегающие ниже уровня подземных вод подвергаются полному взвешиванию; что касается глинистых пород, то, как показывают исследования Н.М.Герсевича /5/, полному взвешиванию подвергаются те из них, влажность которых выше максимальной молекулярной влагоемкости; для плотных жирных глин, в которых все поры заполнены молекулярной водой, коэффициент взвешивания равен нулю.



Рис. I. Схема к расчету устойчивости обводненного откоса

Следовательно, при расчете устойчивости откосов на участках, где кривая скольжения проходит в глинах второго типа, взвешивание не должно приниматься во внимание, при этом в расчет следует вводить объёмный вес вышележащих пород при полном заполнении пор водой ($\gamma_{\text{нас.}}$):

$$\gamma_{\text{нас.}} = \Delta(1 - n) + \Delta_0 n, \quad (\text{I.I})$$

где Δ_0 и Δ — удельный вес, соответственно, воды и грунта,
 n — пористость.

В качестве примера подобного рода пород можно привести некоторые разновидности келловейских глин Михайловского месторождения КМА, в которых вся вода является молекулярной (связанной).

Конечно, сделанное замечание о коэффициенте ввешивания глинистых пород не распространяется на плотные глины с достаточно развитой трещиноватостью: передача гидростатического давления водой, заключенной в сообщающихся между собой трещинах, приводит к "полному" ввешиванию этих пород.

Б. Значение гидродинамических сил

Фильтрующаяся вода, встречая сопротивление породы, оказывает на нее гидродинамическое давление. Это давление направлено вдоль линии тока и является объёмной силой, удельная (на единицу объёма) величина которой определяется формулой:

$$D_0 = \Delta_0 J, \quad (I.2)$$

где J — градиент потока.

Расчеты показывают, что при больших перепадах напоров сила D_0 может достигать весьма значительных величин, снижая коэффициент запаса устойчивости откоса на десятки процентов. Оползневые деформации, вызванные действием гидродинамического давления, неоднократно наблюдались как на естественных склонах, так и на различных земляных сооружениях (дамбы, плотины и т.п.).

Роль гидродинамического давления особенно существенна в глинистых породах, где градиенты могут измеряться значительными величинами. Например, при наличии в лежащем боку напорных недренируемых горизонтов (рис.2) восходящая фильтрация через "водоупорные" слои (в сторону выработанного пространства) приводит к возникновению гидродинамических сил, выражаемых формулой:

$$F_{гд} = \Delta_0 (m - y) \frac{H_0 - H_B}{m} \quad (I.3)$$

При больших напорах эти силы могут существенно снижать "эффективные" напряжения на скелет глинистых пород, что приводит к уменьшению сил трения.

Этот процесс является одной из причин возникновения оползней пород лежащего бока на карьерах Северо-Уральских бурогольных месторождений.

Гидростатическое ввешивание и гидродинамическое давление оказывают существенное воздействие на устойчивость борта в целом при условии, что значительная часть "призмы возможного оползания" находится ниже депрессионной (пьезометрической) кривой, или же при больших перепадах напоров в прибортовой зоне. Поэтому особое значение эти силы приобретают в следующих случаях:

- 1) в условиях подтопленного откоса (например, при работе плавучих земснарядов или в затопленных отработанных карьерах);
- 2) при наличии вблизи откоса недренированных напорных вод;
- 3) при разработке карьера вблизи реки или открытого водоема (расстояние до реки соизмеримо с глубиной залегания горизонта);
- 4) в откосах гидроотвалов;
- 5) при вскрышной толще, представленной переслаиванием слабесфильтрующих глинистых песков и песчаных глин, при отсутствии хорошо фильтрующих прослоев.

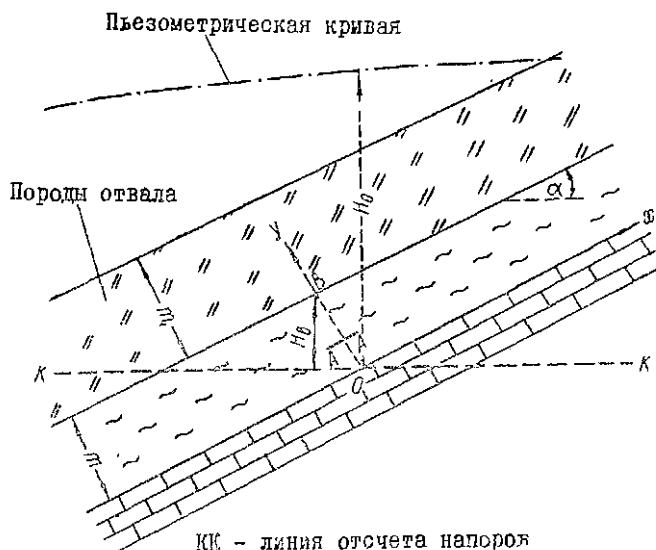


Рис. 2. Схема к определению "эффективных" напряжений

Весьма часто, однако, встречаются случаи, когда вокруг карьера образуется пологая депрессионная воронка, так что вавешиванию (относительно "кривой скольжения") подвергается лишь небольшая часть пород в прибортовой зоне, а градиенты измеряются малыми величинами; поэтому роль гидростатических и гидродинамических сил оказывается сравнительно незначительной. Так, на Лебединском карьере КМА, как показывают расчеты /18/, эти силы снижают коэффициент запаса устойчивости, в среднем, на 3-4%, на Сарбаиском — на 4-5%. Еще меньше оказывается разница в степени устойчивости откосов в условиях загрядительного дренажа и в условиях открытого водоотлива: в приведенных примерах она не превышает 2%.

В этом состоит существенное отличие карьеров от котлованов гидротехнических сооружений, а также откосов земляных плотин.

В. Влияние увеличения объемного веса пород при увлажнении

Если породы залегают выше уровня грунтовых вод, то дополнительное поступление воды извне (например, за счет атмосферных осадков) приводит к возрастанию их объемного веса. В большинстве случаев это вызывает относительное увеличение сдвигающих сил и уменьшение степени устойчивости откоса. Необходимо учитывать, что при увлажнении глинистых пород большее влияние, чем увеличение объемного веса, оказывают другие факторы: уменьшение сопротивления сдвигу (см. § 4), гидростатическое и гидродинамическое давление.

Г. Расчет устойчивости обводненных откосов

Расчет устойчивости обводненных откосов целесообразно проводить с использованием тех же исходных предпосылок, что и в случае откосов необводненных. В большинстве случаев достаточно точные результаты дает метод, основанный на замене объемных гидростатических и гидродинамических сил контурными силами.

Расчет при этом ведется в следующей последовательности (рис. I):

1. Определяется положение "наиболее слабой поверхности скольжения" необводненного откоса; методы отыскания такой поверхности подробно описаны в литературе /17/.

2. Определяется положение депрессионной кривой и линий равных напоров, для чего используются аналитические и графические приемы или моделирование на приборе ЭГДА. Отсчет напоров может вестись от произвольной горизонтальной прямой (AA).

3. Участок, заключенный между линией откоса и "кривой скольжения", разбивается вертикалями на блоки. Результирующая сила гидростатического и гидродинамического давлений определяется по выражению:

$$F_v = \gamma_0 (H - y_v) \frac{a_v}{\cos \varphi_v} \quad , \quad (I.4)$$

где H — средний напор в пределах блока;
 y_v — средняя ордината кривой скольжения в пределах блока (отсчитывается от AA);
 a_v — ширина блока;
 γ_0 — объемный вес воды;
 φ_v — угол наклона касательной к кривой скольжения".

Сила P_i направлена нормально к "поверхности скольжения" и приложена в средней точке ее в пределах блока.

4. Коэффициент запаса устойчивости откоса определяется по формуле:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n [(P_i \cos \varphi_i - P_i) \operatorname{tg} \rho_i + k_i L_i]}{\sum_{i=1}^n P_i \sin \varphi_i}, \quad (1.5)$$

где P_i - вес блока вместе с заключенной в нем водой (объемный вес ниже уровня грунтовых вод принимается равным $\gamma_{\text{нас. см. (1.1)}}$); ρ_i и k_i - угол трения и сцепление, L_i - длина i -го участка кривой.

В случае подтопленного откоса формула (1.5) принимает вид:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n \{ [P_i \cos \varphi_i + P_i^0 \cos(\alpha - \varphi_i) - F_i] \operatorname{tg} \rho_i + k_i L_i \}}{\sum_{i=1}^n [P_i \sin \varphi_i - P_i^0 \sin(\alpha - \varphi_i)]}, \quad (1.6)$$

где α - угол откоса; P_i^0 - вес "свободной" (находящейся выше линии откоса) воды в пределах блока.

5. Для повышения точности расчета положение "наиболее опасной кривой скольжения" уточняется путем подбора.

Пример расчета приведен в приложении F 1.

§ 2. Развитие процессов механического выноса под воздействием подземных и поверхностных вод

Механический вынос частиц горных пород может происходить под действием как подземных, так и поверхностных вод. Деформации такого рода, вызванные подземными (фильтрующимися) водами, мы будем называть фильтрационными.

Сюда относятся механическая суффозия, выпор, оплывание, фильтрационные вынос вдоль трещин. Фильтрационные деформации носят локальный характер, но при неблагоприятных условиях, постепенно прогрессируя, они могут привести к нарушению устойчивости борта в целом.

1. Механическая суффозия

При фильтрации воды через массив горных пород из него, под влиянием гидродинамических сил, иногда происходит вынос наиболее мелких частиц (механическая суффозия). Согласно исследованиям В.С.Истоминной [8], суффозионные явления наблюдаются преимущественно в песчаных грунтах с коэффициентами неоднородности $\eta > 15-20$. Построенный В.С.Истоминной опытный график (рис.8) зависимости между коэффициентами неоднородности и критическими (с точки зрения

возникновения выноса) градиентами $J_{кр}$ показывает, что при величинах $\eta < 10$ суффозионные явления возникают лишь при весьма больших градиентах (0,5–1,0).

Такие градиенты фильтрации в песчаных породах в практике эксплуатации карьеров встречаются крайне редко и лишь на весьма ограниченных участках, где они вызывают местный выпор грунта (см. ниже). Поэтому оценку возможности суффозии в откосах следует проводить лишь для грунтов с коэффициентами неоднородности $\eta > 15-20$. Для этого вычисляются ожидаемые градиенты потока в прибортовой зоне; в простейших случаях их можно определить исходя из аналитических решений. В более сложных случаях следует пользоваться моделированием на приборе АГДА или графическим построением "сетки движения".

Полученные градиенты сравниваются с критическими градиентами, который можно определить путем эксперимента или приближенно – по графику В.С.Истоминной; суффозия возможна при $J \geq J_{кр}$. Как правило, в неоднородных несвязных грунтах суффозия может развиваться лишь в ограниченных зонах, вблизи промежутка высачивания подвешенных вод.

В связных грунтах, благодаря наличию сцепления, суффозионные явления не получают существенного развития [8]. В целом, суффозию можно охарактеризовать как весьма редкий тип фильтрационных деформаций откосов на карьерах.

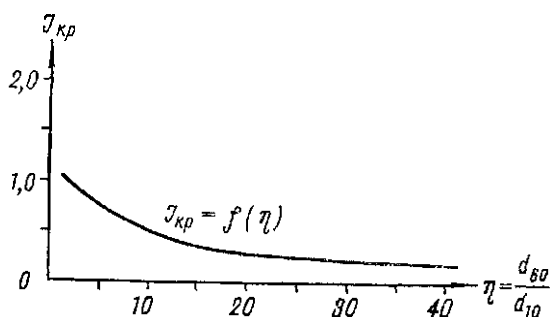


Рис. 3. График зависимости $J_{кр} = f(\eta)$ по В.С.Истоминной

2. Фильтрационный выпор

Фильтрационный выпор – это такое разрушение грунта, при котором приходит в движение некоторый его объём (все слагающие грунт фракции). Выпор протекает под влиянием гидродинамического давления и сил тяжести; в отличие от оползней обычного типа гидродинамические силы играют здесь основную роль.

Для затопленной части откоса:

$$\operatorname{tg} \alpha \approx (1 - J) \operatorname{tg} \rho, \quad (1.7)$$

где ρ – угол трения,

α – угол откоса, устойчивого на выпор,

J – градиент, определяемый на приборе ЭГДА.

Расчеты показывают, что обычно градиенты J оказываются существенными в небольшой зоне подтопленного откоса, прилегающей к линии уреза воды. В этой зоне имеет место локальный выпор грунта, в результате которого угол подводного откоса уменьшается на небольшом участке; эти деформации носят местный характер и в подавляющем большинстве случаев не могут вызвать каких-либо осложнений в ходе горных работ.

В пределах незатопленного откоса – на промежутке высачивания – подобные деформации не наблюдаются, так как здесь решающее значение приобретает уменьшение угла наклона откоса за счет оплывания (см. п.3). Поэтому проверку песчаных незатопленных откосов на выпор (при отсутствии фильтрующей пригрузки) обычно можно не делать. Если же откос пригружается дренажной прямой, то толщина ее, обеспечивающая устойчивость откоса, может быть найдена с помощью графика (рис.4).

В случае несовершенных котлованов выпор может развиваться на некоторых участках их дна, где он проявляется в виде отдельных грифонов, несущих взвешенные частицы грунта. Опыт, однако, показывает [20], что такие грифоны обычно не приводят к каким-либо ощутимым деформациям, т.к. они захватывают лишь весьма ограниченные зоны. Это объясняется тем, что образование грифона на каком-либо участке вызывает падение напоров на прилегающих участках, в результате чего процесс выноса локализуется.

Опыт вскрытия многих карьеров (Грушевский, Сарбайский и т.д.) подтверждает вывод о том, что донный выпор не представляет обычно опасности для устойчивости бортов и откосов уступов.

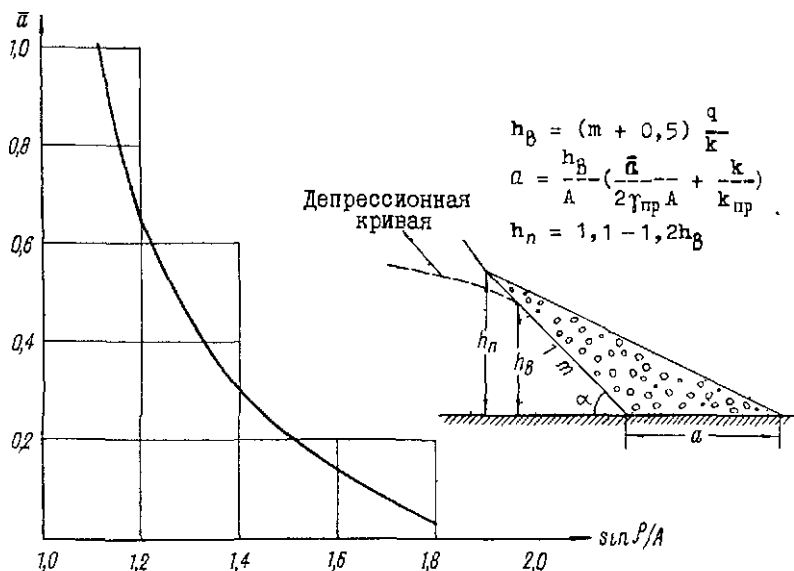


Рис. 4. Схема для определения параметров пригрузочной призмы

q - расход, притекающий к откосу; k и $k_{пр}$ - коэффициенты фильтрации грунта и материала пригрузки; $\gamma_{пр}$ - объемный вес материала пригрузки; ρ - угол трения грунта; $A = \sin \alpha (1 - \frac{k}{k_{пр}} \cos \alpha)$

Примечания: 1. Для величины a рекомендуется коэффициент запаса $\eta = 1,2-1,4$.

2. Для откосов на проницаемом основании величина a дополнительно увеличивается на 15%.

Особым видом донного выпора являются деформации, вызванные прорывом подземных вод. Они происходят под действием напорных вод, когда "водоупор" не может воспринять оказываемого на него гидростатического давления. В результате прорыва некоторый объем водоносных (несвязных) пород (рис. 5) подвергается выпору и приходит в движение. Условие отсутствия прорыва выражается приближенной формулой:

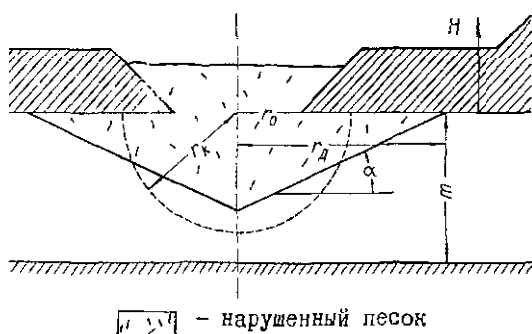
$$H < \frac{\gamma}{\gamma_0} m + \tau_{ср} m P, \quad (1.8)$$

где H - напор, P - периметр вскрытого участка, m - мощность "водоупора", $\tau_{ср}$ - его среднее сопротивление сдвигу, γ и γ_0 - объемный вес породы и воды.

В связи с возможностью прорывов, напорные горизонты при проектировании карьеров нередко вызывают совершенно неоправданные опасения, которые мотивируются возможностью нарушения устойчивости бортов. При этом в качестве примеров приводятся подземные горные выработки и котлованы гидротехнических сооружений.

Такая аналогия является совершенно ошибочной. Прорывы в подземные горные выработки приводят к недопустимым последствиям в силу малых размеров водоприемного пространства и, главным образом, расположения этих выработок внутри массива горных пород. Местные прорывы подземных вод в карьер по своим последствиям не могут иметь ничего общего с приведенным случаем. При строительстве гидротехнических котлованов всякое нарушение дна, которое будет впоследствии служить основанием для тяжелых сооружений, является нежелательным, так как оно может привести к неравномерным осадкам; к подожве карьера никогда не предъявляется столь высоких требований. Повтому прорыв напорных вод обычно не должен вызывать опасений с точки зрения устойчивости бортов. Это хорошо подтверждается, в частности, и опытом строительства ряда карьеров Никопольского бассейна, Батьковского карьера и т.д.

