УДК 622.221
ББК 33.22
Р41

Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным для взрослых» СанПиН 1.2.1253–03, утвержденным Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г. (*ОСТ 29.124–94*). *Санитарно-эпидемиологическое заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека № 77.99.60.953.Д.014367.12.14*

Экспертиза проведена Учебно-методическим объединением высших учебных заведений Российской Федерации по образованию в области горного дела (*письмо № 51-16/379 от 23.12.2014 г.*)

Рецензенты:

- кафедра «Открытые горные работы» Кузбасского государственного технического университета (и.о. зав. кафедрой канд. техн. наук, доц. *П.А. Самусев*);
- д-р техн. наук, проф. *С.А. Ильин* (ЗАО «Издательский дом “Руда и Металлы”»)

Репин Н.Я., Репин Л.Н.

Р41 Процессы открытых горных работ: Учебник. — М.: Издательство «Горная книга», 2015. — 518 с.: ил.

ISBN 978-5-98672-378-5

Приведены общие сведения о разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом и о технологических схемах открытых горных работ. Дана развернутая технологическая характеристика горных пород. Рассмотрены способы подготовки горных пород к выемке, средства и способы производства буровых и взрывных работ. Изложены принципы оптимизации параметров буровзрывных работ.

Дана технологическая характеристика основных видов выемочных машин. Приведены технологические схемы выемочно-погрузочных работ при разработке различных по свойствам пород. Изложена методика оценки производительности выемочных машин.

Большое внимание уделено способам и средствам перемещения горных пород, дана их технологическая характеристика. Представлены схемы транспортного обслуживания выемочных машин и методика расчета производительности транспортного оборудования.

Рассмотрены способы и средства отвалообразования. Приведены технологические схемы отвальных работ. Дано обоснование параметров отвалов.

Н.Я. Репин — д-р техн. наук, проф. кафедры «Технология, механизация и организация открытых горных работ» МГГУ; *Л.Н. Репин* — д-р экон. наук, руководитель Департамента топливообеспечения ОАО «Энергетические системы Востока», проф. кафедры «Технология, механизация и организация открытых горных работ» МГГУ.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности «Открытые горные работы» направления подготовки «Горное дело» и по направлению подготовки (специальности) «Горное дело» (специализация «Открытые горные работы»).

ISBN 978-5-98672-378-5

УДК 622.221
ББК 33.22



© Н.Я. Репин, Л.Н. Репин, 2015
© Издательство «Горная книга», 2015
© Дизайн книги.
Издательство «Горная книга», 2015

ВВЕДЕНИЕ

Горно-добывающая промышленность является основой индустриального развития общества. Добываемые из недр Земли уголь, нефть, газ, горючие сланцы, торф обеспечивают топливом электростанции, транспорт и коммунально-бытовой сектор. Руды черных, цветных и редких металлов являются сырьем для металлургической промышленности. Добыча горно-химического сырья обеспечивает потребности химической промышленности в сырье и сельского хозяйства в удобрениях, а добыча строительных горных пород служит основой развития строительной индустрии.

В стоимости конечной продукции перерабатывающих отраслей России — электроэнергии, тепла, металлов, минеральных удобрений, строительных материалов и изделий — затраты на сырье, поставляемое горно-добывающими предприятиями, составляет от 30—40 до 60—70%. В связи с этим ведущее место в горной промышленности должно принадлежать экономически наиболее эффективным способам добычи полезных ископаемых при использовании наиболее совершенной техники и технологии горных работ.

Открытый способ добычи полезных ископаемых характеризуется значительно более высокими технико-экономическими показателями и несопоставимо более безопасными условиями труда рабочих по сравнению с подземной добычей. Затраты на добычу полезных ископаемых на большинстве карьеров в 1,5–2,0 раза ниже, а производительность труда рабочих в 2–3 раза выше, чем на шахтах и рудниках. В частности, на угольных разрезах и шахтах России в 2013 г. производительность труда рабочих по добыче составила соответственно 388,9 т и 144,3 т в месяц на человека. Столь высокие показатели открытых горных работ объясняются в первую очередь возможностью применения на карьерах крупногабаритного, мощного и высокопроизводительного оборудования, использование которого при подземной добыче невозможно из-за ограниченных размеров подземных горных выработок.

К настоящему времени открытый способ стал основным способом добычи твердых полезных ископаемых. Его удельный вес в добыче угля достиг 71,2%, при добыче железных руд — около 90%, цветных металлов — 60%, горно-химического сырья — 100%, а строительные горные породы уже давно добываются только открытым способом. Главенствующее положение открытого способа в добыче полезных ископаемых сохранится и в обозримой перспективе.

Цель курса «Процессы открытых горных работ» — изучение средств и способов осуществления на карьерах технологических процессов, включающих подготовку горных пород к выемке, выемочно-погрузочные работы, перемещение и складирование пород. Этот курс является первым в перечень

не специальных дисциплин по подготовке горных инженеров-открытчиков, формирование которых завершается изучением курсов «Технология и комплексная механизация открытых горных работ», «Проектирование карьеров», «Эксплуатация карьерного оборудования» и других дисциплин специализации.

Инициатором создания курса был академик В.В. Ржевский. Им был подготовлен и первый учебник «Процессы открытых горных работ». В течение многих лет Владимир Васильевич непрестанно работал над совершенствованием учебника, последнее (четвертое) издание книги вышло в свет в 1985 г.

За прошедшие после этого годы в технике и технологии открытых горных работ произошли существенные изменения, что, естественно, требует своего отражения в учебной литературе. В связи с этим в настоящем учебнике предпринята попытка возможно более полно осветить современное состояние теории и практики осуществления технологических процессов на карьерах и направления их дальнейшего совершенствования. Учебник подготовлен в соответствии с рабочей учебной программой по дисциплине «Процессы открытых горных работ» и является, в сущности, конспектом лекций по этому курсу, которые в течение более 20 лет читаются авторами учебника для студентов-открытчиков Московского государственного горного университета.