В случае грунтов, обладающих сцеплением, деформации типа выпора могут иметь существенное значение для слабо-фильтрующих песчаных глин и глинистых песков, в которых они развиваются параллельно с процессами набухания-разупрочнения (см. § 4). Такого



рода деформации отмечаются, например, в неом-волжских песчаных глинах Михайловского месторождения ЮМА (см. подробнее § 4). Расчет угла откоса, устойчивого на выпор, в таких случаях должен проводиться подбором по круглоцилиндрическим "поверхностям скольжения", в соответствии с методами, изложенными в § 1, с использованием графиков сопротивления сдвигу, учитывающих набухание (см. § 4).

Рис. 5. Схема деформированной зоны при прорыве напорных вод

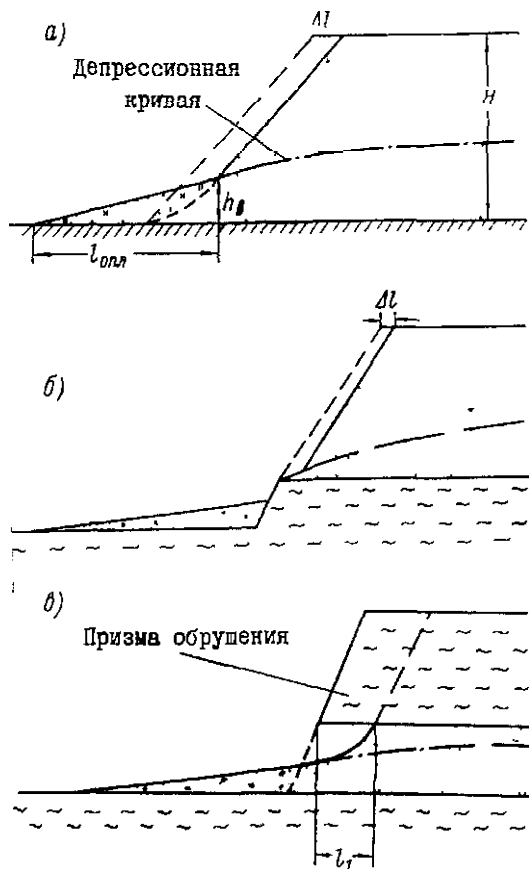
3. Оплывание

Под оплыванием понимается перенос и переотложение грунтовых частиц подземными водами, вытекающими на откос в пределах промежутка высачивания. Это сугубо поверхностный процесс, развитый наиболее широко в песчаных грунтах. Именно оплывание песков на рабочем борту часто вызывает основные трудности при работе вскрышного оборудования. При этом зона оплывающего песка (рис. 6а) может иногда захватить весьма широкую полосу и привести к нарушению общей устойчивости борта.

Оценка характера оплывания откоса может быть проведена с помощью детальной разработанной методики В.М.Шестакова /13/ (см. ч. II, приложение F 1).

Важно подчеркнуть, что процесс оплывания песков идет относительно равномерно лишь в том случае, когда перед откосом имеется площадка для размещения оплывающих масс песка.

Если же водоупор пересекает линию откоса в точке, лежащей выше основания уступа (рис. 6б), то оплывание характеризуется резко выраженной неравномерностью; процесс локализуется на отдельных небольших



--- - первоначальное положение откоса,

п - оплывший песок.

а) Схема оплывающего откоса.

б) Схема оплывающего откоса при "подрезанном водоупоре".

в) Схема образования "козырьков нависания" при оплывании.

Рис. 6.

(по фронту откоса) участках, где он протекает весьма интенсивно (образуются промоины, а при устойчивых сводах - пещеры), в то время как на остальной части откоса выражен сравнительно слабо. Естественно, что в таких случаях какие-либо расчеты неприменимы и следует ориентироваться на опытные данные.

Оплывание песков предотвращается путем пригрузки фильтрующего откоса тонким (20-30 см) слоем крупнозернистого материала.

В связных грунтах оплывание имеет гораздо меньшее значение и обычно может не учитываться. Однако, оплывание может явиться косвенной причиной деформации глинистых пород, перекрывающих оплывающие пески: в этом случае оплывание песков приводит к образованию в глинах "ковырьков нависания" (рис. 6в), так что глинистый откос под влиянием гравитационных сил обрушается (формулы для определения величины γ_1 , приведены в работе /13/). Обрушившаяся масса глин скапливается в пределах промежутка высачивания, насыщается водой, теряет сцепление и оплывает до образования весьма пологого откоса ($4-6^\circ$). Такие процессы имеют место, например, на Зыряновском карьере.

4. Фильтрационный вынос вдоль трещин

Фильтрационный вынос вдоль трещин может развиваться в слабо-сцементированных породах, обладающих естественной трещиноватостью. Этот процесс носит эрозионный характер, напоминая, до некоторой степени, размыв русла открытым потоком. При определенных условиях фильтрационный вынос может привести к образованию подземных пустот и провальных воронок. Ввиду большой сложности данного процесса математическая интерпретация его пока не получена. Поэтому единственным критерием здесь могут являться практические наблюдения за фильтрующими откосами. Ясно, что чем больше угол откоса, тем быстрее вырабатывается профиль эрозионного равновесия (рис. 7) и тем быстрее затухает процесс выноса. Так, наблюдения, проведенные на Лебединском карьере (МА /11/, показали, что на тех участках борта, где угол наклона не превышал $20-25^\circ$, вынос частиц вдоль трещин в сцементированных разностях песков сеномана быстро прекращался, так что нарушений на этих участках не наблюдалось. Наоборот, при крутых углах наклона вынос быстро прогрессировал, в процесс вовлекались все новые массы песка, так что в конечном счете образовались подземные пустоты, сопровождавшиеся провальными воронками на поверхности.



Рис. 7. Схема образования конусов выноса при различных углах наклона подводного откоса

В целом, этот вид деформаций встречается редко и может получить заметное развитие лишь в слабосцементированных (сцепление меньше $0,2-0,3 \text{ кг/см}^2$) рыхлых песчаниках.

Таким образом, фильтрационные деформации при определенных условиях могут привести к существенным нарушениям откосов. Борьба с ними может вестись либо заградительным дренажем, либо путем устройства фильтрующей пригрузки в пределах промежутка высачивания (последнее, конечно, не относится к деформациям, вызванным прорывом напорных вод).

5. Поверхностная эрозия

Поверхностной эрозии подвержены песчано-глинистые рыхлые породы, слагающие борта карьеров и отвалы. Эрозия развивается под действием достаточно долговременных поверхностных потоков, образованных за счет атмосферных или технических вод, а также подземных вод, вытекающих в карьер; в этом случае поверхностная эрозия нередко приводит к существенным деформациям отдельных уступов.

При наличии сосредоточенных потоков (например, потоки по водосборным канавам) эрозионную деятельность поверхностных вод следует учитывать путем назначения уклонов, не превышающих критических (см. приложение № 2).

§ 3. Выщелачивание и растворение пород в процессе строительства и эксплуатации карьеров

Выщелачиванию подземными водами чаще всего подвергаются карбонатные трещиноватые породы (карстообразование). Эти процессы происходят медленно, и поэтому ожидать интенсивного развития их непосредственно при отработке месторождений нет оснований, что подтверждается и опытом

работы большого числа карьеров. Однако, наличие е с т е с т в е н н ы х открытых карстовых полостей накладывает отпечаток на характер горных работ, так как при вскрытии их возможны значительные водопритоки и вынос рыхлого заполнителя.

Особым случаем является соляной карст, связанный с растворением солей (галита, ангидрита и т.д.), который может служить причиной деформации бортов карьеров, так как процесс растворения происходит быстро. Например, на Калужском карьере вследствие выщелачивания солей образовались многочисленные провальные воронки на значительном (до 150-200 м) удалении от откоса.

Наконец, растворением цементирующих соединений обусловлены деформации в лессовых породах (просадки). Эти деформации носят локальный характер и, как показывает опыт, не оказывают обычно существенного влияния на устойчивость уступов карьера.

§ 4. Изменение механических свойств горных пород под влиянием подземных и поверхностных вод.

А. Рыхлые (несвязные) породы

Известно, что чистые песчано-гравелистые отложения практически не меняют своего сопротивления сдвигу под воздействием воды. Отметим, в частности, что уменьшение сил внутреннего трения в песках при наличии восходящих потоков (т.наз. "псевдоплывуны") связано не с изменением свойств песков, а с изменением их напряженного состояния за счет гидродинамических сил.

Все известные нам и описанные в литературе случаи проявления породами "плывунных" свойств в открытых горных выработках были связаны с гидродинамическим давлением. Поэтому следует крайне осторожно относиться к данным о "плывунной" природе тех или иных пород, столь часто встречающимся в отчетах разведочных организаций, которые склонны относить к "плывунам" широкий круг пород, начиная от чистых мелко- и среднезернистых песков и кончая плотными песчаными глинами. При этом часто единственным основанием для такого рода выводов служит появление "пробоя" разрыхленных пород в скважинах, которое вызвано гидростатическим и гидродинамическим давлением подземных вод. В результате в практике открытых горных работ мы очень часто сталкиваемся с тем фактом, что породы, предварительно охарактеризованные как "плывунные", обладают высокой степенью устойчивости в откосах даже в условиях свободного выщелачивания подземных вод.

Очевидно, в условиях открытых горных работ свойства "истинных пылунов" могут проявлять лишь некоторые пылеватые породы в старых отвалах.

Что касается глинистых песков, то в этих породах наличие воды обычно способствует уменьшению сопротивления сдвигу, о чем можно судить, проводя испытания на сдвиг при различной плотности-влажности.

Б. Мягкие связанные (глинистые) породы

В процессе строительства и эксплуатации карьера водонасыщенные глинистые породы могут менять свою прочность (сопротивление сдвигу) в основном, под влиянием порового давления и процессов набухания-раууплотнения.

Известно, что при увеличении внешней нагрузки на образец водонасыщенной глинистой породы в нем возникает п о р о в о е д а в л е н и е (избыточное по сравнению с первоначальным), обусловленное тем, что поровая вода воспринимает на себя некоторую долю приложенной нагрузки. В результате эррективные напряжения на скелет грунта уменьшаются, так что сопротивление сдвигу оказывается меньше, чем у ненасыщенного водои образца, обладающего той же первоначальной плотностью.

В бортах карьеров, при отсутствии дополнительных нагрузок, поровое давление возникает редко, так как напряжения в пределах приемы возможного оползания, вследствие выемки грунта, как правило, меньше "бытовых". Если же на какой-либо уступ глинистых пород действуют дополнительные внешние нагрузки, то в глинах может проявляться поровое давление. Такие условия характерны, например, для пород лежачего бока, пригружаемых внутренними отвалами.

В откосах отвалов поровое давление может иметь место весьма часто: оно возникает при тех напряжениях, при которых грунт переходит из трехфазной среды (порода-вода-воздух) в двухфазную (порода-вода). Поровое давление является, например, одной из основных причин многочисленных деформации отвалов карьеров Никопольского марганцевозудного бассейна.

Влияние порового давления на сопротивление пород сдвигу можно оценить путем проведения испытаний на стабилометре в закрытой системе или (менее точно) путем испытаний на одноплоскостных приборах по схеме "быстрого сдвига".

Другим фактором, связанным с воздействием воды, является н а б у х а н и е глинистых пород: под влиянием снижения внешней

нагрузки, вызываемого выемкой вытесняемых пород, глины, при наличии подтока воды, увеличивают свою пористость и поэтому сопротивление сдвигу падает. Как показывают компрессионные испытания, заметное набухание возникает чаще всего при разгрузке глин до достаточно малого напряжения (порядка $0,5-2 \text{ кг/см}^2$), называемого "эффективной силой набухания".

В приповерхностной зоне глины (особенно песчаные) нередко почти полностью теряют сцепление и под действием гидродинамических сил, при достаточно больших углах, оказываются неустойчивыми в откосах. Поэтому некоторая масса грунта оползает, нагрузка на обнажившиеся участки породы, вследствие оползания, уменьшается, набухание этого участка, соответственно, усиливается и через некоторое время оползает новый объем пород. Процесс идет циклически, причем, несмотря на малость объема грунта, участвующего в одном цикле (обычно захватывается полоса шириной от нескольких десятков сантиметров до 1-2 метров), в конечном счете в процесс вовлекаются значительные массы горных пород. Оползшие массы, скапливаясь на откосе, продолжают насыщаться водой и через некоторое время могут снова придти в движение (оползание глинистых пород). Такие деформации получили широкое развитие, например, на Михайловском карьере КМА.

Уменьшение давления на глинистый пласт, приводящее к набуханию, может быть связано не только непосредственно с выемкой вытесняемых пород, но и с другими факторами. Например, эффективное давление может уменьшаться под действием гидродинамических сил, возникающих при восходящей фильтрации через глины (см. рис. 2).

Остановимся теперь на вопросе о влиянии дренажных работ на предупреждение процессов набухания-равнопрочнения глинистых пород.

Прежде всего отметим, что сами набухающие породы обычно настолько слабо отдают воду, что практически они не дренируются. Некоторый эффект в этом отношении может дать лишь применение специальных средств дренажа (вакуумирование, электроосмос, частая (через $0,5-1 \text{ м}$) сетка мелких скважин и т.п.) в песчаных глинах; однако, в настоящее время использование их экономически невыгодно.

Гораздо более эффективно можно бороться с набуханием, осушая контактирующие с глинами водоносные горизонты. Поэтому дренаж, в тех случаях, когда он полностью устраняет возможность дополнительного увлажнения глинистых пород, оказывается наиболее эффективным средством улучшения (сохранения) прочностных свойств этих пород. Сюда относятся два основных случая:

1) глинистые породы залегают в подошве водоносного горизонта, причем падение слоев направлено в сторону от откоса;

2) глинистые породы залегают в кровле (напорного) водоносного горизонта.

Совершенно иные условия имеют место в тех случаях, когда залегание слоев горизонтальное или когда падение слоев направлено в сторону карьера; здесь дренажные работы обычно не могут существенно улучшить прочностные свойства глинистых пород (исключением являются те случаи наклонного залегания, когда можно за сравнительно короткий период добиться полного истощения горизонта). Это объясняется тем, что полное осушение водоносных пород в условиях горизонтального залегания не может быть достигнуто: оставшееся в водоносном слое количество воды, ничтожное с точки зрения водопритоков, оказывается вполне достаточным для того, чтобы набухание нижележащих глин проявилось в полной мере; при наклонном залегании такое же влияние оказывает даже слабое питание горизонта атмосферными водами.

Таким образом, к оценке роли дренажа в улучшении прочностных свойств глинистых пород следует подходить дифференцированно: в одних случаях улучшение может быть весьма существенным, в других же - совершенно неощутимым.

Все сказанное не относится, конечно, к породам, залегающим выше уровня подземных вод, в которых коэффициент насыщения меньше 1. В этих случаях дополнительное увлажнение почти всегда приводит к ухудшению прочностных свойств глинистых пород (набухание, растворение цемента и т.д.). Поэтому следует, по возможности, не допускать дополнительного поступления вод (главным образом, атмосферных и технических) в такие породы.

Для оценки степени снижения прочности глин при разбухании предварительно проводятся испытания на сдвиг глинистых образцов, выдержанных под водой при различных нормальных напряжениях. По результатам испытаний строится график сопротивления сдвигу, который в дальнейшем используется при расчете устойчивости откоса.

Набухание наиболее важно учитывать при расчете устойчивости отдельных уступов, когда "поверхность скольжения" проходит на небольшой глубине; однако, для глин с большой "эффективной силой набухания" (более 2-3 кг/см²) оно может существенно влиять и на устойчивость борта в целом.

Глава II.

ВЛИЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД НА КАЧЕСТВО ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО И НА ТЕХНОЛОГИЮ ГОРНЫХ РАБОТ

§ 1. Влияние подземных и поверхностных вод на качественную характеристику полевого ископаемого

Увеличение влажности полевого ископаемого во многих случаях является нежелательным по технологическим соображениям. Например, уменьшение влажности угля на 1% сокращает затраты на брикетирование на 5-8%.

Характерно, что при открытой разработке месторождений влажность добываемого полевого ископаемого очень часто оказывается выше "бывшей" (геологической) влажности. Это объясняется либо тем, что в результате выемки вышележащих пород полевое ископаемое претерпевает процесс набухания (если оно представлено сланцами к набуханию породами), либо же тем, что полевое ископаемое под влиянием экскавации и буровзрывных работ частично разрыхляется и впитывает дополнительную влагу. Источником увеличения влажности могут служить подземные воды, приуроченные к полемому ископаемому или к граничащим с ним слоям, атмосферные осадки, а также воды, стекающие с вышележащих уступов.

Во многих случаях эффективным средством для удаления влаги из полевого ископаемого или для предотвращения дополнительного его увлажнения является дренаж полевого ископаемого или граничащих с ним водоносных пород, а также организация внутрикарьерного стока. Например, на Юрковском угольном карьере влажность угля была понижена дренажными работами на несколько процентов; это привело к сокращению затрат на брикетирование углей на 20-30%.

Следует иметь в виду, что в тех случаях, когда гравитационная вода в породах продуктивной толщи вообще отсутствует, влажность их может быть понижена лишь специальными средствами дренажа (например, электроосмосом).

§ 2. Влияние подземных и поверхностных вод на работу горного и транспортного оборудования и на буровзрывные работы

При открытой разработке полезных ископаемых выход воды непосредственно на рабочие уступы, а также увлажненность пород приводят к дополнительным осложнениям в производстве вскрышных и добычных работ. Здесь можно отметить следующие факторы.

1. Затрудненность ведения горных работ при очень больших водопритоках вследствие подтопления горного и транспортного оборудования. Это относится к случаю работы экскаваторного оборудования; при использовании средств гидромеханизации вода является фактором, способствующим улучшению условий отработки. Для ограничения водопритоков могут использоваться дренажные устройства.

2. Трудности (а иногда — и невозможность) ведения вскрышных и добычных работ при развитии существенных фильтрационных деформаций пород (см. главу 1). Обычно основные затруднения в работе горного оборудования возникают в связи с оплыванием песчаных пород и циклическими обрушениями уступов песчано-глинистых пород (см. гл. 1, §§ 2, 4). Степень влияния этих процессов, при прочих равных условиях, зависит от типа вскрышного или добычного оборудования. Так, для экскаваторов типа мехлопат, работающих в условиях крутых уступов, а также для многочерпаковых экскаваторов развитие циклических обрушений в песчаных глинах, вызванное действием подземных вод (гл. 1 § 4), приводит нередко к необходимости замены запроектированного оборудования: мехлопаты или многочерпаковые экскаваторы заменяются драглайнами, на работу которых упомянутые процессы влияют в малой степени, или гидромониторными установками.

С точки зрения развития языков оплывания (гл. 1, § 2), наибольшие ограничения налагает применение многочерпаковых экскаваторов верхнего черпания и экскаваторов типа мехлопат: длина языков оплывания в этом случае не должна превышать 4–8 м. При работе роторных экскаваторов допустимая длина языка оплывания лимитируется параметрами экскаваторов, в частности, удалением путей от основания уступа. Для драглайнов максимально допустимая длина языка оплывания определяется в каждом конкретном случае шириной заходки и длиной стрелы экскаватора; обычно она превышает 12–15 м. Особенно большие языки оплывания допускаются при отработке пород гидромониторными установками: в этом случае их длина лимитируется только требуемой шириной вышерасположенной рабочей бермы; обычно может быть допущена длина языков оплывания порядка 30–40 м.

Для ограничения длины языков оплывания могут эффективно использоваться дренажные устройства.

3. Ухудшение условий работ в зимнее время, обусловленное:

а) снижением производительности экскаваторов вследствие промерзания пород, образования наледей и намерзания пород на зубья и стенки ковша;

б) снижением производительности транспорта, связанным со смерзаемостью и примерзанием породы к стенкам и дну транспортных сосудов.

Важно подчеркнуть, что для промерзания обычно достаточно атмосферной влаги и той части подземных вод, которая остается в порых после снижения первоначального уровня. Этот вывод подтверждается всем опытом эксплуатации карьеров в зимних условиях. Поэтому дренаж, как правило, не может предотвратить промерзания пород. Исключение возможно лишь для крупнозернистых грунтов и трещиноватых пород.

Наряду с промерзанием пород, на работе ряда карьеров в зимнее время существенно сказывается образование наледей за счет вытекающих на откос подземных вод. Опыт показывает, что наледеобразование развивается в заметных масштабах в районах с достаточно низкими зимними температурами (средняя температура трех наиболее холодных месяцев ниже $-25-30^{\circ}$). Для предотвращения образования наледей могут эффективно использоваться дренажные мероприятия.

4. Налипание глинистых грунтов на рабочие и ходовые органы вскрышного оборудования (ковши, ленты и т.п.), а также на ходовые части транспортного оборудования и на стенки кузовов, думпкаров и т.п. иногда снижает производительность на 15-20%.

Ввиду того, что существенное удаление влаги из глинистых пород не может быть достигнуто посредством дренажных мероприятий, эти мероприятия совершенно неэффективны для борьбы с налипанием.

5. Осложнения в ведении буроварывных работ (обводнение скважин). Борьба с этим фактором может вестись как посредством дренажных мероприятий и организации поверхностного стока, так и путем изменения технологии производства буроварывных работ.

РАЗДЕЛ II. ОСУШЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

Глава III. ОСНОВНЫЕ ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Из всего изложенного выше ясно, что подземные и поверхностные воды являются одним из основных факторов, затрудняющих строительство и эксплуатацию карьеров. Универсальным средством устранения отрицательного влияния вод является правильно организованное осушение карьерного поля.

Выбор схемы осушения карьерного поля должен основываться на следующих принципиальных положениях:

- а) схема осушения должна обеспечить нормальные условия работы горного и транспортного оборудования, устойчивость откосов бортов и уступов, а также (в некоторых случаях) уменьшение влажности полезного ископаемого;
- б) оптимальная схема осушения карьерного поля должна выбираться из нескольких возможных рациональных схем на основании экономического расчета;
- в) каждая рассматриваемая схема осушения должна подкрепляться фильтрационным расчетом, причем следует обращать особое внимание на правильный выбор основных расчетных зависимостей и исходных фильтрационных параметров;
- г) каждая рассматриваемая схема осушения должна быть количественно увязана с вопросами обеспечения устойчивости откосов;
- д) должно быть предусмотрено изменение количества средств осушения в процессе эксплуатации карьера, а в некоторых случаях - и изменение схемы осушения в целом, по данным наблюдений за первыми этапами осушения карьера, в случае необходимости, должны вноситься коррективы в первоначально запроектированную схему.

Особо оговорим, что при перенесении на карьеры опыта осушения подземных горных выработок следует всесторонне учитывать специфику карьеров; эта специфика заключается, во-первых, в принципиально ином напряженном состоянии пород, во-вторых - в возможности широкого использования в качестве водоприемника самого карьера, в третьих - в отсутствии разветвленной сети горных выработок, пригодных для целей осушения.

В связи с вышеизложенным, представляется целесообразным обосновать возможные рациональные схемы осушения для различных гидрогеологических, инженерно-геологических и горнотехнических условий. Рассмотрение таких схем проводится в последующих главах настоящей работы, причем совокупно учитываются такие факторы, как:

- а) физико-механические свойства вмещающих пород и полевого ископаемого;
- б) залегание водоносных горизонтов, их водообильность, условия питания и разгрузки;
- в) цели дренажирования и его технико-экономическая эффективность.

При обосновании этих схем учтен опыт осушения большого числа месторождений, разрабатываемых открытым способом (см. введение), а также богатый опыт водопонижения в гидротехническом строительстве.

Для удобства изложения все месторождения классифицируются следующим образом.

Г р у п п а А. Месторождения, сложенные, в основном, мягкими связными и рыхлыми несвязными породами, устойчивость которых в откосах существенно зависит от подземных и поверхностных вод:

- 1) при горизонтальном залегании слоев,
- 2) при наклонном залегании слоев.

Г р у п п а Б. Месторождения, сложенные устойчивыми, в основном, скелетными и полускелетными породами, устойчивость которых в откосах практически не зависит от подземных и поверхностных вод.

Г р у п п а В. Месторождения смешанного типа.

Приведенная классификация не охватывает месторождения, в разрезе которых присутствуют легкорастворимые породы, а также месторождения, расположенных в областях многолетней мерзлоты. Ввиду отсутствия достаточного опыта открытой разработки таких месторождений, они в настоящей работе не рассматриваются.

Далее, при подробном рассмотрении условий дренажа на месторождениях той или иной группы учитывается характер обводненности их по следующим признакам: а) количество осушаемых горизонтов, б) мощность (и напор — для напорных горизонтов), в) водопроницаемость пород и их водоотдача, г) характер питания подземных вод, д) распространение водоносных горизонтов.

Рекомендуемые схемы осушения рассматриваются в тесной увязке со схемами горных работ; отдельно описаны схемы дренажа нерабочего и рабочего бортов (лежачего и висячего бока — для наклонного залегания),

а также разрезной траншеи. Вопрос о дренаже подошвы карьера и отвалов рассмотрен особо.

Наиболее полно нами излагаются схемы дренажных мероприятий для месторождений типа А-1, т.к. во-первых, они встречаются достаточно часто на практике и, во-вторых, являются весьма сложными с точки зрения осушения и поэтому позволяют осветить максимально широкий круг вопросов. При рассмотрении схем осушения на месторождениях типа А-2 описываются, главным образом, те особенности дренажа, которые отличают их от месторождений типа А-1, а сами схемы, во избежание повторения, излагаются в сжатом виде.

В заключение — несколько слов об используемых ниже терминах.

1. По способу дренирования различаются:

а) открытый дренаж (водотлив) — когда подземные воды свободно высачиваются в откосах или в подошве открытой выработки (карьера, траншеи, канавы, вумфа и пр.) и лишь затем принимаются насосными установками;

б) глубинный дренаж — когда подземные воды захватываются осушительными устройствами, водоприемная часть которых находится внутри массива горных пород; глубинный дренаж подразделяется на дренаж скважинами, оборудованными насосами, дренаж поглощающими и самоизливающимися скважинами (в том числе и горизонтальными), дренаж иглофильтрами, дренаж подземными системами осушения (штрек со сквозными или забивными фильтрами и колодцами в почву), дренаж водопонижительными шахтными стволами.

2. По степени вскрытия водоносного горизонта карьером (котлованом) различаются:

а) совершенные котлованы — вскрывающие данный водоносный горизонт на полную мощность;

б) несовершенные котлованы — вскрывающие данный водоносный горизонт лишь частично.

Г л а в а 1У.

ДРЕНАЖ КАРЬЕРОВ В УСЛОВИЯХ ГОРИЗОНТАЛЬНО ЗАЛЕГАЮЩИХ НЕУСТОЙЧИВЫХ ГОРНЫХ ПОРОД (месторождения типа А-1)

К типу А-1 относятся месторождения, в строении которых существенную роль играют мягкие глинистые и несвязные породы с горизонтальным залеганием слоев. Ведение открытых горных работ на

таких месторождениях обычно сильно осложняется слабой устойчивостью пород в откосах и их обводненностью. Примерами месторождений этого типа являются месторождения Никопольского марганцеворудного бассейна, Днепровского угольного бассейна, Лебединское (КМА) и т.д.

§ 1. Дренаж нерабочего борта

Основной целью дренажа нерабочего борта является обеспечение его устойчивости. Поэтому вопрос о выборе оптимальной схемы осушения должен решаться только на основании рассмотрения устойчивости борта в двух принципиально возможных случаях: при наличии загрядительного дренажа^{х)} и без такового.

Для этого, прежде всего, оценивается влияние гидростатического и гидродинамического давлений на устойчивость борта в целом при условии свободного поступления воды к откосу. Такая оценка проводится по методике, изложенной в § 1 гл.1, с использованием характерных расчетных поперечников. Сравнивая рассчитанный допустимый угол наклона борта с углом, полученным для откоса при работе загрядительного дренажа, можно сделать вывод о том, насколько такой дренаж необходим с точки зрения общей устойчивости борта. Как уже отмечалось выше, наиболее часто оказывается, что расхождение между двумя расчетными углами мало и поэтому создание загрядительного дренажа с целью увеличения общей устойчивости борта не имеет смысла.

В некоторых случаях (§ 1 гл.1) гидростатические и гидродинамические силы уменьшают степень устойчивости борта на значительную величину, так что более целесообразным является создание загрядительного дренажа. В основном же, загрядительный дренаж оказывается необходимым в случае горизонтов весьма высокой водособи́льности (удельный расход - более 12-15 м³/сутки на 1 пог.м. откоса), приуроченных к неустойчивым породам (пескам), так как при столь высоких водопитоках без загрядительного дренажа трудно обеспечить устойчивость откоса в пределах промежутка высачивания. Наконец, загрядительный дренаж иногда целесообразен при большом количестве водоносных горизонтов (более 3-4), ибо в этих условиях при открытом дренаже требуется создание громоздкой многоступенчатой (по высоте) водоотводной сети.

х) Под "загрядительным" мы понимаем такой дренаж, которым частично или полностью захватывает фильтрующиеся воды на некотором удалении от откоса борта карьера.

В тех случаях, когда после проведенных расчетов вопрос о целесообразности загрядительного дренажа не является очевидным, он должен решаться путем детального рассмотрения двух вариантов (при наличии загрядительного дренажа и без него) с их последующим экономическим сравнением.

А. Загрядительный дренаж отсутствует

В этом случае грунтовые воды беспрепятственно поступают к откосу и могут вызвать развитие фильтрационных деформаций (гл.1). Поэтому дренажная схема, в первую очередь, должна обеспечить ограничение таких деформаций в допустимых пределах.

Универсальным способом обеспечения устойчивости откоса в пределах промежутка высачивания является создание горизонтального прибортового дренажа по типу дренажных банкетов, устраиваемых в нижнем бьефе, в основании земляных плотин. Такой дренаж состоит из гравийно-щебеночной пригрузочной призмы в сочетании с подприемной канавой, проиленной по водоупору (рис.8 а, б).

Если среди вскрышных пород имеются среднезернистые или крупнозернистые пески, то их также можно использовать в качестве пригрузочного материала; в этом случае пригрузка устраивается несколько иначе (рис.8в). Такая форма пригрузки может быть целесообразной в двух случаях:

- а) когда трудно осуществлять зачистку откоса: в этом случае пригрузочный материал может отсыпаться непосредственно на оплывший откос;
- б) когда необходимо увеличить проезжую часть бермы.

В канаве укладываются дренажные трубы^{х)} или устраивается бетонная облицовка. При необходимости дренаж утепляется слоем песка или другим материалом, предохраняющим от промерзания.

Если нерабочий борт пригружается внутренними отвалами большой высоты (более 30-40 м), то в таких условиях следует устраивать беструбные канавы, постепенно увеличивая крупность заполняющего материала от верхней части канавы к нижней, или укладывать более прочные трубы.

-
- х) При малых расходах в укладке труб нет необходимости: канава может целиком заполняться смесью грубообломочного материала и песка.

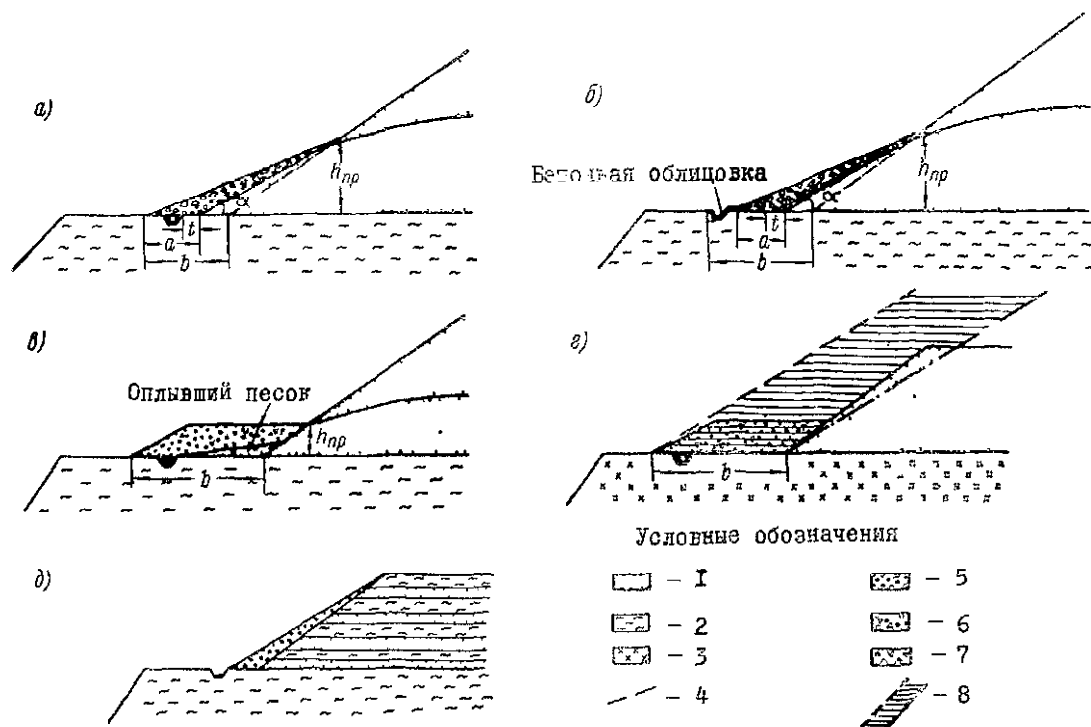


Рис.8. Схемы дренажных пригрузок

1 - пригруженный грунт; 2 - "водоупор"; 3 - продуктивная толща; 4 - генеральная линия борта; 5 - песок пригрузочной призмы; 6 - гравийно-щебеночный материал; 7 - грубообломочный материал; 8 - увеличение объема земляных работ за счет пригрузки (в тех случаях, когда она устраивается на кровле продуктивной толщи).

Укладка дренажного материала должна проводиться на предварительно зачищенный откос; зачистка может осуществляться под защитой легких гидроблизовых установок или скважин, работающих в период строительства.

К материалу дренажной прививы не предъявляется высоких требований: нормальные условия для работы дренажа оказываются гарантированными при выполнении соотношений $/19/ : \frac{D_{10}}{d_{50}} < 15 \div 20, \eta < 5 (d_{50} - \text{средний диаметр частиц породы, } D_{10} - \text{эффективный диаметр частиц материала пригрузки, } \eta - \text{его коэффициент неоднородности}).$ В наиболее ответственных случаях, в целях устранения возможности выноса мелких частиц, в пригрузке устраивается обратный фильтр.

Общая толщина дренажной прививы a определяется по схеме (рис.4), приведенной в § 1 гл.1. В случае, когда пригрузка имеет вид, изображенный на рис.8в, высота ее назначается из условий:

$$h_{пр} = 1,2 h_p, \quad (19,1)$$

где h_p - расчетная высота промежутка высачивания (ч.II, гл.1, § 3).

Расчетные расходы q_0 определяются по формулам неустановившейся фильтрации (ч.II). При наличии местных понижений в кровле водоупора, в полученные величины расходов следует вводить некоторый запас.

Отметим, что в случае пород с низкой проницаемостью ($K < 0,5 \text{ м/сутки}$) схема прибортового дренажа упрощается: уступ пригружается в пределах промежутка высачивания слоем песка, предохраняющим породу от оплывания и оползания; толщина слоя и угол откоса уступа подбираются расчетом (см. гл.1, § 2, стр.14). В основании уступа устраивается водопроницаемая канава, заполняемая хорошо фильтрующим песком или обломочным материалом с песчаным заполнителем. Аналогичная схема принимается и в случае мелкослоистых толщ переслаивающихся водоносных мелко- и тонковерных песков и "водоупорных" пород (рис.8д).

Надежность работы горизонтальных прибортовых дренажей подтверждается богатым опытом гидротехнического строительства: они функционируют на большинстве земляных плотин, фильтрующих дамб и т.п. Дренажные банкеты применяются и в открытых горных выработках (например, Лебединский карьер КМА и Марьевский карьер Никопольского бассейна).