Принадлежа к научной школе В.В. Ржевского и разделяя научные и методологические идеи, заложенные им при разработке курса, мы считаем необходимым сохранить их, развивая и дополняя в той мере, которая определяется уровнем современного состояния горной науки, техники и технологии в области открытых горных работ. Поэтому в качестве научной основы настоящего учебника принято учение о горных породах, являющихся объектом горных работ. Именно свойствами пород прежде всего определяются как выбор техники, технологии и параметров технологических процессов, так и их технико-экономические показатели и экономика горного предприятия в целом. Описание особенностей и оценка эффективности каждого из технологических процессов в учебнике базируются поэтому на простых, доступных к определению в условиях карьера данных о свойствах горных пород в массиве и в разрыхленном состоянии. Они же используются для инженерных расчетов при проектировании параметров технологических процессов.

Изложенные в учебнике сведения дают студентам возможность с необходимой глубиной изучить комплекс вопросов, связанных с осуществлением технологических процессов при открытых горных работах, и использовать полученные знания при освоении других дисциплин специализации, при принятии технических и технологических решений в процессе курсового и дипломного проектирования и в последующей инженерной деятельности.

Часть I
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ И ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Глава 1

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ СПОСОБОВ ДОБЫЧИ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

1.1. ДОБЫЧА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

В мировой практике существуют два основных способа добычи твердых полезных ископаемых — подземный и открытый. Другие способы добычи — подводный, скважинная гидродобыча, выщелачивание и др. — пока не играют сколь-нибудь заметной роли.

Подземный способ добычи применяется при разработке залежей полезного ископаемого, характеризующихся различной мощностью и значительной глубиной залегания. При этом способе добычные и подготовительные работы производятся в забоях подземных горных выработок. Система горных выработок шахты или рудника обычно включает вертикальные или наклонные стволы, камеры, квершлаги, штреки, уклоны и др., с помощью которых открывается доступ к полезному ископаемому и обеспечивается его доставка на поверхность (рис. 1.1).

Подземные выработки служат также для перемещения людей, доставки под землю различного рода грузов — узлы горно-транспортных машин, запасные части, материалы для крепления горных выработок, взрывчатые материалы и т.п. Через горные выработки осуществляется проветривание шахт и водоотлив.

Капитальные горные выработки, к которым относятся стволы, околоствольные дворы, квершлаги, камеры различного назначения, проходятся в период строительства шахты, до сдачи ее в эксплуатацию, т.е. до начала добычных работ. Эти выработки служат обычно в течение всего срока службы шахты. Проходка других выработок — штреков, уклонов и пр. производит-

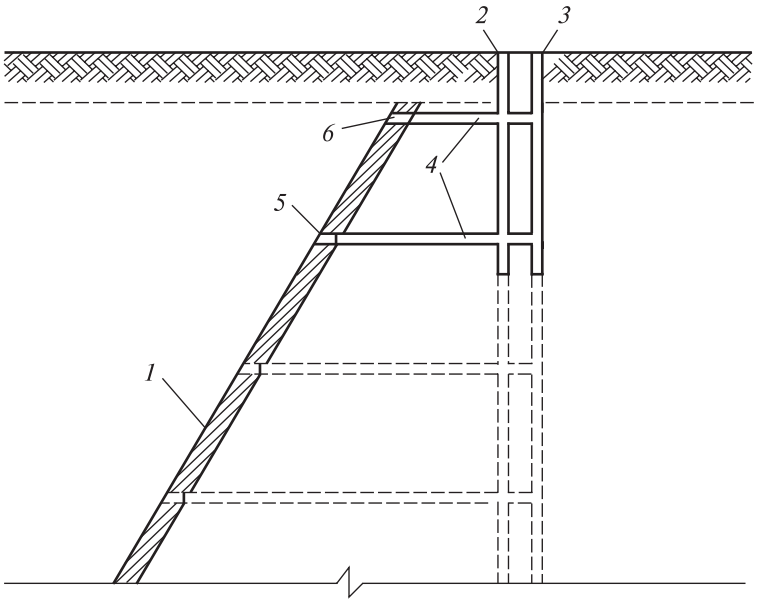


Рис. 1.1. Принципиальная схема добычи полезного ископаемого подземным способом:
1 — угольный пласт; *2*, *3* — основной и вспомогательный стволы; *4* — квершлаги; *5*, *6* — откаточный и вентиляционный штреки

ся и в период эксплуатации по мере развития горных работ. Во времени проходка этих выработок совмещается с добычными работами, опережая их в пространстве.

Глубина вертикальных стволов достигает тысячи метров и более. Протяженность горизонтальных выработок составляет многие сотни и тысячи метров. Подземные выработки имеют, как правило, ограниченные поперечные размеры. Так, диаметр стволов не превышает обычно 5–6 м, а ширина и высота горизонтальных выработок составляет не более 3–4 м. Такие размеры выработок не позволяют использовать под землей мощную крупногабаритную технику и обеспечить высокий уровень производительности труда рабочих. Это обстоятельство является одной из отличительных особенностей подземного способа добычи полезных ископаемых.

Другая его особенность состоит в том, что подземные горные работы не вызывают крупномасштабных нарушений земной поверхности. Тем не менее и при подземной добыче из сельскохозяйственного или иного вида использования изымаются земли, необходимые для строительства поверхностных сооружений (надшахтных зданий, механических мастерских, административно-бытовых зданий и др.), для размещения отвалов пород, извлекаемых в процессе проходки горных выработок, складов полезного ископаемого, подъездных путей и т.п.

Подземные горные работы оказывают существенное отрицательное влияние на режим и качество подземных вод и поверхностных водных источ-

ников, куда обычно сбрасывается откачиваемая из шахты вода. Токсичные вещества, попадающие в шахтные воды из покрывающих и подстилающих полезное ископаемое горных пород, разносятся, таким образом, на значительные расстояния, измеряемые десятками километров. При использовании воды из загрязненных поверхностных источников для полива токсичными веществами загрязняются сельскохозяйственные угодья. Подземная добыча сопровождается большими объемами выбросов загрязненного воздуха при проветривании шахт и рудников, пылеобразованием на складах полезного ископаемого и отвалах пустых пород (терриконах), что является источником загрязнения атмосферы.