Отметим, что при отсутствии на месте материала для устройства дренажной прививы, а также когда по тем или иным причинам устройство прибортового дренажа затруднительно, он может быть с успехом заменен горизонтальными скважинами (см. гл. IX). Для песчаных водообильных горизонтов ($q_0 > 12-15 \text{ м}^3/\text{сутки на 1 пог.м}$) наиболее рациональным

является сочетание прибортового дренажа с горизонтальными скважинами, как это осуществляется, например, на Лебедянском карьере ЮМА.

Б. Заградительный дренаж необходим

В этом случае подвешенные воды должны быть частично или полностью перехвачены на некотором удалении от откоса.

1. Дренажные траншеи

Для неглубоко залегающих водоносных горизонтов (до 10-15 м от поверхности) заградительный дренаж может быть осуществлен посредством открытых дренажных траншей, пройденных на некотором удалении от борта. Передовые дренажные траншеи применяются, например, на Соколовском и Сарбайском карьерах.

2. Поглощающие скважины

В некоторых случаях заградительный дренаж оказывается возможным осуществлять посредством поглощающих скважин, пропускающих воду из верхних горизонтов в нижележащие горизонты, дренируемые каким-либо иным способом. Необходимым условием нормальной работы поглощающих скважин является выполнение соотношений:

$$k_1 m_1 < k_2 m_2; \quad H_2 < H_1, \quad (IV.2)$$

где m — мощность,

H — напор, ^{x)} а индексы 1 и 2 относятся, соответственно, к осушаемому и водоприемному горизонту.

Оптимальное расстояние между скважинами подбирается расчетом как для скважин с заданным понижением (ч.II).

Наиболее эффективно такие скважины могут применяться при необходимости осушения мощных толщ относительно слабо фильтрующих пород, при наличии залегающего ниже хорошо проницаемого горизонта, дренируемого другим способом. Такие условия имеют место, например, на Клямовском разрезе Подмосковского бассейна, где плохо отдающие воду мелкозернистые тульские пески залегают над толщей хорошо проницаемых известняков карбона-девона.

Нужно сказать, что в породах, содержащих значительный процент ($> 3-7\%$) глинистых частиц, поглощающие скважины быстро выходят из

х) Величина напора нижнего горизонта (H_2) принимается с учетом осуществляемого в нем водопонижения.

стройка вследствие колыматации фильтров. В качестве примера можно привести неудачную попытку использования поглощающих скважин на ряде карьеров Днепровского угольного бассейна. Поэтому в таких породах устройство поглощающих скважин должно быть сопряжено с минимальными капитальными затратами. Этому требованию отвечают поглощающие скважины типа "песчаных свай" (см. гл. IX).

3. Самоизливающие скважины

Особый случай возникает при наличии в основании борта напорного горизонта, не вскрытого карьером. Если расчеты (гл. I, § 1) показывают, что напоры значительно уменьшают степень устойчивости нерабочего борта, то необходимо провести снижение напоров. Легче всего оно может быть осуществлено посредством самоизливающих скважин, пройденных либо со дна карьера ^{х)}, либо с одной из низовых берм нерабочего борта. Примеры использования таких скважин неоднократно встречались в практике гидротехнического /3/ и горного /4/ строительства. Расчет самоизливающих скважин может проводиться по формулам для скважин с заданным понижением.

4. Подземная система осушения

При необходимости дренирования многослойной толщине водоносных пород (4-5 и более разобщенных водоносных горизонтов) горизонтальный прибортовой дренаж может оказаться неэффективным (см. выше). В подобных условиях иногда приходится идти на создание заградительного дренажа с помощью подземной системы осушения (штрек со скважинами или забивными фильтрами), позволяющей организовать централизованный водоотлив. Фильтры должны всегда находиться за пределами приемы возможного оползания. Проходку штрека желательно начинать заблаговременно, с тем чтобы использовать его уже в период строительства.

5. Горизонтальные скважины

Весьма перспективным средством заградительного дренажа на нерабочем борту являются горизонтальные скважины (подробно - см. гл. IX), которые можно применять во всех встречающихся на практике случаях.

х) См. также гл. VIII.

В заключение подчеркнем одно важное обстоятельство.

Ввиду того, что на нерабочем борту, вследствие его неподвижности, надежный дренаж осуществляется, как правило, проще и дешевле, чем на рабочем, следует, по возможности, стремиться к тому, чтобы располагать нерабочий борт со стороны основного потока подвешенных вод. Выполнение этого требования нередко приводит к существенному снижению стоимости дренажных работ.

§ 2. Дренаж рабочего борта

Если дренаж нерабочего борта имеет основной целью обеспечение устойчивости слагающих его пород, то со стороны рабочего борта он, наряду с этим, должен обеспечить нормальные условия для работы горного оборудования. Кроме того, нередко возникает задача снижения влажности полезного ископаемого. Таким образом, со стороны рабочего борта дренаж должен решить целый комплекс вопросов, в связи с чем подход к выбору систем осушения здесь оказывается нередко принципиально иным, чем на нерабочем борту.

В зависимости от гидрогеологических и инженерно-геологических условий, а также применяемого оборудования, могут использоваться различные схемы дренажа рабочего борта, которые можно разбить на две основные группы: 1) схемы, основанные только на открытом дренаже, и 2) схемы, основанные на сочетании глубинного дренажа с открытым.

Выбор той или иной принципиальной схемы в каждом конкретном случае должен обосновываться специальным расчетом:

- а) определяется приток к откосу в условиях открытого водоотлива и его изменение с течением времени;
- б) определяются ожидаемые фильтрационные деформации откосов породных и добычных уступов (гл.1) и степень устойчивости борта в целом в условиях открытого водоотлива;
- в) рассматривается ряд вариантов загрядительного дренажа, для каждого из которых подсчитываются притоки, откачиваемые средствами открытого водоотлива и глубинного дренажа; определяются ожидаемые фильтрационные деформации при загрядительном дренаже; определяется стоимость дренажных работ по вариантам;
- г) расходы по рассмотренным вариантам сравниваются с тем снижением стоимости вскрышных и добычных работ, которое достигается при данном варианте загрядительного дренажа.

Ниже рассматриваются характерные условия применимости того или иного способа осушения пород со стороны рабочего борта.

А. Применение открытого водоотлива^{х)} (без глубинного дренажа)

Если свободный выход подвешенных вод в откос не приводит к развитию недопустимо больших деформаций и не вызывает значительных осложнений в работе горного оборудования, то необходимости в заградительном дренаже не возникает. Применение открытого водоотлива представляется наиболее целесообразным в следующих случаях.

1. Расходы подвешенных вод, поступающих к откосу, настолько малы, что они вызывают лишь незначительные деформации уступов в пределах продолжительного высачивания (длина языка оплывания - до 3-4 м).

Предельная длина языка оплывания (3-4 м) принимается на основании следующих соображений:

- а) во-первых, при таком оплывании уступ может отрабатываться любым оборудованием без существенных осложнений;
- б) во-вторых, как показывает опыт эксплуатации карьеров и расчеты, такое оплывание не вызывает опасных обрушений вышележащих пород;
- в) в третьих, при таком оплывании открытые дренажные каналы (траншеи), как показывает опыт их работы, нормально функционируют в течение длительного времени при минимальном объеме работ на их вачистку.

Величины языков оплывания определяются согласно § 3 гл. I.

Для приближенных оценок, а также в тех случаях, когда расчетная схема непригодна (гл. I, § 2), можно принять, что предельное оплывание (3-4 м) вызывается следующими удельными притоками (получены на основании наблюдений):

для пылеватых песков	-	0,10-0,15 м ³ /сутки на пог.м.откоса,
для тонкозернистых песков	-	0,2 -0,4 м ³ /сутки на пог.м.откоса,
для мелкозернистых песков	-	0,8 -1,2 м ³ /сутки на пог.м.откоса,
для среднезернистых песков	-	1,3 -2,0 м ³ /сутки на пог.м.откоса,
для крупнозернистых песков	-	3 - 5 м ³ /сутки на пог.м.откоса.

х)Использование открытого водоотлива в условиях водоносных горизонтов, приуроченных к полевому ископаемому или гидравлически тесно с ним связанных (в том случае, когда целесообразно стремиться к понижению влажности полевого ископаемого), имеет свои особенности (§ 3).

Удобным критерием для оценки целесообразности открытого водоотлива является сравнение величины притоков подземных вод с количеством инфильтрующихся и поступающих в карьер атмосферных осадков, выпадающих в наиболее дождливый период (продолжительностью 2-3 месяца) на участке карьерного поля, ограниченном предполагаемым дренажным контуром. Если указанные величины соизмеримы, или тем более, если вторая из них превышает первую, то глубинный дренаж, безусловно, нецелесообразен. Подобные условия имеют место, например, на ряде карьеров Никопольского бассейна.

2. Если расчет покажет, что воды рассматриваемого горизонта при свободном выходе воды на откос не вызывают оплывания, превышающего предельно допустимое для данного типа оборудования (гл. II, § 2), то уступ может отрабатываться без заградительного дренажа. В этом плане наиболее широкие возможности для применения открытого дренажа возникают при отработке водоносных пород гидромониторами.

Для приближенных оценок можно принять, что разработка пород гидромониторами может осуществляться без глубинного дренажа в следующих случаях:

- а) для горизонтов с низкой проницаемостью ($K < 0,5$ м/сутки),
- б) для горизонтов, приуроченных к тонкозернистым пескам - при удельных притоках до $1-1,5$ м³/сутки на 1 пог.м. откоса, к мелкозернистым пескам - при удельных притоках до $3-4$ м³/сутки на 1 пог.м. откоса, к среднезернистым пескам - при удельных притоках до $6-10$ м³/сутки на 1 пог.м., к крупнозернистым пескам - при удельных притоках до $15-18$ м³/сутки на 1 пог.м.

3. Для водоносных горизонтов, вскрытых карьером на полную мощность, при притоках, меньших критических (п.1), часто оказывается рациональной схема дренирования посредством открытых траншей, показанная на рис. 2а, в. При этом в фильтрующих породах оставляется "недобор" с таким расчетом, чтобы депрессионная кривая проходила ниже основания вышележащего уступа. По мере подвигания забоя проходятся новые траншеи. Расстояние между ними определяется оптимальным (по горнотехническим условиям) опережением вышележащего уступа, а также положением депрессионной кривой.

Преимущества схемы с "недобором" очевидны. Во-первых, она позволяет полностью осушить забои экскаваторов. Во-вторых, благодаря малой мощности "недобора", практически устраняется осыпание и обрушение вышележащих пород в зону высачивания, что имеет немаловажное значение

при больших углах (более $35-40^\circ$) рабочих уступов (см. гл. 1, § 2, п. 3). Особенно благоприятные условия для использования схемы с "недобором" возникают в тех случаях, когда в основании водоносной толщи залегают крупнозернистые пески или гравелистые отложения. Описанная схема используется, например, на Сарбайском и Лебединском карьерах.

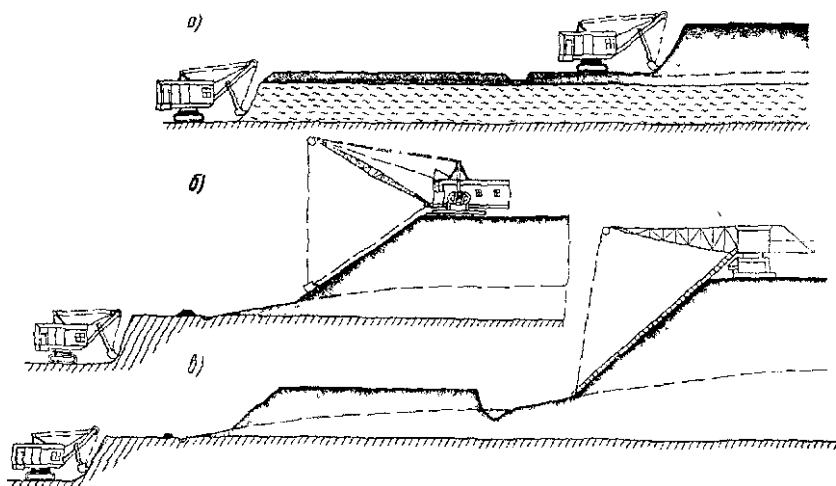


Рис. 9. Схемы открытого дренажа песчаных грунтов на рабочем борту

4. При малой глубине залегания дренируемого горизонта (до 10-15 м) могут использоваться открытые дренажные траншеи, проходящие с большим опережением непосредственно с поверхности. Подобная схема применяется, например, на Соколовском карьере.

Первоначальное удаление траншеи от борта выбирается с учетом скорости движения рабочего уступа, а также исходя из задаваемого времени снижения уровня на участке между траншеей и откосом (см. ч. II, формулы III.10-III.11).

5. Достаточно часто встречаются случаи, когда рабочие уступы сложены водоносными глинистыми песками и песчаными глинами, либо же тонким переслаиванием этих пород с более "водоупорными" разностями. В подобных условиях глубинный дренаж обычного типа становится невозможным (в особенности, когда имеются "водоупорные" пропластки). Ввиду того, что специальные средства дренажа (вакуумирование, электроосмос) на бортах большой протяженности пока применить не представляется возможным из-за больших затрат, здесь, в основном, приходится ориентироваться на открытый дренаж карьером^{х)}.

х) Для дренажа покровных отложений могут использоваться передовые траншеи.

На тех участках, которые останутся в нерабочем положении на достаточно длительный срок, следует предусмотреть выполаживание уступа до устойчивого угла или пригрузку уступа фильтрующим материалом (при необходимости поддержания уступа в недеформированном состоянии). Если над слабопроницаемыми породами залегает более водообильный горизонт, то следует, по возможности, устраивать широкую берму по слабопроницаемым породам - с целью увеличения длины пути фильтрации в них.

(Заметим, что перечисленные случаи возможного применения открытого водоотлива относились к месторождениям, расположенным в районах с умеренными зимними температурами. В тех случаях, когда средняя температура трех наиболее холодных месяцев оказывается ниже $-25-30^{\circ}$, приведенные критерии должны быть пересмотрены в сторону сокращения круга условий, в которых применим открытый водоотлив. Это объясняется тем, что при низких температурах свободное высачивание воды на откос приводит к дополнительным осложнениям в ведении горных работ (образование наледей - см. гл. II, § 2).

Из всего сказанного следует, что намечившаяся в настоящее время тенденция в проектировании - полностью отказаться от использования открытого водоотлива на карьерах, вскрывающих обводненные толщи рыхлых несвязных пород, - совершенно необоснованна: требование недопущения выхода подземных вод на откосы приводит к излишним экономическим затратам, не говоря уже о том, что во многих случаях оно просто недостижимо.

В настоящее время открытый дренаж неустойчивых рыхлых пород нашел весьма широкое применение в практике открытых горных работ; в качестве примера можно привести такие карьеры, как Лебединский, Сарбайский, Александровский (Никопольский бассейн) и др. Открытый дренаж, при правильной его организации, обходится в 3-5 и более раз дешевле, чем глубинный.

Б. Применение глубинного дренажа

Если открытый дренаж связан со слишком большими притоками, с недопустимыми (по условиям ведения горных работ) деформациями уступов или, наконец, с существенным (нежелательным) увеличением влажности подземного ископаемого^{х)}, то возникает необходимость в глубинном

х) Вопрос об осушении подземного ископаемого рассмотрен в § 3.

дренаже. Эта необходимость должна доказываться расчетом водопритоков, уровней подземных вод и ожидаемых деформаций. Для предварительных оценок можно рекомендовать применение глубинного дренажа во всех случаях, кроме изложенных в п.А.

При выборе и обосновании схем глубинного дренажа необходимо иметь в виду возможность сочетания его с открытым водоотливом, который может осуществляться в соответствии со схемами, изложенными в п.А.

Для устройства глубинного дренажа в настоящее время широко применяются водопонижительные скважины, оборудованные насосами, и дренажные штреки со сквозными и забивными фильтрами, а в некоторых случаях - поглощающие скважины и иглофильтры.

1. Водопонижающие скважины, оборудованные погружными насосами, и подземная система осушения х)

Достоинства систем водопонижительных скважин сводятся к следующему: 1) система не требует больших капитальных затрат; 2) сооружение системы отличается технической простотой; 3) система может быть введена в действие за сравнительно короткий промежуток времени (практически - за несколько месяцев); 4) система позволяет быстро учитывать изменение условий дренирования месторождения (например, путем уменьшения числа работающих насосов с падением притоков к карьерному полю во времени).

Вместе с тем, система водопонижительных скважин обладает и ряд недостатков:

- 1) малая эффективность при использовании в сравнительно слабопроницаемых породах (при $0,5-1 < K < 3-5$ м/сутки);
- 2) загромождение трубопроводами рабочего пространства - в случае скважин, пройденных непосредственно из карьера;
- 3) необходимость содержания большого числа работающих насосов, часто выходящих из строя вследствие аварий, требует занятости большого числа рабочих и затрудняет централизацию водоотлива;
- 4) в связи с этим расходы по эксплуатации систем оказываются чередом сравнительно высокими.

х) Для предварительных оценок можно рекомендовать использование этих систем во всех случаях, кроме описанных в п.п.2,3 (см. ниже).

К достоинствам подземных систем осушения следует отнести:

- 1) надежность и удобство в эксплуатации;
- 2) возможность высокой степени централизации водоотлива;
- 3) возможность использования в сравнительно слабoproиcцeаемых породах ($k = 1-5$ м/сутки);
- 4) сравнительно низкая стоимость эксплуатации.

В то же время, подземные системы осушения обладают рядом существенных недостатков, резко снижающих их эффективность:

1) устройство подземной системы осушения требует больших капитальных затрат, измеряемых нередко десятками миллионов рублей;

2) проходка дренажных штрeков в сложных гидрогеологических условиях сопряжена с большими техническими трудностями и требует предварительного снижения напора (во избежание прорывов), для чего проходится большое число специальных водопонижительных скважин;

3) время создания дренажа измеряется несколькими годами, так что нередко в период строительства и на первых этапах эксплуатации карьера приходится вводить дополнительные средства осушения;

4) подземная система недостаточно гибка: ее параметры остаются неизменными как в период максимальных притоков, так и после уменьшения притоков в связи со сброской статических запасов;

5) система недостаточно мобильна;

6) штрeки очень часто приходится устраивать на несколько десятков метров ниже подошвы осушаемого пласта (например, Лебедизский и Соколовский карьеры), что резко увеличивает глубину откачки, а вследствие этого — и расходы на осушение.

Некоторые из указанных недостатков в отдельных конкретных случаях могут быть устранены, однако большинство из них присущи подземным системам осушения, так сказать, органически. Поэтому, оценивая, в целом, положительно опыт использования таких систем на ряде карьеров (например, на Лебединском, Юрковском и т.д.), нельзя, вместе с тем, согласиться с намечившейся тенденцией к применению их на громадном большинстве карьеров. При этом часто ссылаются на опыт использования подземных систем осушения на карьерах БРГ и ГДР, забывая, однако, о совершенно специфических условиях немецких буроголильных месторождений, в которых применяется шахтный способ осушения, и о том, что в последние годы там широко стали применять также дренаж водопонижительными скважинами.

Увлечение подземными системами осушения приводит, например, к тому, что доли осушения в себестоимости полезного ископаемого на угольных карьерах Украины и на немецких бурогольных карьерах подчас соизмеримы /9/, несмотря на то, что степень обводненности украинских карьеров, как правило, гораздо ниже немецких.

Опыт работы карьеров и расчеты показывают, что на многих месторождениях, где сейчас используется подземная система осушения, она могла бы быть с успехом заменена сочетанием открытого водоотлива и водопонижительных скважин, а нередко — только открытым водоотливом. Это относится, в частности, ко многим бурогольным карьерам Украины, к Михайловскому карьере ЮМА.

Нужно сказать, что системы водопонижительных скважин обладают большими резервами с точки зрения снижения стоимости их эксплуатации. Как указывалось выше, в настоящее время эти системы характеризуются сравнительно высокими эксплуатационными расходами, что обусловлено, главным образом, отсутствием надежных высоконапорных насосов. Внедрение таких насосов в практику водопонижения позволит резко сократить затраты на эксплуатацию систем водопонижительных скважин. Кроме того, имеются еще два пути увеличения эффективности этих систем. Первый из них состоит во внедрении автоматического централизованного регулирования работы насосов. Второй путь заключается в использовании скважин большого диаметра (см. гл. IX, § 3).

Наконец, перспективным представляется использование на рабочем борту карьера самотечных горизонтальных скважин (см. гл. IX, § 1).

В настоящий момент в проектах должно обязательно проводиться экономическое сравнение рассмотренных систем. Для предварительных оценок можно дать следующие общие рекомендации.

Водопонижительные скважины, оборудованные погружными насосами, целесообразно использовать при глубинах откачки, не превышающей 100-150 м и при коэффициентах фильтрации более 3-5 м/сутки^{х)} (например, на Михайловском карьере ЮМА). При больших глубинах обычно экономически более выгодным оказывается пока подземная система осушения (например, Прогромецкий карьер ЮМА).

х) Если целью дренажа напорного горизонта является лишь снижение напоров, то скважины могут применяться и при меньших коэффициентах фильтрации.

Штрек во всех случаях следует располагать, по возможности, в самом дренируемом горизонте или как можно ближе к нему, с целью замены сквазных фильтров забивными, сокращения глубины откачки и увеличения дренирующего эффекта самого штрека.

Водопонижительные системы необходимо закладывать после самого тщательного изучения гидрогеологической обстановки. Это позволит, например, приурочить дренажные выработки к участкам, где водоносный слой достигает максимальной проводимости ^{х)}, к понижениям кровли водопора и т.п. Невыполнение этого требования приводит к тому, что многие дренажные выработки оказываются практически сухими, т.к. они попадают на повышенные участки водоупорного ложа (например, ряд дренажных штреков на Ермолаевском карьере, Байдаковском карьере и т.д.). Хорошее знание гидрогеологических условий дает возможность предварительно наметить сосредоточение средств осушения на отдельных наиболее ответственных участках: со стороны движения естественного потока (например, Юрковский разрез), со стороны контуров питания и т.п.

В случае совершенного котлована (карьера) дренажные выработки должны, как правило, располагаться в виде однорядных, редко - двухрядных ^{хх)} контурных систем, параллельных фронту работ. Первоначальное расстояние от дренажного контура до борта должно назначаться с учетом скорости продвижения фронта, с тем чтобы обеспечить нормальные условия для работы оборудования в течение нескольких лет. В дальнейшем следует провести оценку выбранного расстояния с точки зрения скорости сработки статических запасов горизонта на участке между рядом и карьером.

х) Под проводимостью понимается произведение мощности на коэффициент фильтрации.

хх) Двухрядные системы (два ряда скважин (фильтров) или ряд скважин и ряд иглофильтров) обычно целесообразно использовать лишь в качестве временных средств осушения, - в первые 1-1,5 года эксплуатации карьера, пока существенно сказывается неустановившийся режим фильтрации на участке между рядом скважин и бортом.

Расположение дренажных штреков или рядов скважин по сетке в условиях совершенных котлованов не имеет никакого смысла, т.к. полного перехвата подземных вод здесь добиться невозможно, а необходимый коэффициент вслона может быть обеспечен с меньшими затратами контурным дренажем. Лишь в тех случаях, когда имеются крупные понижения в кровле водоупора ("ложбины стока") или участки с резко повышенной проводимостью, оказывается целесообразным проходить приуроченные к ним дополнительные дренажные выработки: ряды скважин или штреки (в частном случае - штольны непосредственно из карьера) со сквозными или забивными фильтрами и колодцами в почву. Подобная схема применяется, например, на Орловском угольном разрезе. Здесь очень важно подчеркнуть одно обстоятельство, которое часто упускается из вида. С развитием фронта работ периметр карьера постепенно возрастает. В то же время, общий приток к карьере или остается примерно постоянным, или падает с течением времени (неустановившийся режим). По этим причинам приток на один погонный метр периметра карьера постепенно уменьшается (иногда в несколько раз), так что все больший процент внешнего притока может быть пропущен к внутреннему дренажному контуру, а требуемое число скважин (фильтров) внешнего контура - соответственно уменьшается. Динамику этого процесса надо учитывать при расчетах (как гидромеханических, так и экономических).

Расстояние между скважинами (фильтрами) в рассматриваемом случае находится по формулам § 2 гл. II ч. II; пример расчета приведен в приложении № 3 ч. II.

В случае несовершенного котлована (карьера) дренажные устройства чаще всего целесообразно располагать в виде однолинейных систем; для карьера невытянутой (в плане) формы иногда предпочтительнее площадное (по дну карьера) расположение скважин (при транспортной системе). Осушение обычно следует проводить водопонижительными скважинами, проходимыми непосредственно с поверхности, с подошвы карьера и с нивовых берм.

Иногда в условиях несовершенных котлованов целесообразно не добиваться снижения уровня подземных вод ниже подошвы карьера, а допустить некоторое высачивание подземных вод на откосах. Это, в первую очередь, относится к тому случаю, когда водоупор залегает на небольшой глубине (до 5-10 м) от подошвы карьера и в снижении влажности полезного ископаемого нет необходимости. В этом случае принципиальный подход к выбору водопонижительных систем аналогичен случаю совершенных котлованов.

Сделаем еще замечания по поводу оборудования водопонижительных скважин в многослойном толще:

а) если наиболее водообильный слой вскрышной толщи залегает в нижней части разреза, то скважины необходимо оборудовать фильтрами на каждый из обособленных водоносных горизонтов, а насос устанавливать в нижнем горизонте (верхний край турбины — на уровне подошвы горизонта);

б) если наиболее водообильный горизонт вскрышной толщи залегает в средней или верхней части разреза, то возможны два варианта: или вести откачку из всех слоев одновременно (при малой разности отметок подошв водоносных горизонтов^х), или заглублять скважины только до подошвы водообильного горизонта, а нижележащие слои дренировать самостоятельными системами; оптимальный вариант должен в этом случае выбираться на основании экономических расчетов;

в) с другой стороны, нужно иметь в виду, что если слабопроницаемый пласт, подстилающий водоносный горизонт, имеет проводимость намного (в 15–20 и более раз) меньшую, чем проводимость водоносного слоя, то полное осушение слабопроницаемого слоя невозможно и оборудовать на него фильтр нет смысла.

2. Дренаж с помощью иглофильтровых установок

Область применения легких иглофильтров на карьерах существенно ограничена по ряду причин: их затруднительно использовать при вскрышных работах с внутренним отвалообразованием; иглофильтровые установки загромождают рабочее пространство трубами и мешают нормальному ходу вскрышных работ; возможная глубина откачки не превышает 5,5–6 м; для их рационального применения необходимо иметь значительное (порядка 50–70 м) опережение вышележащего уступа, с тем чтобы "шаг переноски" иглофильтровых установок был достаточно большим;

х) При этом стоимость откачки возрастает, т.к. основная масса воды (из водообильного горизонта) перепускается к забою скважины и лишь оттуда подается на поверхность.

иглофильтры неэффективны при первоначальной мощности потока в месте их установки меньшей 2-2,5 м.

Преимущества легких иглофильтров заключаются в их высокой мобильности, простоте и скорости установки, в возможности достижения высокого коэффициента заслона, в возможности использования в породах со сравнительно малыми коэффициентами фильтрации (1-5 м/сутки). Поэтому обычно легкие иглофильтры целесообразно применять в качестве вспомогательного мероприятия. Если, например, расчеты покажут, что открытый дренаж со стороны рабочего борта становится возможным уже через первые 1-1,5 года эксплуатации карьера, то в первоначальный период целесообразно дренаж проводить не скважинами или подземной системой, а именно иглофильтрами, которые требуют сравнительно малых капитальных затрат. Кроме того, иглофильтры являются удобным средством при дренаже более обводненных участков, приуроченных к понижениям водоупора, зонам повышенной проводимости и т.п.

Ажекторные иглофильтры могут использоваться в течение продолжительного времени для дренажа сравнительно неглубоко залегающих (до 15-20 м) водоносных горизонтов с коэффициентами фильтрации от 3-4 м/сутки до 12-15 м/сутки.

Легкие и ажекторные иглофильтры использовались, например, на Лебедянском карьере КМА.

3. Дренаж с помощью поглощающих скважин

В ряде случаев эффективным способом загрядительного дренажа на рабочем борту являются поглощающие скважины. Однако их можно использовать лишь в довольно узком круге гидрогеологических условий, определяемом требованием (1У.2).

Перспективным представляется использование поглощающих скважин типа "песчаных свай" (см.гл.1Х) для дренажа пород с низкой проницаемостью ($k < 1-2$ м/сутки).

4. Дренаж горизонтальными скважинами

Дренаж горизонтальными скважинами со стороны рабочего борта является весьма перспективным способом как для пород вскрышной толщи, так и для полезного ископаемого (см.гл.1Х).

§ 3. Осушение полевого ископаемого

Если в снижении влажности полевого ископаемого нет необходимости, то дренаж его осуществляется в соответствии с общими принципами осушения пород со стороны рабочего борта (§ 2). Поэтому в настоящем параграфе мы ограничимся рассмотрением особенностей осушения полевого ископаемого в том случае, когда имеется необходимость в снижении его влажности. Здесь мы рассмотрим два основных случая.

А. С л у ч а й 1.

Полевое ископаемое представлено породами, коэффициент фильтрации которых превышает $0,5-1$ м/сутки, и непосредственно перекрывающий его сверху водоносный слой ^{х)} (если таковой существует) имеет проводимость

$$T_B < (15 \div 20) T_{\text{пл}} , \quad (IV.3)$$

где $T_{\text{пл}}$ — проводимость слоя полевого ископаемого.

В подобных условиях в большинстве случаев полевое ископаемое может быть существенно сдренировано. Поэтому, как правило, в этих случаях для осушения полевого ископаемого и контактирующих с ним водоносных пород (если таковые имеются) следует ориентироваться на глубинный дренаж, проектируя его в соответствии с принципами, изложенными в § 2 п.Б. Отметим лишь, что в отличие от пород вскрыши дренажные штреки могут использоваться для осушения полевого ископаемого и при коэффициентах фильтрации, больших $3-5$ м/сутки, — когда в продуктивной толще нет водоупорных прослоев или когда мощность ее не превышает $3-4$ м.

Б. С л у ч а й II.

Полевое ископаемое представлено породами с низкой проницаемостью ($k < 0,5-1$ м/сутки) или выполнено условие:

$$T_B > (15 \div 20) T_{\text{пл}} . \quad (IV.4)$$

В этих случаях скважины (фильтры), пройденные по полемому ископаемому, могут дать заметный эффект лишь при очень близком расположении их друг от друга (порядка $0,5-2$ м), а радиус действия дренажного штрека, пройденного в полевом ископаемом, оказывается весьма небольшим. Хорошо известно, например, что дренажные штреки, приуроченные к буроголистым пластам, оказываются во многих случаях практически "сухими" (Ермолаевский карьер, например). Поэтому в таких

х) Имеется в виду, что между полевым ископаемым и водоносным слоем нет разделяющего "водоупора".

условиях чаще всего следует предназначать осушительные устройства лишь для дренажа контактирующих с полевым ископаемым водоносных слоев, нередко сочетая глубинный дренаж с открытым. Для водоносного горизонта, перекрывающего пласт полевого ископаемого, принципы применения открытого водоотлива и глубинного дренажа в этом случае в целом аналогичны изложенным в § 2. Существенное отличие состоит лишь в том, что в случае резко выраженной волнистости кровли пласта полевого ископаемого иногда целесообразно сократить объем открытого водоотлива (по сравнению с рекомендациями, изложенными в § 2), проходя по пониженным участкам ряды скважин или сквовых (вабивных) фильтров; при этом дренажные устройства размещаются на площади, подлежащей отработке в течение ближайших 1-2 лет; расположение их определяется положением понижений кровли "водоупора" (полевого ископаемого). Нужно помнить, однако, что подобные схемы имеют смысл лишь тогда, когда в результате их применения существенная площадь кровли пласта полевого ископаемого в пределах заходки экскаватора оказывается полостью осушенной. Подобные условия имеют место на некоторых карьерах Днепровского угольного бассейна.

Для дренажа водоносных пород, подстилающих полевое ископаемое, могут применяться открытые траншеи, пройденные в подошве карьера — при притоках, меньших критических;^{х)} такие траншеи успешно применяются на Балаховском разрезе. При больших водопритоках снижение уровня осуществляется водопонижительными скважинами или колодцами, проходимыми чаще всего с подошвы карьера. Такие колодцы в сочетании с канавами применяются, например, на Крковском угольном разрезе.

В ряде случаев при бестранспортной системе отработки, когда ширина пространства между добычным забоем и основанием внутренних отвалов не превышает 10 м, более целесообразно использовать фильтры^{хх)} и колодцы, пройденные в почву дренажного штрека. Штрек может проходить как по полезному ископаемому — параллельно фронту работ, так и непосредственно по дренируемому слою — в виде штольни из карьера. Для неглубоких карьеров (менее 40-50 м) и в этих случаях вместо штреков лучше использовать линейную систему водопонижительных скважин; однако проходить их следует не с подошвы карьера, а с поверхности или с одной из верхних брем.

х) Величины критических расходов приведены на стр. 35.

хх) Фильтры работают на самоотливе.

Изложенные способы дренажа водоносных пород, контактирующих с полезным ископаемым (случай II), иногда приводят к некоторому уменьшению влажности полезного ископаемого, по сравнению с естественной, за счет удаления из него гравитационной воды. Однако очень часто в рассматриваемом случае гравитационная вода в полезном ископаемом или вообще отсутствует, или характеризуется весьма малым процентным содержанием. В этих условиях роль дренажных мероприятий сводится, главным образом, к тому, что во многих случаях они позволяют предотвратить дополнительное увлажнение пласта полезного ископаемого, которое имеет место при уменьшении нагрузки на него в связи с выемкой перекрывающих пород, а также в связи с возникновением в нем направленных вверх гидродинамических сил (гл. I).

В тех случаях, когда требуется существенное снижение влажности, по сравнению с естественной, заметный эффект обычно могут дать лишь часто расположенные (через 0,5-2 м) скважины и фильтры. Например, на бурогольных карьерах ГДР используется сетка горизонтальных скважин, удаленных на 0,5-1 м друг от друга.

В заключение подчеркнем, что вопрос об осушении полезного ископаемого должен решаться не обособленно, а в комплексе с вопросами осушения пород вскрыши.

§ 4. Дренаж разрезной траншеи

А. С л у ч а и в с к р ы ш и п о с р е д с т в о м э к с к а в а т о р о в

В этом случае для нормальной работы вскрышного и транспортного оборудования необходимо проводить водопонижение с целью устранения или сокращения расхода подземных вод, поступающих к рабочему забою.

1. Чаще всего целесообразно проводить предварительное осушение посредством систем водопонижительных скважин. Скважины в первый период следует размещать в виде однолинейной установки, параллельной оси траншеи. При этом необходимо располагать водопонижительный ряд со стороны движения основного фильтрационного потока, приурочив его, по возможности, к местному понижению водоупорного ложа или к участку с повышенной проводимостью. Расстояние от скважин до проектного контура траншеи (по поверхности) не должно превышать 50-100 м. Время "опережения" дренажных работ по отношению к вскрышным работам

должно определяться графиком горных работ и расчетом сниженных уровней — по формулам неустановившегося движения для скважин с постоянным дебитом, равным номинальной производительности насоса x).

Возможное снижение уровня грунтовых вод при работе первоначально заданной линейной установки ограничено некоторой максимальной величиной, определяемой из формул установившегося движения. Если имеется необходимость в снижении уровня ниже этой отметки или, тем более, если карьер должен в дальнейшем полностью вскрыть водоносный горизонт (случай совершенной траншеи), то линейная установка скважин заменяется двулинейной (по обе стороны траншеи). Двулинейная установка применяется и в тех случаях, когда расчетное время снижения уровня недопустимо велико по условиям ведения горных работ. Второй ряд скважин должен располагаться по другую сторону разрезной траншеи (относительно первого ряда). На некоторых карьерах, где один из бортов траншеи сразу доводится до предельного положения, второй ряд скважин целесообразно проходить с той же стороны траншеи, что и первый ряд, причем скважины бурятся с одной из низовых берм.

Расчет работы двулинейной установки должен также проводиться по формулам неустановившегося движения для скважин с постоянным дебитом, равным номинальной производительности насоса.