Но наиболее важно, что работа людей под землей сопряжена с высоким уровнем опасности для их здоровья и жизни, особенно при добыче угля в шахтах, опасных по газу и пыли.

1.2. ДОБЫЧА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

Для разработки открытым способом доступны в основном залежи полезных ископаемых, характеризующиеся достаточно большой мощностью при относительно небольшой глубине их залегания. В этом случае добыча полезного ископаемого производится после удаления вскрышных пород, которые в ходе разработки залежей перемещаются во внешние или внутренние отвалы. Именно в необходимости удаления покрывающих залежь вскрышных пород состоит основная особенность открытого способа добычи и его принципиальное отличие от подземного.

При разработке крутых и наклонных месторождений вскрышные породы, как правило, размещаются во внешних отвалах (рис. 1.2, *а*, *б*). При разработке пологих и горизонтальных месторождений для размещения вскрышных пород используется выработанное пространство, образующееся после извлечения полезного ископаемого (рис. 1.2, *в*).

Основным условием возможности применения открытого способа добычи является близость залежи полезного ископаемого к земной поверхности и достаточно большая ее мощность. Чаще всего открытым способом разрабатываются залежи мощностью от 10–15 м до 30–50 м и более. Однако в мировой практике известны примеры открытой разработки тонких угольных пластов мощностью 1–2 м и менее при благоприятном (горизонтальном) их залегании на небольшой глубине.

Разрабатываемые открытым способом залежи могут иметь *пластовую* (*пластообразную*) форму. Пластовые залежи могут быть представлены одним пластом или свитой из нескольких, обычно параллельно залегающих пластов. Такие залежи (обычно это угольные пласты) характеризуются четким контактом с вмещающими породами и достаточно выдержанными мощностью

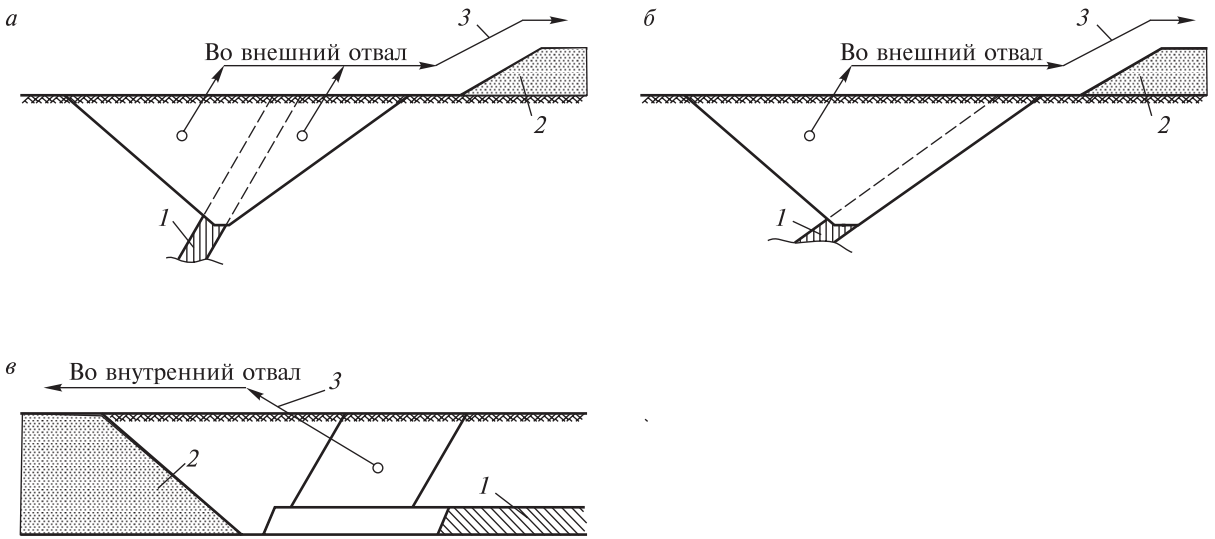


Рис. 1.2. Схемы добычи полезного ископаемого открытым способом при крутом (*а*), наклонном (*б*) и горизонтальном (*в*) залегании пласта:
1 — пласт полезного ископаемого; *2* — отвал вскрышных пород; *3* — направление грузопотоков вскрышных пород

и углами падения. Рудные залежи могут иметь значительно более сложную, часто неправильную форму — *штоки*, *линзы*, *жилы* и др. Залежи могут выходить непосредственно на земную поверхность или могут быть покрыты сравнительно небольшим слоем вскрышных пород мощностью до 20–30 м (рис. 1.3). Такие залежи относятся к залежам *поверхностного* типа, которые наиболее доступны для разработки открытым способом. Примером таких залежей являются угольные месторождения Канско-Ачинского бассейна.

Залежи *глубинного* типа располагаются ниже господствующего уровня поверхности. Их разработка открытым способом наиболее удобна и целесообразна в том случае, если залежь имеет выход на поверхность (под наносы). Такие условия характерны для большинства угольных месторождений (рис. 1.4, *а*). Если залежь расположена на значительной глубине (до 200–250 м) и не имеет выхода на поверхность (рис. 1.4, *б*), то даже при очень большой ее мощности вопрос о выборе способа разработки (открытый или подземный) должен решаться на основе технико-экономического анализа.

Открытым способом разрабатываются также залежи *нагорного* (*высотного*) типа, расположенные выше господствующего уровня поверхности (рис. 1.5, *а*), и залежи *высотно-глубинного* типа, которые располагаются частично выше, а частично ниже уровня поверхности (рис. 1.5, *б*).