Если двулинейная установка не обеспечивает требуемого снижения уровня к заданному времени, то необходимо перейти к четырехлинейной системе (по две линии с каждой стороны траншеи). Для несовершенных траншей при этом целесообразно попрежнему добиваться снижения уровня ниже подошвы карьера и поэтому внутренний дренаж обычно следует осуществлять также водопонижительными скважинами. Для совершенных траншей, когда полный перехват потока невозможен, лучше использовать иглофильтровые установки. Если при этом остаточная мощность потока подземных вод достаточно велика (больше 2–6 м), то следует применять эжекторные иглофильтры (при коэффициентах фильтрации $> 4-6$ м/сутки), или же устанавливать легкие иглофильтры по ярусной схеме. Такая схема была принята, например, на Лебединском карьере КМА.

-
- x) Принимая расход скважин равным номинальной производительности насоса, необходимо соблюдать два условия: 1) расход скважины меньше ее водовхватной способности и 2) расчетное понижение в скважине меньше первоначальной мощности потока.

Подбор параметров водопонижительных систем в этом случае обычно с достаточной степенью точности может вестись по формулам установившегося движения; более точный расчет можно провести по формулам не установившегося движения. При этом для случая несовершенных траншей обычно следует использовать формулы для скважин с постоянным дебитом, а для совершенных траншей — формулы для скважин с постоянным понижением.

Отметим, что при **сжатых** сроках осушения может использоваться и большее число рядов скважин.

2. Следует, по возможности, шире использовать поглощающие скважины (при выполнении условий IV.2); если при этом водоносные породы вскрышной толщи имеют сравнительно малые коэффициенты фильтрации (менее 3-5 м/сутки), то, при наличии в почве пласта полевого ископаемого хорошо фильтрующих слоев, целесообразно вести откачку из этих слоев, перепуская в них с помощью поглощающих скважин воды вышележащих пород. Это относится, например, к карьерам Подмосковского угольного бассейна.

3. Если использование эффекта поглощения невозможно, то в породах со сравнительно малыми коэффициентами фильтрации (от 1 до 3-5 м/сутки) обычно целесообразно ориентироваться на дренаж разрезной траншеи посредством подземной системы осушения. При этом, наряду с контурным штреком, целесообразно проходить дренажные штреки с фильтрами и под подошвой разрезной траншеи. Подземная система осушения должна обязательно вводиться в действие заблаговременно, с тем чтобы обеспечить предварительное осушение пород.

4. В случае, когда коэффициент фильтрации горизонта менее 1-2 м/сутки, обводненные породы следует вскрывать без глубинного дренажа, с откачкой воды непосредственно из разрезной траншеи, или осуществлять ярусное водопонижение иглофильтровыми установками с дополнительным вакуумированием.

5. В условиях вскрыши экскаваторами нередко возможна отработка без предварительного дренажа, с использованием только открытого водоотлива. Это, в особенности, относится к тем случаям, когда породы, подлежащие дренированию, образуют единый водоносный горизонт.

Вскрытие обводненных толщ экскаваторами без предварительного дренажа может осуществляться с помощью передовых дренажных траншей (котлованов). При этом минимальные размеры последних выбираются с таким расчетом, чтобы на каждом этапе развития фильтрационных деформаций было в допустимых пределах. Степень опережения (по глубине) определяется построением депрессионных кривых, положение которых должно обеспечить отработку выходящих уступов с "сухими" забоями. Если расчеты покажут экономическую выгоду такого варианта (что определяется, главным образом, объемом работ по проходке передовой траншеи), то карьер может вскрываться без предварительного дренажа. Такая схема, например, с успехом применяется на Батьковском и Губском месторождениях бокситов Тихвинского бассейна, где обводненные пески надбокситового горизонта вскрываются передовыми дренажными траншеями, проходными с помощью драглайнов.

В тех случаях, когда минимально допустимые размеры дренажных траншей (котлованов) настолько велики, что разработка их драглайнами становится невозможной или невыгодной, для этих целей могут быть применены земснаряды. Они будут обрабатывать лишь сравнительно небольшой объем грунта, а вся остальная толща, дренированная котлованом, может разрабатываться экскавацией.

Б. Случай вскрытия средствами гидромеханизации

Особенность этого случая состоит в том, что подземные воды являются фактором, способствующим улучшению условий разработки. Поэтому единственная цель дренажа состоит в ограничении деформаций бортов и откосов в допустимых пределах. Применение способов гидромеханизации особенно целесообразно при вскрытии обводненных рыхлых пород, образующих один мощный водоносный горизонт. Анализ показывает, что средства гидромеханизации дают в этих условиях возможность или вообще отказаться от глубинного дренажа, или существенно его сократить. Схема такого анализа, вкратце, сводится к следующему:

- 1) производится расчет притока, приходящегося на 1 пог.м. протяженности борта;
- 2) определяется допустимый угол недренированного откоса с учетом гидростатических и гидродинамических сил (гл.1, § 1);
- 3) проверяется допустимость ожидаемых деформации, связанных со свободным выходом воды в откос (гл.1, § 2), с учетом принятой скорости.

понижения уровня в котловане, и строится график зависимости длины языков оплывания от отметки зеркала воды в котловане $l_{опл} = f(H_K)$ /.

Заградительный дренаж обычно становится необходимым только по окончании работы земснарядов, когда начинается заключительная откачка воды из котлована и когда, согласно графику зависимости $l_{опл} = f(H_K)$, величина языков оплывания оказывается недопустимо большой.

Отметим, что если по инженерно-геологическим условиям можно ожидать наличия очагов интенсивной фильтрации (например, при наличии трещин в слабосцементированных породах), то следует предусмотреть простейшие профилактические мероприятия – пригрузку этих очагов гравийным или щебеночным материалом.

Открытый дренаж при работе плавучих землеснарядов широко применялся на Лебединском карьере /II/.

В. Особенности вскрытия напорных водоносных пластов

В настоящее время в большинстве случаев при строительстве карьеров напорные водоносные горизонты подвергают предварительному дренированию. Мотивируется это либо требованиями снижения притоков подземных вод в карьер, либо же опасениями нарушения устойчивости бортов ^{х)}. Ясно, что для карьеров, работающих в условиях мощных и водообильных напорных горизонтов, такая постановка вопроса является нередко правильной (например, карьеры Подмосковского бассейна).

Другим случаем, когда требуется предварительное снижение напоров, являются горизонты с близко расположенными областями питания. Такие условия особенно характерны для котлованов гидротехнических сооружений.

Открытые горные выработки часто располагаются на значительных удалениях от области питания подземных вод. Если при этом мощность напорного водоносного горизонта сравнительно невелика (до 8-12 м), то при строительстве карьеров в подобных условиях представляется возможным отказаться от предварительного дренажа. Сюда же относится и случай, когда водоносный горизонт приурочен к сравнительно слабопроницаемым ($k < 1-2$ м/сутки) породам (любой мощности), в которых водопонижение с помощью обычных технических средств затруднительно.

Отказ от дренажа должен в каждом случае обосновываться анализом, включающим:

1) проверку устойчивости борта в целом при несниженных напорах (в период, предшествующий вскрытию) – согласно § 1 гл.1;

х) См. по этому поводу гл.1, § 1,2.

2) расчет водопритокков к участку и их изменения во времени;

3) расчет суммарного притока к вскрываемому участку (формула Ш.12, ч.П);

После вскрытия напорного горизонта он дренируется аналогично безнапорным (см. пункт А).

Г л а в а У.

ДРЕНАЖ КАРЬЕРОВ В УСЛОВИЯХ НАКЛОННО ЗАЛЕГАЮЩИХ НЕУСТОЙЧИВЫХ ГОРНЫХ ПОРОД (месторождения типа А-2)

К типу А-2 относятся месторождения, в сложении которых существенную роль играют наклонно залегающие (угол падения более $4-5^{\circ}$) мягкие связанные и рыхлые несвязные породы, а также плотные глинистые и сцементированные песчанистые породы, подверженные действию воды. Ведение открытых горных работ на таких месторождениях, как и на месторождениях типа А-1, обычно существенно осложняется неустойчивостью пород в откосах и их обводненностью. Примером месторождений этого типа являются месторождения Северо-Уральского угольного бассейна.

§ 1. Особенности осушения наклонно залегающих пород

Принципиальный подход к дренажу наклонно залегающих водоносных горизонтов существенно отличается от случая горизонтально залегающих толщ; это объясняется рядом особенностей.

1. Питание водоносных горизонтов нередко затруднено; оно осуществляется, в основном, не по площади распространения горизонта, а по участкам выходов на поверхность или контактов с водообильными покровными отложениями. Поэтому счень часто преобладающая часть притоков, поступающих к карьерному полю, обусловлена сработкой статических запасов подземных вод.

2. Осушение наклонно залегающих толщ, по сравнению с горизонтально залегающими, идет более интенсивно, что связано с увеличением градиентов фильтрации за счет уклона водоупора, а также со сравнительно небольшими расстояниями до областей выхода водоносного пласта на поверхность.

3. По этим причинам в продолжение всего периода дренирования наклонно залегающего водоносного горизонта режим фильтрации нередко остается неустановившимся — происходит постепенное истощение горизонта.

4. Во многих случаях можно практически полностью предотвратить выход подземных вод на откосы бортов карьеров.

Это относится к тем участкам борта, на которых падение слоев направлено в сторону от карьера: даже малый уклон ($4-5^{\circ}$) нередко способствует резкому увеличению эффективности дренажа. Поэтому здесь улучшаются как условия работы горного оборудования, так и условия устойчивости осушаемых водоносных пород, а также пород, слагающих водоупор (см. § 4 гл. I).

В связи с повышенной прочностью пород, по сравнению с месторождениями типа А-1, фильтрационные деформации играют здесь относительно меньшую роль, а основное значение, с точки зрения устойчивости, имеют процессы набухания — разупрочнения глинистых пород.

6. Наличие местных мульд (понижений) 2-го порядка на месторождениях со сложными условиями залегания требует конкретного подхода к выбору схем осушения отдельных участков карьерного поля.

Принципы выбора оптимальных дренажных схем во многом аналогичны месторождениям типа А-1. Однако, отмеченная выше специфика залегания пород вносит здесь некоторые характерные особенности. Ничего не рассмотрены эти особенности применительно к схемам осушения наклонно залегающих неустойчивых пород, при малой мощности покровных отложений.

§ 2. Дренаж пород висячего борта и полевого ископаемого в период эксплуатации

Дренаж водоносных горизонтов в висячем боку со стороны *н е р а б о ч е г о* борта для пород, склонных к фильтрационным деформациям, полностью аналогичен месторождениям предшествующего типа (см. гл. IV). Если же водоносные горизонты приурочены к полускальным породам, устойчивым по отношению к фильтрующейся воде, то, как правило, на *н е р а б о ч е м* борту можно ограничиться открытым водоотливом из приобортовых дренажных канав.

Выше отмечалось, что при "обратном" (в сторону от откоса) падении слоев появляется возможность полного осушения пород в приобортовой зоне даже в условиях совершенного котлована. Для *р а б о ч е г о* борта карьера в этих условиях, как правило, следует ориентироваться на глубинный дренаж пород скважинами, оборудованными насосами, или подземными системами осушения, реже — поглощающими скважинами.

Ввиду нередкого преобладания притоков за счет статических запасов над динамическими притоками, а также вследствие того, что фильтрующие породы часто представлены трещиноватыми разностями, водопонижительные скважины здесь могут применяться в более широком круге условий, чем на месторождениях типа А-1^х). Так как в случае породах фильтрующих пород скважины не "пескуют" и породы, кроме того, хорошо отдают свободную (гравитационную) воду, то водопонижительные скважины, оборудованные насосами, могут нередко эффективно использоваться и при малых коэффициентах фильтрации - порядка 1-5 м/сутки; подземная система осушения (штрек с фильтрами) обычно целесообразна для дренажа таких пород лишь при крутом падении слоев.

Скважины (фильтры) целесообразно чаще всего располагать в виде линейных систем так, чтобы они обеспечивали осушение рабочих забоев в течение нескольких лет работы карьера. При синклиналиной залегании пород скважины следует проходить по оси складки (как, например, на Волчанских угольных разрезах), так как при этом обеспечивается максимальный осушительный эффект.

При использовании дренажных штреков для осушения мощных (более 100 м) продуктивных толщ, подобных Коркинской свите, допустимо создание нескольких их ярусов, расположенных в 50-60 м друг от друга (по высоте) и последовательно вводимых в работу по мере углубки карьера.

Если в толще полевого ископаемого имеются "водоупорные" слои, то проходные по её простиранию дренажные штреки должны обязательно сопровождаться вертикальными фильтрами или (при крутом падении) горизонтальными ходками (или скважинами) вкrest простирания для пересечения всех водоносных слоев. В противном случае дренажные штреки могут оказаться совершенно неэффективными (как например, это имело место на Богословском угольном разрезе).

Иногда, особенно при необходимости осушения мощных (более 100 м) продуктивных толщ, целесообразно проходить водопонижительные скважины не с поверхности, а с подошвы карьера или с низовых берм. Дренажные штреки в таких условиях также целесообразно проходить или непосредственно из карьера - в виде штолен, идущих вкrest простирания, или из наклонных стволов, пройденных в подошве карьера.

Системы глубинного водопонижения, предназначенные для осушения пород всякого бока и полевого ископаемого, нередко могут быть (при необходимости) использованы одновременно для дренажа напорных гори-

х) Это не относится к случаям крутого падения слоев.

зонтов в лежащем боку (см. § 3), что следует иметь в виду при экономическом обосновании дренажных схем.

§ 3. Дренаж пород лежащего бока в период эксплуатации

Водоносные горизонты в лежащем боку необходимо дренировать в двух случаях: а) когда горизонт залегает непосредственно под полезным ископаемым и обводняет его или отделен от полезного ископаемого малопрочным водоупорным слоем, который не может предотвратить прорыв (см. гл. 1, § 2) и б) когда нескрытый карьером напорный горизонт оказывает существенное влияние на устойчивость пород в откосах (см. гл. 1, § 1 и § 4); необходимое снижение напоров в этом случае рассчитывается исходя из условий обеспечения устойчивости откоса.

Дренажное пород лежащего бока должно осуществляться исходя из следующих принципов:

а) если породы висячего бока или пласт полезного ископаемого, согласно условиям работ, подлежат дренированию водопонижительными скважинами, то для осушения пород лежащего бока могут быть использованы эти же скважины;

б) если породы висячего бока или пласт полезного ископаемого дренируются подвешенной системой осушения, причем штрек проходится по полезному ископаемому или ниже его, то породы лежащего бока могут осушаться колодцами или забивными фильтрами, пройденными из штрека; целесообразность использования одних и тех же дренажных выработок для осушения лежащего и висячего бока должна проверяться экономическим расчетом;

в) если породы висячего бока и пласт полезного ископаемого не дренируются или дренажные системы, используемые здесь, не могут быть применены для дренажа лежащего бока (по соображениям технико-экономического характера), то дренаж пород лежащего бока наиболее просто осуществляется самоизливающимися скважинами или неглубокими водопонижительными колодцами, проходимыми параллельно фронту работ с подошвы карьера; в тех случаях, когда использование этих средств затруднительно (например, на некоторых карьерах с внутренним отвалом образований) для снижения напоров могут использоваться водопонижительные скважины, пройденные с поверхности.

§ 4. Дренаж разрезной траншей

В период проходки разрезной траншей дренаж, главным образом, обеспечивает необходимое осушение толщ рыхлых покровных отложений, перекрывающих полезное ископаемое. При этом он должен осуществляться исходя из тех же принципов, что и дренаж разрезной траншей на месторождениях типа А-1 (см. гл. IV, § 4).

После вскрытия пласта полезного ископаемого дренаж участка разрезной траншей определяется схемой осушения, принятой на период эксплуатации:

а) если, согласно проекту, в период эксплуатации предусматривается глубинное осушение пород висячего бока и полезного ископаемого, то систему осушения необходимо вводить в действие заранее, с тем чтобы обеспечить необходимое снижение уровня к моменту вскрытия пласта полезного ископаемого;

б) если в период эксплуатации предусмотрен открытый дренаж пород висячего бока и полезного ископаемого, то дальнейшая углубка разрезной траншей осуществляется под защитой передовых дренажных траншей и аутифов, проходимых в ее подошве;

в) если расчеты показывают, что напорные горизонты лежащего бока оказывают существенное влияние на устойчивость бортов разрезной траншей, то уже в период строительства карьера следует проводить необходимое снижение напоров, для чего обычно используется линейная система водопонижительных скважин, пробуренных с поверхности со стороны рабочего борта (см. также § 3).

Г л а в а V I.

ДРЕНАЖ КАРЬЕРОВ В УСЛОВИЯХ УСТОЙЧИВЫХ ГОРНЫХ ПОРОД (месторождения группы Б)

К группе Б относятся месторождения, сложенные, в основном, скальными и полускальными трещиноватыми породами, устойчивость которых в откосах практически не зависит от подземных и поверхностных вод. Примерами месторождений этой группы являются Высокогорское, Коунрадское, Гайское, Сибайское и другие месторождения.

§ 1. Особенности осушения трещиноватых пород

1. Обводненные трещиноватые породы, в отличие от рыхлых пород, практически не меняют своих свойств и не деформируются под действием воды (последнее не относится к соляным породам, которые в работе не рассматриваются).

Следует иметь в виду, что среди трещиноватых пород встречаются зоны, сложенные рыхлыми разностями (глинистая кора выветривания, породы тектонических зон и т.п.). При вскрытии таких обводненных зон может возникать ряд явлений, аналогичных рассмотренным для случая неустойчивых пород.

2. На месторождениях этой группы влияние подземных вод на условия работы оборудования сказывается в гораздо меньшей степени, ввиду отсутствия фильтрационных деформаций, а также процессов налива-размокания и т.д. (см. гл. II § 2).

3. Влияние подземных вод на изменение влажности полезного ископаемого также проявляется в меньшей степени, так как оно часто представлено породами, не склонными к набуханию и хорошо отдающими воду.