По *углу падения* разрабатываемые открытым способом залежи подразделяются на *горизонтальные* (с углом падения 0–5°), *пологопадающие* (угол падения 6–14°), *наклонные* (от 15 до 30–45°) и *крутые* (свыше 30–46°). При разработке наклонных залежей (см. рис. 1.2, *б*) горные работы производятся только по висячему боку залежи (однобортовая разработка), а при крутых залежах (см. рис. 1.2, *а*) рабочими являются оба борта карьера (двухбортовая разработка). Исходя из этого критерия деление залежей по углу падения на наклонные и крутые носит в определенной степени условный характер. Например, при крепких, устойчивых вмещающих породах, когда отсутствует

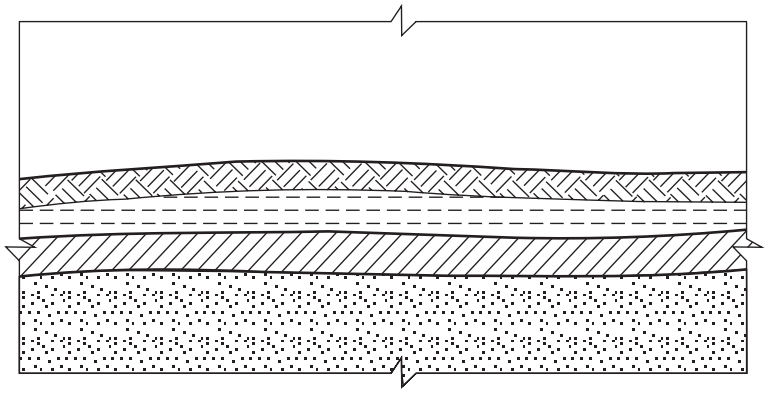


Рис. 1.3. Горизонтальная залежь поверхностного типа

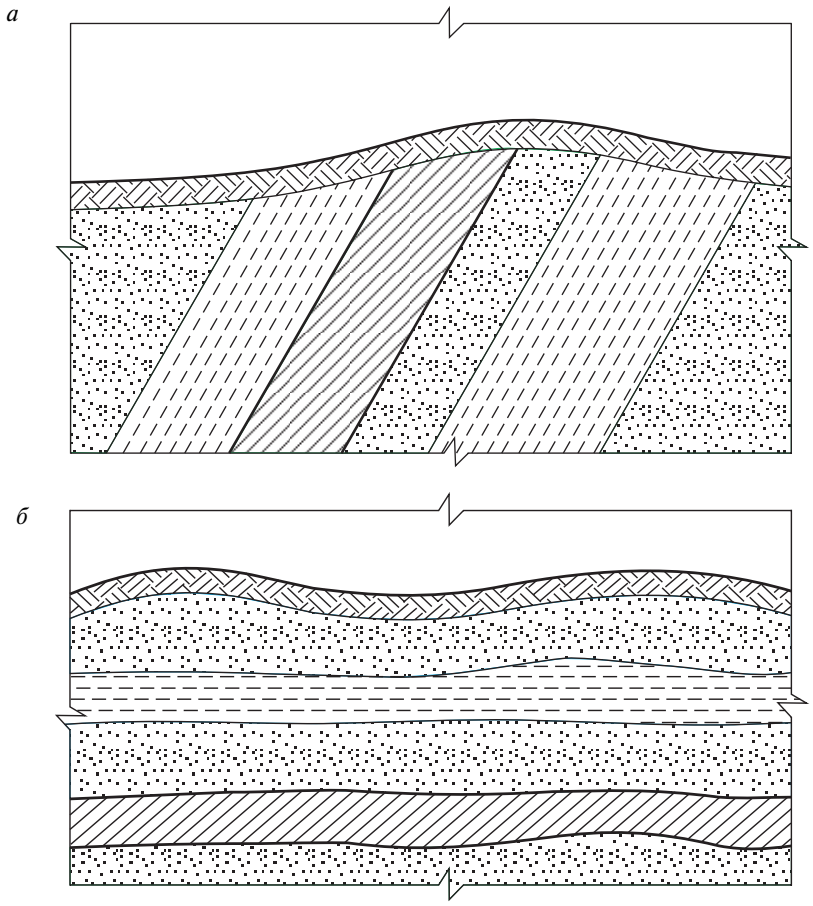


Рис. 1.4. Залежи глубинного типа при крутом (*а*) и горизонтальном (*б*) залегании

необходимость в разработке лежачего бока залежи, к наклонным могут быть отнесены залежи с углом падения более 40–45°. И, наоборот, при неустойчивых породах, когда лежачий бок залежи приходится разрабатывать, чтобы обеспечить устойчивость борта карьера, залежи с углом падения менее 40–45° могут быть отнесены к крутым.

При выборе способа разработки месторождения большое значение имеет *мощность залежи*. Все залежи по мощности принято подразделять на *тонкие*, или *весьма маломощные* (мощность менее 2–3 м), *малой мощности* (до 10–20 м), *средней мощности* (20–30 м) и *мощные* (свыше 30 м).

Тонкие и маломощные залежи целесообразно разрабатывать открытым способом при горизонтальном или пологом их залегании на небольшой глубине от поверхности. При наклонном же и тем более крутом падении таких залежей их отработка открытым способом возможна на небольшую глубину лишь в той их части, которая выходит непосредственно на поверхность или под наносы. Так нередко поступают, в частности, в Кузбассе, где при

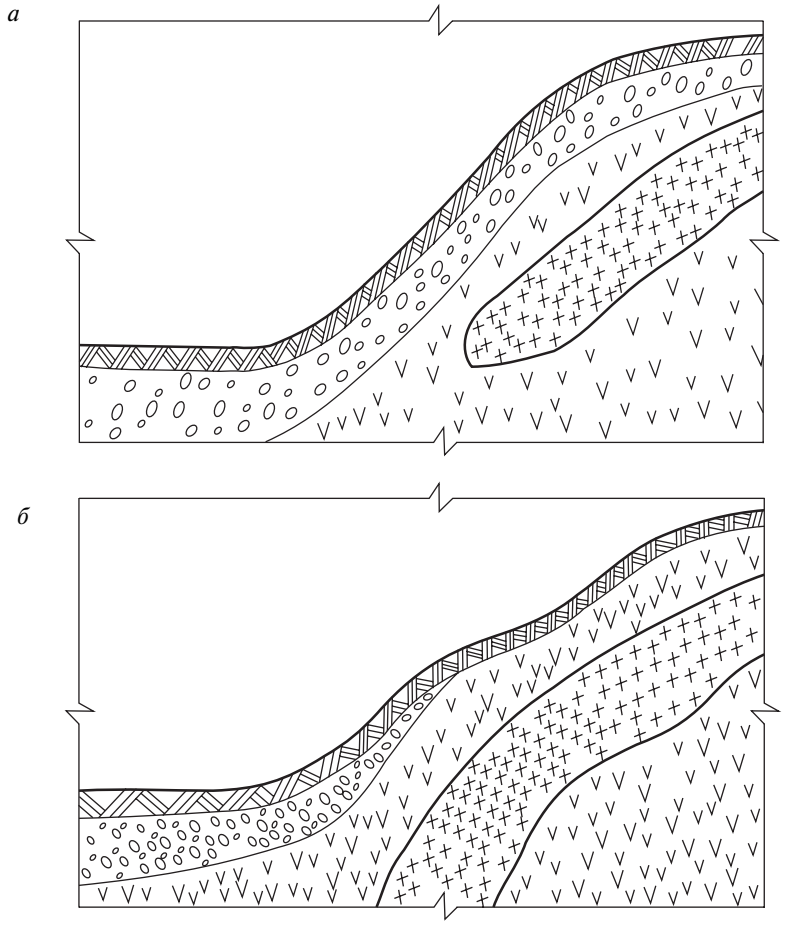


Рис. 1.5. Залежи высотного (*а*) и высотно-глубинного (*б*) типа

подземной разработке крутопадающих угольных пластов верхняя их часть отрабатывается открытым способом (рис. 1.6). Залежи средней мощности и мощные могут эффективно разрабатываться открытым способом как при горизонтальном, так и при наклонном или крутом их залегании. Крайне важно при этом, чтобы наклонная или крутая залежь имела выход на поверхность, а горизонтальная была расположена на относительно небольшой глубине (залежи поверхностного типа).

Открытым способом добываются различные виды полезных ископаемых — каменные и бурые угли, горючие сланцы, руды черных и цветных металлов, алмазы, горно-химическое сырье, строительные горные породы и др. Вмещающие (вскрышные) породы и полезные ископаемые характеризуются при этом самыми различными свойствами — от *мягких*, не требующих предварительной подготовки перед выемкой из массива, до наиболее трудно поддающихся разработке *скальных* пород.

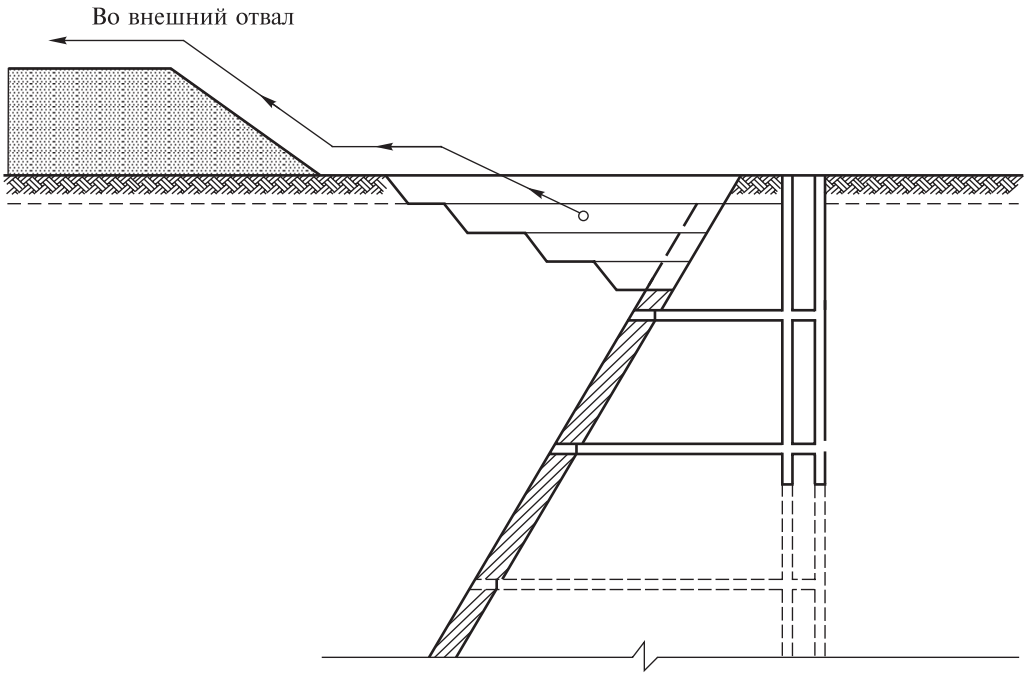


Рис. 1.6. Схема подземной разработки пласта с отработкой его верхней части открытым способом

Добычу открытым способом применяют в любых климатических зонах — от районов с теплым или даже жарким климатом до самых суровых условий Заполярья. Климатические условия оказывают существенное влияние на эффективность открытых горных работ. В условиях низких температур предъявляются жесткие требования к качеству материалов, используемых при изготовлении и эксплуатации горно-транспортного оборудования. Такое оборудование должно выпускаться в морозостойком исполнении. При работе в морозные периоды, когда температура наружного воздуха опускается до отметок –50 °С и ниже, а металл приобретает повышенную хрупкость, морозостойкое исполнение машин позволяет снизить вероятность поломок и аварий. Это особенно важно для России, более 60% территории которой приходится на районы с суровым климатом.

Основные преимущества открытого способа добычи полезных ископаемых сводятся к следующему.

1. Производительность труда рабочих на карьерах в 2–3 раза выше, а себестоимость добытого полезного ископаемого в 1,5–2,0 раза ниже, чем при подземной добыче. Столь высокие показатели достигаются прежде всего благодаря применению на карьерах мощного высокопроизводительного оборудования, для которого здесь практически отсутствуют какие-либо ограничения, касающиеся его габаритов, массы и мощности. В частности, длина стрелы шагающих экскаваторов достигает 120–130 м при их массе до

4500 т и более при вместимости ковша до 100 м^3. Масса роторных экскаваторов составляет до 6000–8000 т и более, а их теоретическая производительность — до 10 000–19 000 м^3 горной массы в час. Высота мачты буровых станков достигает 18–25 м, а их масса составляет до 85–140 т. Станки могут бурить скважины диаметром от 100–105 мм до 320–400 мм.