4. Обводненность трещиноватых пород связана с наличием трещин выветривания, тектонических зон, закарстованностью и т.п., а в некоторых породах — и с их пористостью. Трещиноватость обычно развита максимально в верхней части толщи, в зоне коры выветривания, распространяющейся на глубины 50 — 70 метров. Характерна неравномерность в распространении трещиноватых участков, что в особенности относится к породам тектонических зон, имеющих локальное развитие. Таким образом, в условиях трещиноватых пород обводненность очень часто связана не с каким-либо литологическим комплексом (слоем пород), а с разнородными по составу породами, так что фильтрация подземных вод (а следовательно, и методы осушения) часто мало зависят от условий залегания пород.

5. В большинстве случаев обводненность трещиноватых пород, в общем, невысокая; водоотдача, как правило, не превышает 0,5–1% (за исключением карбонатных пород). Поэтому при отсутствии динамических притоков горизонт нередко постепенно истощается.

6. Если данные откачек из трещиноватых пород свидетельствуют об их сравнительно однородной (в плане) трещиноватости, то в таких условиях глубинный дренаж оказывается достаточно эффективным. В силу того, что трещиноватые породы хорошо отдают воду, скважины здесь эффективно работают и при малых коэффициентах фильтрации $k < 3-5$ м/сутки.

При неоднородной трещиноватости местонахождение отдельных обводненных зон не всегда известно и скважинами трудно подсечь эти зоны. Понятно, что в таких условиях устройство загрядительного дренажа будет эффективным, лишь когда дренажные выработки пересекают зоны повышенной трещиноватости.

7. Среди обводненных скальных пород особое положение занимают известняки, которые во многих случаях характеризуются повышенной трещиноватостью, закарстованностью и при больших мощностях могут содержать значительные статические запасы воды. Наличие изолированных карстовых полостей, часто заполненных рыхлым материалом, может привести к осложнениям в ведении горных работ, так как при вскрытии таких полостей возможны большие водопритоки и вынос рыхлого материала. Поэтому известняки в большинстве случаев целесообразно подвергать глубинному дренажу скважинами.

8. Осушение слабообводненного полезного ископаемого, представленного трещиноватыми породами, глубинным дренажем будет иметь смысл в том случае, если другие водоносные горизонты нельзя сдренировать иначе. В противном случае его можно без всяких осложнений осушить открытым водоотливом. С этой точки зрения глубинный дренаж не имеет существенных преимуществ перед открытым водоотливом. Действительно, трещиноватые породы хорошо отдают воду и депрессионная воронка в них при слабой обводненности обычно пологая; кроме того, трещиноватое полезное ископаемое при наличии избыточной воды не будет увеличивать свою влажность, так как оно не склонно к набуханию.

9. В настоящее время считается общепризнанным, что расчет притоков из трещиноватых пород можно проводить по тем же формулам, что и для пористых пород.

Депрессионные (пьезометрические) кривые также можно приближенно строить, как для пористых пород. Однако, в этом случае ошибки могут быть весьма существенными, особенно вблизи контура стока. В целом, при гидрогеологических расчетах для трещиноватых пород следует помнить, что вследствие большой неоднородности последних все эти расчеты, а особенно — расчеты уровней, носят сугубо приближенный характер. Соответствующее уточнение проводится на основании наблюдений в период строительства и эксплуатации карьера.

Отметим, что расчет фильтрации в трещиноватых породах может проводиться двояко, в зависимости от распространения трещиноватых зон. Если эти зоны приурочены к определенному пласту пород, то расчет

проводится в соответствии с условиями залегания этого пласта (или как для наклонного, или как для горизонтального пласта). Если же трещиноватость приурочена к определенной приповерхностной зоне (например, трещины коры выветривания) и распределение ее не зависит от залегания слоев, то расчет, как правило, должен проводиться аналогично горизонтально залегающим пластам рыхлых пород.

§ 2. Дренаж пород висячего бока и полевого ископаемого в период эксплуатации

1. Открытый дренаж является основным способом осушения устойчивых трещиноватых пород. Практика показывает, что использование открытого дренажа в громадном большинстве случаев не вызывает здесь каких-либо существенных осложнений в ходе ведения горных работ^{х)}. Воды, поступающие в карьер, должны откачиваться на открытых водосборниках, расположенных в его подошве. Это, в первую очередь, относится к темным условиям, когда величины притоков подземных вод резко меняются во времени в зависимости от количества выпадающих атмосферных осадков; основное значение в таком случае имеют мероприятия по организации поверхностного стока, а глубинный дренаж, как правило, экономически нецелесообразен. Подобные условия имеют место, например, на многих карьерах Средней Азии и Казахстана.

Нежелательным является применение открытого водоотлива (часто вместе с локальным глубинным дренажем) в водоносных породах, содержащих большое число замкнутых, гидравлически несвязанных зон, когда невозможно заранее определить достаточно детально расположение водоносных и "сухих" участков.

2. Глубинный дренаж трещиноватых устойчивых пород (параллельно с открытым) следует применять в сравнительно редких случаях, причем, главным образом, на рабочем борту карьера. С этой целью обычно можно использовать водопонижительные, реже самоналивающие (горизонтальные и наклонные) и поглощающие скважины. Подземную систему осушения для дренажа трещиноватых устойчивых пород следует использовать лишь:

-
- х) Влияние воды на ведение буровзрывных работ не может считаться определяющим: во-первых, оно может быть устранено некоторым изменением технологии этих работ, и, во-вторых, здесь, как правило, не меньшее значение имеют атмосферные воды, выпадающие на площади карьера.

а) когда они перекрываются толщей рыхлых отложений, дренаж в карьер целесообразно осуществлять подземной системой и б) при частом опедо-вании сравнительно маломощных (до 2-3 м) слоев трещиноватых водонос-ных пород с "водоупорными" слоями.

Нгде кратко рассмотрены основные случаи, в которых целесоо-зочно на различных глубинах дренаж трещиноватых водоустойчивых пород.

а. При наличии выявленных предварительными исследованиями зон резко повышенной обводненности или проницаемости, обладающих большими статическими запасами (это относится, прежде всего, к породам с водо-отдачей, превышающей 2-3%) или обуславливающих большие динамические притоки в карьер.

Водопонижающие скважины следует бурить, главным образом, в пре-делах этих зон; при этом целесообразно предварительно бурить проб-ные скважины с целью выявления наиболее трещиноватых участков. Такие условия имеют место, например, на Высокогорском карьере.

Так как обычно обводненные зоны на многих участках ограничены вертикальными или наклонными "водоупорными" перемычками (прослоями, зонами разложенных пород и т.д.), то в целях предотвращения неопи-данных прорывов подземных вод в карьер и снижения напоров следует проходить горизонтальные и наклонные самоизливающие скважины непо-средственно с рабочих уступов или неглубокие водопонижительные ко-лоды с низовых берм (как например, на Шелепном карьере Удмурт-ского железнорождения).

б. При возможности полного осушения вскрышной толщи (схема не-вершинного котлована) весьма малым числом водопонижительных сква-жин, пробуренных в подошву карьера. В качестве примера можно привести Высокогорский карьер.

в. При устойчивых весьма больших притоках в карьер (более 8-10 м³/сутки на пог.м.откоса). В этом случае глубинный дренаж чаще всего следует осуществлять водопонижительными скважинами, проходимыми с поверхности и располагаемыми в виде линейной системы.

3. Особенности осушения при наличии разложенных пород.

Особые задачи ставятся перед дренажем, когда в толще трещинова-тых пород имеются значительные участки каолинизированных или других разложенных пород.

Если эти участки имеют локальное распространение, то общий подход к выбору дренажных схем не меняется. Необходимо только иметь в виду пониженную степень устойчивости таких участков и предусмотреть на них дополнительные мероприятия (например, выполаживание уступа).

Если же разложенные породы залегают повсеместно на площади карьерного поля, то условия для применения открытого водоотлива сужаются (по сравнению с предшествующими случаями); здесь подход к выбору дренажных схем должен быть аналогичным месторождениям группы А-2 (см. гл. V) – при плоскоинно наклонном залегании разложенных пород, или месторождениям группы А-1 (см. гл. IV) – при покровном характере залегания разложенных пород. Примерами месторождений такого типа являются Уфалеиские никелевые месторождения.

§ 3. Дренаж пород лежащего бока

Глубинный дренаж пород лежащего бока следует проводить в следующих случаях:

а) когда породы лежащего бока целесообразно дренировать для осушения пород висящего бока (см. § 2);

б) когда породы, перекрывающие напорный горизонт лежащего бока, представлены неустойчивыми равностями и существование напоров в лежащем боку значительно ухудшает устойчивость борта;

в) при больших напорах и большой водообильности пород лежащего бока (например, известняки) – для предотвращения неожиданных прорывов подземных вод в карьер.

Для снижения напоров могут применяться самоизливающие скважины или неглубокие водопонижительные колодцы, проходимые с подошвы карьера. При неустойчивых перекрывающих породах и внутреннем отвалообразовании иногда целесообразно дренировать лежащий бок скважинами, предназначенными для дренажа пород висящего бока.

§ 4. Дренаж разрезной траншеи

Ввиду того, что притоки в карьеры, вскрывающие толщи трещиноватых пород, очень часто обусловлены, главным образом, статическими запасами подземных вод, величины их являются максимальными в период строительства карьера. Учитывая, кроме того, что трещиноватые породы обычно хорошо дренируются сравнительно малыми средствами, во многих случаях целесообразно ориентироваться на глубинный дренаж, осуществляя его параллельно с проходкой разрезной траншеи (предваритель-

ный дренаж рекомендуется лишь в достаточно водообильных породах — с водоотдачей более 2–3%). Для этого могут использоваться водопрони- зительные скважины, проделанные вблизи разрезной траншеи, причем обычно можно ограничиться небольшим числом скважин.

В породах, обладающих сравнительно слабой трещиноватостью (водоотдача менее 0,5%), проходка разрезной траншеи может осуще- ствляться вообще без глубинного дренажа; откачка воды ведется из открытых водоприемников, расположенных в подошве разрезной траншеи.

Г л а в а VII

ДРЕНАЖ КАРЬЕРОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ СМЕШАННОГО ТИПА

Сложность обоснования схем осушения месторождений этой группы определяется как разнообразным характером залегания водовмещающих пород, так и резко различной степенью их устойчивости. Так, складчатые обводненные структуры трещиноватых устойчивых пород могут перекрываться водоносными горизонтами, приуроченными к горизонтально залегающим рыхлым несвязным породам, характеризующимся слабой устойчивостью, или к коре выветривания. При этом горизонтально залегающие отложения могут иметь различную степень устойчивости, различную мощность и т.д.; в зависимости от этого условия дренирования и характер возможных схем меняются.

В качестве примеров месторождений этой группы можно привести Роз- дольское месторождение серы, железорудные месторождения Соколовско-Сарбайской группы (при полном развитии добычных работ) и т.д.

Многообразие дренажных схем в этих условиях делает невозможным подробное их рассмотрение. Важно лишь подчеркнуть, что схемы дрениро- вания таких месторождений должны основываться на рассмотренных выше элементарных схемах, отвечающих однородным (с точки зрения принятой классификации) водоносным комплексам. Принципиальный подход к расчет- ному обоснованию таких схем также полностью аналогичен элементарным схемам.

Глава УП ДРЕНАЖ ВНУТРЕННИХ ОТВАЛОВ И ПОДСЕВЫ КАРЬЕРА

Основным мероприятием по обеспечению устойчивости внутренних отвалов мягких связных и пыльных несвязных пород является осушение подсывы карьера, которое сводится к следующему:

1. Устройство систематического дренажа для защиты пород отвалов от насыщения и подтопления их подземными водами нижележащих горизонтов, а также другими водами, поступающими в выработанное пространство. Такой дренаж должен обязательно устраиваться при отсыпке отвалов песчаных и глинистых пород на водоносные породы. Он представляет систему горизонтальных канав (осушителей и собирателей) в основании отвалов, расположенных по сетке — параллельно фронту работ (канавы — осушители) и перпендикулярно ему (канавы — собиратели). В том случае, когда отработка пород вскрыши и отвалообразование осуществляются с помощью драглайнов, ввиду малости ширины заходки роль дрен осушителей могут играть поперечные канавы (перпендикулярные фронту работ), это объясняется тем, что в данном случае использование продольных канав (параллельных фронту работ) приводит к их большому сгущению (по крайней мере, по одной канаве в пределах заходки). Глубина канав-осушителей может быть различной; она определяется расчетом, исходя из требуемого понижения: для отвалов глинистого состава наивысшим уровень подземных вод в пределах призмы возможного оползания должен быть ниже основания отвалов на величину $h > h_k$ (h_k — высота капиллярного поднятия), а для отвалов песчаного состава этот уровень должен находиться на отметке их основания.

Расстояние между канавами предварительно рассчитывается, а затем уточняется опытно-эксплуатационным путем; обыкновенно в пониженных участках подсывы пласта полезного ископаемого канавы располагаются чаще.

В канавы укладываются трубы или они выполняются фильтрующим материалом (крупнозернистый песок, щебень и т.п.). Замена фильтрующего материала пористыми трубами уменьшает трудоемкость работ, но имеет свои недостатки: при деформациях отвала трубы могут быть смещены, а при большой высоте отвала — даже раздавлены, так что вся система дренажа будет нарушена /16/. Поэтому трубы следует применять при достаточно устойчивом основании отвалов, когда не ожидается

выпирания его; при большой высоте отвалов должен быть проведен расчет труб на прочность. Трубы или дренажный материал, во избежание заиливания, должны покрываться слоем песка, мощностью 0,5–1 м.

Если основание отвалов сложено водоносными песками, то при значительных притоках устройство канав осложняется их запылением. В этих условиях по линии канав следует предварительно проходить неглубокие водопонижительные колодцы; они могут быть как трубчатыми, так и копанymi (с креплением). Под вахитой колодцев проходятся и оборудуются дренажные канавы, после чего откачку из колодцев можно прекратить. Схема, близкая к описанной, применяется, например, на Кривоской угольном разрезе.

Если отвалы отсыпаются на водонепроницаемое основание, то иногда вместо канав можно устраивать песчаные насыпи с проложенными в них трубами /1/.

2. Если дренажные канавы не обеспечивают достаточного снижения уровня воды под отвалами или требуется делать их слишком глубокими (более 3–4 м), то водоносный горизонт в подошве карьера необходимо дополнительно дренировать трубчатыми водопонижительными колодцами, расположенными в выработанном пространстве параллельно линии отвалов; по мере подвигания фронта работ проходятся новые ряды колодцев, а старые соединяются магистральными канавами и засыпаются фильтрующим материалом. Расчет колодцев проводится по формулам для скважин с заданным уровнем.

3. При наличии мощного напорного горизонта под основанием отвалов, для предотвращения возможности прорывов (см. гл. 1) в выработанное пространство и для снижения гидростатических и гидродинамических сил (в тех случаях, когда это необходимо по соображениям устойчивости), устраиваются ряды самоизливающихся скважин по линии, параллельной фронту работ. Перед засыпкой их отвалами от скважин прокладываются водосточные трубы. Такая схема применяется на некоторых угольных карьерах /2/.

4. Если испытания пород отвала на сдвиг показывают, что в них, при заданной высоте, развивается поровое давление, существенно снижающее сопротивление сдвигу и устойчивость откосов, то при устойчивом основании отвалов целесообразно (при наличии песчаных пород во вскрышной толще) предусмотреть интенсификацию осушения самих пород отвалов посредством устройства сплошных песчаных подушек в их основании ("пластовый дренаж"). Мощность песчаного слоя может приниматься относительно небольшой – 50–80 см. При большой высоте глинистых отвалов

(более 30–40 м) и при наличии песков во вскрышной толще целесообразно проводить селективную отсыпку отвалов (например, Крковский карьер).

5. В целях уменьшения величины инфильтрации атмосферных осадков, целесообразно проводить планировку поверхности отвалов, которая, по возможности, должна охватывать участки, прилежащие к откосу.

Г л а в а 1X

О НЕКОТОРЫХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДАХ ДРЕНАЖА ГОРНЫХ ПОРОД

Рассмотренные выше дренажные схемы основаны на использовании средств дренажа, освоенных нашей промышленностью и проверенных в эксплуатации практикой горного, гидротехнического и гражданского строительства. Однако, в настоящее время в практику осушения карьеров внедряются некоторые новые способы дренирования и новое оборудование, которые позволяют сделать дренаж более эффективным. В связи с этим уже сейчас возможны некоторые изменения в схемах осушения карьерных полей.

Часть описанных ниже средств может с успехом применяться или применяется на карьерах в настоящее время; некоторые из них требуют дальнейшего совершенствования и снижения стоимости их сооружения и эксплуатации.

§ 1. Горизонтальные скважины

Исключительно перспективным средством дренажа являются горизонтальные скважины, проходимые из откоса вглубь дренируемого массива. Имеется много примеров, подтверждающих их эффективность в борьбе с оползнями естественных склонов и деформациями бортов карьеров. Например, в США дренирование горизонтальными скважинами обходится в 4–5 раз дешевле, чем вертикальными [22]. Кроме того, как показывают вычисления, осушительный эффект горизонтальных скважин гораздо выше: при расстоянии между дренами, равном их длине, коэффициент "аэслона" составляет более 90%, а при сокращении этого расстояния еще в два раза выхода воды в откос практически не будет наблюдаться (при горизонтальном водоупоре). Так как длина скважин может измеряться многими десятками метров (в практике горных работ ГДР применяются скважины длиной до 200 м), то полное осушение прибортовой зоны может быть достигнуто сравнительно малым числом скважин;

между тем, при горизонтальном залегании слоев вертикальные скважины (в случае совершенных котлованов) почти никогда не позволят добыть-ся такого эффекта. В отечественной практике горных работ вопрос о применении горизонтальных скважин пока не вышел из стадии эксперимента. В этом отношении несомненный интерес представляют опытные исследования, проводимые в настоящее время на Лебединском карьере институтом НИИГМА.

Использование горизонтальных скважин на карьерах представляется наиболее целесообразным в следующих условиях.

а) Для дренажа водоносных горизонтов на нерабочем борту карьера (см. гл. IV). Если в подобных условиях принимать поступающие к откосу воды только горизонтальным прибортовым дренажем, то требуется слишком большая толщина дренажной призмы; кроме того, при этом трудно осуществить хорошую зачистку откоса.