2. При открытым способе добычи обеспечиваются значительно более безопасные и комфортные условия труда работающих, в связи с чем уровень травматизма и профессиональных заболеваний на карьерах в 60–70 раз ниже, чем на шахтах.

3. Сроки строительства карьеров значительно меньше, чем при строительстве шахт, а размеры капитальных затрат на единицу мощности предприятия по полезному ископаемому при этом ниже в 2–4 раза.

4. Открытый способ добычи обеспечивает более полное использование запасов природных ресурсов, что объясняется значительно меньшими потерями полезных ископаемых в процессе добычи. В частности, при подземной добыче угля в недрах остается до 20–30% запасов и более, тогда как при открытой разработке потери обычно не превышают 10–12%.

Основным недостатком открытого способа является масштабность его отрицательного воздействия на окружающую среду. Это проявляется, во-первых, в необходимости изъятия больших площадей земли, которая подвергается полному или частичному нарушению горными выработками, отвалами вскрышных пород, транспортными коммуникациями и др. Площадь отводимых каждому карьеру земель, часто весьма ценных в сельскохозяйственном или ином отношении, измеряется сотнями, а для крупных карьеров — тысячами гектаров. В 2006–2011 гг. площадь нарушенных угольными разрезами земель в стране возрастала в среднем почти на 2000 га в год. Это особенно болезненно сказывается на территориях с высокой плотностью населения и высокой концентрацией горных предприятий, как, например, в Кузбассе, где площадь земель, нарушенных разрезами, увеличивалась в среднем более чем на 1400 га в год.

Во-вторых, открытые работы оказывают значительное влияние на гидрогеологию и состояние атмосферы в районе разработок. Нарушается естественная циркуляция подземных вод, образуются громадные депрессионные воронки, нарушается режим малых рек, озер и других водоемов. Например, деятельность Лебединского и Стойленского карьеров Курской магнитной аномалии привела к нарушению водного режима на территории района в радиусе до 40–80 км. В зоне влияния депрессионной воронки пересохли колодцы, родники, обмелели реки, вышли из строя водозаборы. Откачиваемая из карьеров вода загрязняет поверхностные водные источники.

Загрязнение атмосферы происходит в результате выбросов вредных газов и пыли при производстве массовых взрывов, при работе карьерного автомобильного транспорта, пылении отвалов и т.п. В частности, объем

пылегазового облака при взрывах достигает 15–20 млн м^3. Облако может подниматься на высоту в несколько километров и распространяться на 10–15 км от места взрыва, оседая на землю и загрязняя ее поверхность.

К недостаткам открытого способа добычи следует отнести также и его зависимость от климатических условий, которая особенно сильно проявляется в районах с суровым климатом.

В последние десятилетия предпринимаются крупные меры по более рачительному использованию отводимых под карьеры площадей земли, восстановлению (рекультивации) ранее нарушенных земель и их возвращению в сельскохозяйственный или иной оборот, по защите водных ресурсов и воздушного бассейна. Но эти меры пока не в состоянии в корне изменить ситуацию.

И тем не менее благодаря своим преимуществам открытый способ добычи полезных ископаемых приобрел доминирующее положение в горнодобывающей промышленности. К настоящему времени этим способом добывается более 70% углей, примерно 90% руд черных и 60% цветных металлов, почти 100% горно-химического сырья и все 100% строительных горных пород. Тенденция дальнейшего увеличения удельного веса открытой добычи сохранится в горной промышленности и в обозримой перспективе, особенно при добыче угля.

1.3. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Карьером (в техническом понимании) называется совокупность горных выработок на поверхности земли, служащих для открытой добычи полезного ископаемого. В административно-хозяйственном значении *карьер* — это горное предприятие, осуществляющее разработку месторождения открытым способом. Предприятия угольной промышленности, разрабатывающие угольные месторождения открытым способом, называют *разрезами*.

Площадь земельного участка, занимаемая месторождением и отводимая для его разработки открытым способом, называется *карьерным полем*, или *полем разреза*. А участок поверхности земли, занимаемый горным предприятием и включающий карьерное поле, а также площади под отвалами вскрышных пород, под производственными и административно-бытовыми зданиями, транспортными коммуникациями и др., называют *земельным отводом* (рис. 1.7). Площадь земельного отвода, как правило, во много раз превышает площадь карьерного поля и может составлять тысячи гектаров.

В результате выемки вскрышных пород и полезного ископаемого образуется *выработанное пространство*, глубина которого при разработке горизонтальных месторождений определяется положением почвы залежи, а при наклонных и крутых месторождениях устанавливается исходя из экономических соображений и может достигать нескольких сотен метров.

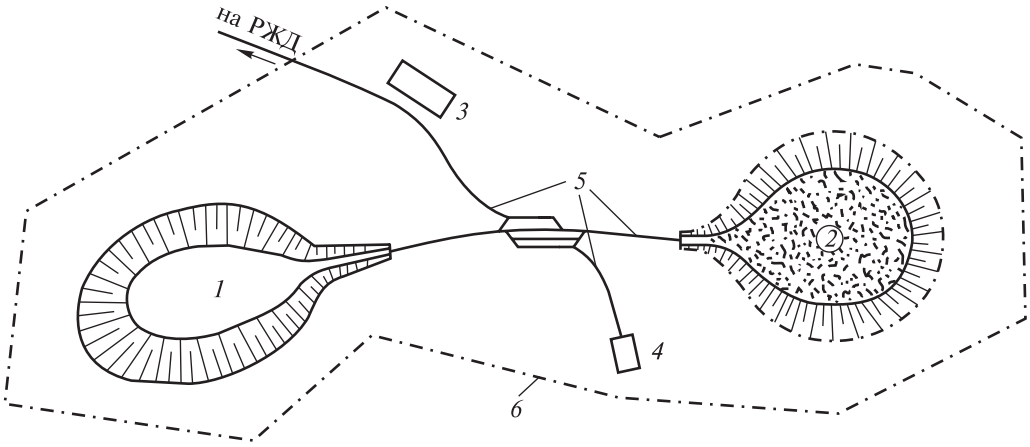


Рис. 1.7. Схема расположения основных объектов карьера в границах земельного отвода:
1 — поле карьера; *2* — внешний отвал вскрышных пород; *3* — промышленная площадка; *4* — обогатительная фабрика; *5* — транспортные коммуникации; *6* — граница земельного отвода

Открытая разработка месторождений осуществляется обычно горизонтальными слоями с опережением в пространстве вышележащих слоев по отношению к нижележащим. В результате профиль карьера приобретает ступенчатую, уступную форму. В связи с этим слой породы, разрабатываемый самостоятельными средствами рыхления, выемки и транспорта, называют *уступом*. Уступы на отвалах называют *отвальными уступами*.

Уступ (рис. 1.8) является одним из важнейших элементов карьера. Именно на уступах осуществляются все технологические процессы — подготовка горных пород к выемке, выемочно-погрузочные работы, перемещение пород и отвалообразование. Уступ по высоте ограничивается *нижней 1* и *верхней 2*

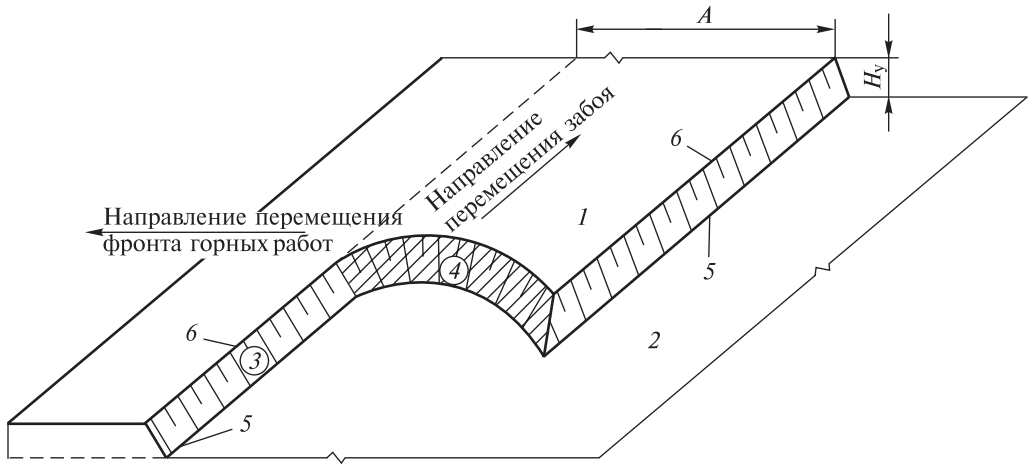


Рис. 1.8. Элементы уступа:
1 и *2* — соответственно верхняя и нижняя площадки; *3* — откос уступа; *4* — забой; *5* и *6* — соответственно нижняя и верхняя бровки; $H_у$ — высота уступа; *A* — ширина заходки

площадками, а со стороны выработанного пространства — *откосом уступа 3*. Линии пересечения откоса уступа с нижней и верхней площадками называются *нижней 5 и верхней 6 бровками уступа*.

Площадка, на которой располагается выемочное и транспортное оборудование, называется *рабочей площадкой*. Чаще всего рабочей является нижняя площадка уступа *1*. Другую площадку принято называть *нерабочей*. Нерабочей является обычно верхняя площадка, хотя при разработке скальных пород на ней размещается буровое оборудование и ведутся работы по бурению, заряжанию и взрыванию скважин. Выемка породы на уступе производится из *забоя 4*, который, как правило, располагается в торцовой части заходки (*А*). Каждый уступ характеризуется высотной отметкой рабочей площадки.

Высота уступа зависит от свойств горных пород и параметров применяемого на уступе выемочно-погрузочного и другого оборудования и должна обеспечивать безопасность работ. Обычно высота уступов при транспортной технологии горных работ составляет от 10–12 м до 15–20 м, а при бестранспортной технологии достигает 35–45 м и более. При транспортной технологии уступ иногда разделяют на два *подуступа*, имеющих один транспортный горизонт.

При открытой разработке полезных ископаемых сначала производятся *вскрышные работы*, т.е. работы по удалению вскрышных пород, а затем — *добычные работы*, связанные непосредственно с добычей полезного ископаемого. В период эксплуатации карьеров они совмещены во времени, но в пространстве вскрышные работы идут впереди добычных.

Отношение количества извлекаемых вскрышных пород к количеству добываемого полезного ископаемого называется *коэффициентом вскрыши*. Чаще всего коэффициент вскрыши измеряется в кубометрах на тонну ($м^3/т$). В других случаях, например при добыче строительных горных пород, он может измеряться в кубометрах на кубометр ($м^3/м^3$), а при разработке рудных месторождений – иногда в тоннах на тонну (т/т). Причем для большинства месторождений объем вскрышных пород многократно превышает объем полезного ископаемого. Величина коэффициента вскрыши оказывает определяющее влияние на экономическую эффективность открытого способа добычи, поскольку затраты на вскрышные работы составляют до 70% общих эксплуатационных затрат. Различают средний геологический ($К_{сг}$), средний промышленный ($К_{сп}$), средний эксплуатационный ($К_{сэ}$), текущий ($К_т$), контурный ($К_к$) и другие виды коэффициентов вскрыши. Их графическая интерпретация применительно к разработке наклонного месторождения представлена на рис. 1.9.