б) Во всех случаях, когда необходимо дренировать относительно слабопроницаемые горизонтальные или полого наклонные пласты с низкой водоотдачей. В таких условиях расход, забираемый скважиной, в большой степени зависит от длины ее водозахватной части, которая у горизонтальных скважин гораздо больше, чем у вертикальных.

в) Во всех случаях, когда возникает необходимость в дренировании маломощных пластов; действительно, при этом у вертикальных скважин рабочая часть ограничена величиной мощности пласта, в то время как горизонтальные скважины (или полого наклонные - в случае наклонного залегания) свободны от этого недостатка.

г) Для осушения мелкотрещиноватых пород; в этих условиях скважины можно проходить без обсадки, что значительно повышает эффективность бурения. Горизонтальные скважины используются для осушения трещиноватых углей на Назаровском карьере.

При дренаже карьеров горизонтальные скважины могут применяться как на постоянных, так и на рабочих бортах. В условиях нерабочего борта, в сочетании с прибортовым дренажем, они могут с успехом заменить громоздкие системы из дренажных штреков. Скважины могут проходиться как перпендикулярно к линии простиранья борта, так и под углом к ней х).

х) Методы бурения и способы оборудования скважин описать в литературе / 21, 23 /.

Длина скважин определяется техническими и экономическими условиями. В зарубежной практике обычно применяются скважины длиной 50-70 м, но встречаются и случаи, когда длина их достигает 200 м, при максимальном диаметре порядка 350-500 мм. Расстояние между скважинами задается, исходя из требуемого снижения уровней и допустимого расхода высачивающейся на откос воды (см. формулы П.39 - П.40, ч.П).

Для использования горизонтальных скважин на рабочем борту следует проходить специальные шахтные стволы диаметром порядка 2 м с горизонтальными скважинами на них ("лучевые водоваборы"). Такие стволы запроектированы, например, для водопонижения на Киевской ГЭС.

Возможен также вариант отработки обводненных пород под защитой горизонтальных скважин, проходящих непосредственно из карьера (рис.10).

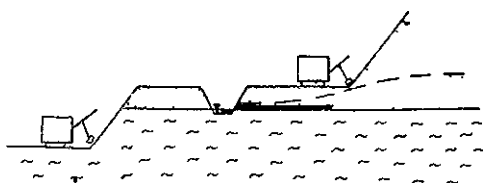


Рис. 10. Схема дренажа рабочего борта горизонтальными скважинами

Часто расположенные горизонтальные скважины могут оказаться исключительно эффектив- Рис. 10. Схема дренажа рабочего борта горизонтальными скважинами ным средством уменьшения влажности полезного ископаемого, особенно в тех случаях, когда оно обладает низкой водоотдачей и не может быть осушено вертикальными скважинами. Имеются сведения /21/, что для осушения углей горизонтальные скважины оказались в 5 раз дешевле подземных систем осушения (штрек с фильтрами).

§ 2. Использование "песчаных свай"

Особым способом повышения осушительного эффекта в слабоотдающих воду породах является применение "песчаных свай". Метод может быть применен для осушения отвалов и отдельных уступов, сложенных породами суглинистого или супесчаного состава.

"Песчаные сваи" способствуют интенсификации уплотнения отвальных и вообще слабоуплотненных пород. Уплотнение происходит благодаря ускорению осушения пород путем сокращения длины пути фильтрации воды (к местам заложения "песчаных свай"). Таким образом, осушительный эффект при применении "песчаных свай" зависит, с одной стороны, от фильтрационных характеристик осушаемого грунта, а с другой - от частоты закладки "свай". По данным Н.М.Герсегованова /5/, время осушения

(консолидации) суглинистых грунтов при расположении "свай" по сетке (4x4 м) может быть сокращено в 20 раз.

§ 3. Водопонижающие скважины большого диаметра

В настоящее время в практику осушения внедряются скважины большого (0,5-1 м и более) диаметра. Преимущества таких скважин очевидны: они позволяют проще решить проблему выбора насосного оборудования и, кроме того, имеют высокую водовхватную способность; последнее обстоятельство дает возможность во многих случаях увеличить расстояние между скважинами и тем самым - сократить число действующих насосов. В практике осушения карьеров ФРГ, например, скважины большого диаметра (до 1 м) при глубине 200-300 м получили за последнее время весьма большое распространение /4/, хотя, как известно, именно на буроугольных карьерах ФРГ и ГДР использовались с максимальным эффектом подземные системы осушения.

Перспективными методами борьбы с подземными водами являются также глубинное вакуумирование и электроосмос. Однако применение их на карьерах пока оказывается экономически нецелесообразным.

Для неглубоко залегающих (до 20-30 м) водоносных горизонтов в настоящее время начинают внедряться водонепроницаемые завесы.

Г л а в а X

БОРЬБА С ПОВЕРХНОСТНЫМИ ВОДАМИ И ОРГАНИЗАЦИЯ ВНУТРИКАРЬЕРНОГО СТОКА

Борьба с поверхностными водами может проводиться в двух направлениях: отвод или осушение постоянных водных коллекторов и регулирование поверхностного стока.

Отвод рек и осушение других водных коллекторов (озер, прудов, болот) применяются в тех случаях, когда обводнение карьера за счет поступления вод из них достаточно существенно.

Чаще всего реку отводит в новое забетонированное русло; в карстующихся породах более эффективным является отвод речных вод по трубам. Если русло прокладывается по слабопроницаемым покровным отложениям, то в ряде случаев можно обойтись и без бетонирования. Расстояние, на которое отводится река от карьера, определяется в этом случае проницаемостью пород в русле, геоморфологическими особенностями местности и рациональной степенью уменьшения влияния инфильтрации из реки на условия дренирования водоносного горизонта. Того же принципа следует придерживаться при отводе и осушении водоемов и болот. При этом нужно учитывать, что поступление

воды за счет инфильтрации из водоемов будет тем большим, чем значительней размеры зеркала водоема. Иногда дно водоема, являющегося источником инфильтрации, можно частично заколматировать путем сброса в водоем глинистой пульпы (например, р.Осколец в районе Лебединского карьера). В некоторых случаях /6/ речные воды отводятся во временное русло; старое русло на участке, прилежащем к карьору, бетонируется, после чего вода вновь пускается по старому руслу.

Для обоснования целесообразности отвода и изоляции постоянного коллектора необходимо произвести технико-экономический расчет, сопоставить стоимость отвода и тех дренажных мероприятий, которые нужно осуществить для обеспечения нормального хода горных работ на весь период эксплуатации месторождения.

Следует обращать больше внимания на тщательность изоляции русел отводных каналов, которые часто играют роль дополнительного источника питания подземных вод и вызывают, в связи с этим, нередко оползневые деформации (например, оползень нерабочего борта Грушевского марганцево-рудного карьера в 1963 г.).

Регулирование поверхностного стока дождевых и талых вод производится в пределах самого карьера (площадок уступов, откосов, дна), а также в пределах некоторой полосы вокруг карьера. Ширина этой полосы в условиях горизонтального залегания рыхлых отложений определяется: геоморфологическим строением района, количеством выпадающих осадков или талых вод, инфильтрационной способностью покровных отложений, допустимым (с точки зрения устойчивости бортов карьера) количеством прорильтравившихся вод, наличием или отсутствием заградительного дренажного контура.

Во всяком случае, регулирование поверхностного стока всегда целесообразно производить в полосе между контуром карьера и дренажным контуром — если он существует. При отсутствии дренажного контура можно рекомендовать проводить регулирование в полосе шириной, равной удвоенной глубине карьера.

Мероприятия по регулированию поверхностного стока сводятся к устройству нагорных и водоспускных канав, планировке территории вокруг карьера, а также поверхности берг и откосов. Нагорные и водоспускные канавы проходятся вокруг карьера в пределах полосы осушения и на каждом уступе, сложенном водонепроницаемыми или слабопроницаемыми породами. Уклоны, придаваемые канавам, должны гарантировать отсутствие эрозионного размыва (см. приложение 12). На откосах уступов необходимо предусматривать лесные насаждения.

Следует обращать внимание на то, чтобы все эти устройства не приводили к ощутимому пополнению подземных вод на отдельных участках карьерного поля. В особенности это относится к прудам-аккумуляторам, создаваемым нередко в недопустимой близости к бортам карьеров и вызывающим оползни их откосов.

Внутрикарьерная система водоотлива должна компоноваться со всей системой дренажа месторождения путем применения единых водоотливных средств (общие водосборники, насосы и т.д.).

В заключение несколько слов об организации внутрикарьерного стока подземных вод, вытекающих в карьер. Здесь следует особо подчеркнуть недопустимость свободного стекания высачивающихся вод по откосам бортов карьера, ибо это приводит к развитию различного рода деформаций, начиная от механического сноса и кончая оползнями уступов набухающих глинистых пород. Кроме того, стекающая вода, скапливаясь на площадках добычных уступов, приводит к дополнительному увлажнению полезного ископаемого. Поэтому вытекающие на откос воды должны поступать в водосборники по специальным водоотводным устройствам.

Отметим также, что не следует во всех случаях стремиться к перепуску всех фильтрующих вод в общий водосборник, расположенный в подошве карьера или в подземной дренажной выработке: для карьеров большой (более 100 м) глубины это может привести к существенному удорожанию откачки - в тех случаях, когда основной водоносный горизонт приурочен к верхней части толщи вскрышных пород.

В целом, нужно обратить особое внимание на мероприятия по борьбе с поверхностными водами и по организации внутрикарьерного стока: пренебрежение этими мероприятиями часто сводит на нет работу мощных дренажных устройств, предназначенных для борьбы с подземными водами.

Л и т е р а т у р а

1. А б р а м о в С.К., С к и р г е л л о О.Б., Ч е л ь ц о в М.И. Осушение шахтных полей и карьеров. Госгортехиздат, 1961.
2. А р т х о в П.И., С т е ф а н о в с к и й Г.В., П о п о в А.А. По поводу статьи В.И.Печковского, А.А.Черногова и А.А.Нечитайло "О целесообразном способе осушения карьерных полей Никопольского марганцевого бассейна" (отклики читателей). "Горный журнал, 1963, № 3.
3. Б е ч и н А.П. Сооружение котлованов гидроузалов. Госэнергоиздат, 1961.
4. Г а е в П.Г. Осушение буроугольных карьеров ФРГ. Изд.ЦИТИ угля, 1962.
5. Г е р с е в а н о в Н.М., П о л ь ш и н Д.Е. Теоретические основы механики грунтов. Стройиздат, 1948.
6. Г о л ь д К. Вскрытие буроугольных карьерных полей. Углетехиздат, 1957.
7. Ж е р н о в И.Е. Рациональные схемы осушения карьеров на месторождениях с крутым падением пластов. Научные записки УкрНИИ-проекта, 1961.
8. И с т о м и н а В.С. Фильтрационная устойчивость грунтов. Госстройиздат, 1957.
9. К о п ы л о в В.И. "Состояние и перспективы осушения и водотлива", "Научные записки УкрНИИпроекта", вып.10, 1963.
10. М а с л о в Н.Н. Условия устойчивости склонов и откосов в гидротехническом строительстве. Госэнергоиздат, 1959.
11. М и р о н е н к о В.А. "К вопросу об устойчивости обводненных песчаных откосов на карьерах КМА". "Известия высших учебных заведений. Геология и разведка". 1962, № 7.
12. П л о т н и к о в Н.И., С ы р о в а т к о М.В., Щ е г о л е в Д.И. Подземные воды рудных месторождений. Metallургияиздат, 1957.
13. Труды института ВОДГЕО. Госстройиздат, 1958.
14. Труды совещания по вопросам водопонижения в гидротехническом строительстве. Изд.ин-та ВОДГЕО, 1959.
15. Труды совещания по строительству горных предприятий в сложных условиях. Углетехиздат, 1959.

16. Труды научно-технической конференции по осушению обводненных угольных месторождений. Госгортехиздат, 1969.

17. Фисенко Г.Л., Пустовойтова Т.К., Кагермазова С.В. Руководство по определению оптимальных углов наклона бортов карьеров и откосов отвалов. Изд.ВНИИМ, Ленинград, 1962.

18. Фисенко Г.Л., Пироненко В.А. "Устойчивость бортов карьеров ЮМ", Сб. "Научные труды по проблемам ЮМ. Ростехиздат, 1962.

19. Шестаков В.М. "Экспериментальная устойчивость песчаных откосов". "Гидротехническое строительство", № 10, 1959.

20. Шестаков В.М. О применении комбинированного водоотлива при осушении котлованов в песчаных грунтах. "Гидротехническое строительство", № 4, 1962.

21. Rettig F. - "Taschenbuch für den Bergbau", Leipzig, 1953.

22. Ward W.H. - "Geotechnique", VII, N 3, 1957.

23. Wieweg H. - "Bergakademie", N 11, 1960.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ СВЯЗАННОГО ОТКОСА

А. Рассчитать устойчивость подтопленного откоса, показанного на рис. 11 (см. гл. 1, § 1).



Рис. 11. Схема к расчету устойчивости подтопленного откоса

Исходные данные:

γ суглинка	$= 2 \text{ т/м}^3$	ρ суглинка	$= 28^\circ$
γ песка	$= 1,7 \text{ т/м}^3$	ρ песка	$= 33^\circ$
k песка	$= 2 \text{ т/м}^2$	n песка	$= 0,35$
k суглинка	$= 5 \text{ т/м}^2$	Δ песка	$= 2,65 \text{ т/м}^3$

1. Определяем положение "наиболее опасной поверхности скольжения" необходимого откоса /18/.

2. Моделированием на приборе ЭГДА находим положение депрессионной кривой и линии равных напоров, отсчет которых ведем от прямой АА. Для определения напора в какой-либо точке М следует найти точку пересечения N линии равного напора, проходящей через точку М, с депрессионной кривой. Расстояние от точки N до прямой АА и есть величина напора в точке М.

При отсутствии линии равных напоров, построенных на ГДА, в данном случае можно приближенно принимать величину напора в точке I: равной отрезку вертикали, проведенной через эту точку, заключенному между прямой AA и депрессионной кривой (или линией уреза воды в котловане).

3. Участок между "кривой скольжения" и линией откоса разбиваем на вертикальные блоки и в пределах каждого блока определяем результирующую силу гидростатического и гидродинамического давления по формуле (1.4).

4. По формуле (1.1) определяем объемный вес водонасыщенных песков: $\gamma_{\text{нас.}} = 2,07 \text{ т/м}^3$.

5. Коэффициент запаса устойчивости определяем по формуле (1.6). Коэффициент запаса устойчивости η получился равным

$$\eta = \frac{2316}{1938} = 1,2 \quad (\text{см. таблицу 1})$$

Б. Рассчитать устойчивость обводненного многослойного откоса.

Геологическое строение откоса и расчетная схема приведены на рис.12.

И с х о д н ы е д а н н ы е:

слой 1 и 3 - песок: уд.вес $\Delta = 2,65 \text{ т/м}^3$; пористость $n = 0,35$;
 угол внутреннего трения $\rho = 33^\circ$;
 сцепление $K = 0$;

слой 2 - песчаная глина: $\Delta = 2,70 \text{ т/м}^3$; $n = 0,43$; $\rho = 28^\circ$
 $K = 3 \text{ т/м}^2$;

слой 4 - глина: $\Delta = 2,70 \text{ т/м}^3$; $n = 0,43$; $\rho = 18^\circ$; $K = 5 \text{ т/м}^2$;

Объемные веса сухого (γ) и водонасыщенного ($\gamma_{\text{нас.}}$) грунтов, соответственно, равны:

$$\begin{aligned} \text{слой 1 и 3: } \gamma &= \Delta (1 - n) = 2,65 (1 - 0,35) = 1,72 \text{ т/м}^3 \\ \gamma_{\text{нас.}} &= \Delta (1 - n) + \Delta_0 n = 1,72 + 0,35 = 2,07 \text{ т/м}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{слой 2 и 4: } \gamma &= \Delta (1 - n) = 2,70 (1 - 0,43) = 1,54 \text{ т/м}^3 \\ \gamma_{\text{нас.}} &= \Delta (1 - n) + \Delta_0 n = 1,54 + 0,43 = 1,97 \text{ т/м}^3 \end{aligned}$$

Δ_0 - удельный вес воды, $\Delta_0 = 1 \text{ т/м}^3$.

При расчете принято:

1. Линии тока в песках горизонтальны по всему слою; линии равных напоров, соответственно, вертикальны.

2. Линии тока в глинах вертикальны по всему слою; линии равных напоров, соответственно, горизонтальны.

3. Поверхность скольжения (рис.12) обводненного откоса найдена предварительным расчетом.

Коэффициент запаса устойчивости, определяемый по формуле (1.5), получился равным:

$$\eta = \frac{3398}{2348} = 1,45 \quad (\text{см.таблицу 2})$$



Рис. 12. Схема к расчету устойчивости обводненного многослойного откоса

Приложение 2.

ТАБЛИЦА ПРЕДЕЛЬНЫХ (развивающих) СКОРОСТЕЙ

Таблица 3

Наименование грунта	Допускаемые средние скорости, м/сек.	Уклон, при котором скорость достигает развивающей величины
Илистые грунты	0,1	0,005 - 0,01
Мелкозернистые пески	0,15 - 0,25	— " — " —
Среднезернистые пески	0,2 - 0,6	0,01 - 0,02
Крупнозернистые пески	0,6 - 0,8	0,01 - 0,02
Супесь и легкие суглинки	0,5 - 1,0	0,02 - 0,03
Тяжелые суглинки	1,0 - 1,4	0,03 - 0,04
Г л и н ы	1,4 - 1,8	0,03 - 0,04
Мелкозернистые грунты с грубообломочным скелетом (до 10-50%)	0,4 - 2,5	0,02 - 0,05
Т о ж е более 50%	1,0 - 4,0	0,03 - 0,05
Крепкие коалескент	2,5	
Крепкие деревянные и бетонированные панели	6	

Примечание. Таблица заимствована из "Справочника по инженерным
вычислениям", Углетехиздат, 1958.

Т а б л и ц а 1

[illegible]

Т а б л и ц а 2

[illegible]