При установленной годовой мощности карьера по полезному ископаемому через текущий коэффициент вскрыши определяется годовой объем вскрышных работ, в соответствии с которым устанавливается необходимое количество горно-транспортного и другого оборудования. Контурный коэф-

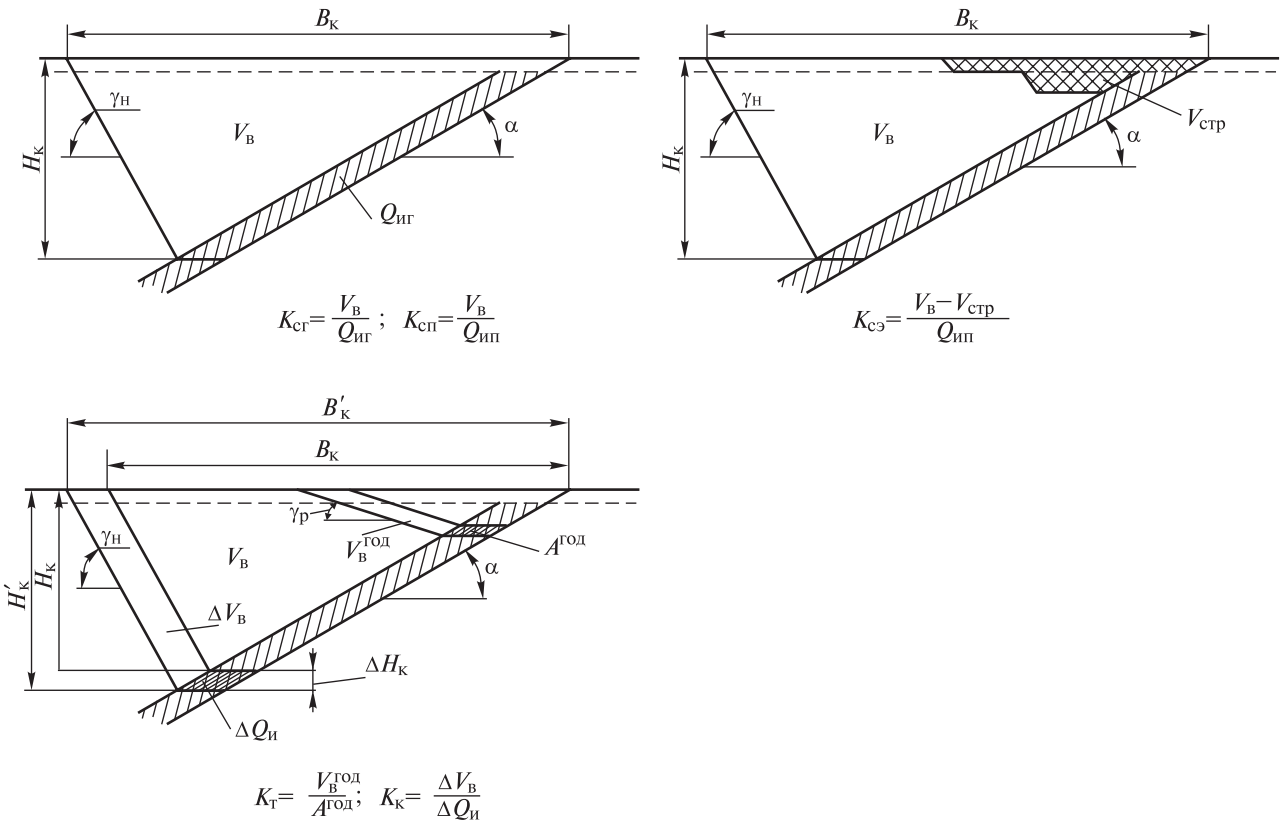


Рис. 1.9. Схемы к определению коэффициентов вскрыши ($K_{сг}$, $K_{сп}$, $K_{сэ}$, $K_т$, $K_к$)

$H_к$ — конечная глубина карьера; $B_к$ — ширина карьера поверху; α — угол падения залежи; $\gamma_н$ — угол откоса борта карьера на момент погашения горных работ; $\gamma_р$ — угол откоса рабочего борта карьера; $V_в$ — объем вскрышных пород в конечных контурах карьера; $V_{стр}$ — объем вскрышных пород, извлекаемых в период строительства карьера; $V_в^{год}$ — годовой объем вскрышных работ в период эксплуатации карьера; $Q_{иг}$ — геологические запасы полезного ископаемого; $Q_{ип}$ — промышленные запасы; $A^{год}$ — годовой объем добычи; $\Delta H_К$ — приращение глубины карьера при расширении его границ; $\Delta Q_и$ — приращение запасов при увеличении глубины карьера до $H'_К$; $\Delta V_в$ — приращение объема вскрышных пород при увеличении глубины карьера

фициент вскрыши используется при решении ряда других важнейших задач открытой разработки: определение глубины и других параметров карьеров, установление режима горных работ и т.д.

1.4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Понятие «Технология разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом» имеет два аспекта. Во-первых, это *технология производственных процессов*. Под этим понятием подразумевается технология разработки горных пород карьеров, включающая следующие процессы:

- подготовка горных пород к выемке;
- выемочно-погрузочные работы;
- перемещение горных пород от забоев к пунктам разгрузки;
- складирование горных пород в отвалах и складах.

Изучению способов и средств осуществления этих процессов и посвящена дисциплина «Процессы открытых горных работ».

Во-вторых, это собственно *технология открытых горных работ*, определяющая порядок разработки месторождения, систему разработки и способ вскрытия месторождения, этапы и схемы развития горных работ и др.

Выбор технологии открытых горных работ определяется в первую очередь условиями залегания полезного ископаемого (горизонтальные, пологопадающие, наклонные и крутые залежи) и свойствами слагающих месторождение горных пород. При этом система разработки выбирается в соответствии с условиями залегания полезного ископаемого, а свойства горных пород определяют состав производственных процессов и способы их осуществления.

При разработке горизонтальных и пологопадающих месторождений, залегающих на небольшой глубине, используются *бестранспортные системы разработки*, которые по классификации В.В. Ржевского отнесены к группе *сплошных*. Характерная особенность разработки таких месторождений состоит в возможности размещения вскрышных пород в выработанном пространстве, на почве залежи по мере ее выемки. Породы вскрыши при этом перемещаются во внутренний отвал (рис. 1.10, *а*) непосредственно в ковше экскаватора или с помощью отвалообразователей или транспортно-отвальных мостов Наиболее часто перевалка пород производится с помощью шагающих экскаваторов-драглайнов.

При большой высоте вскрышного уступа или при недостаточных рабочих параметрах вскрышного экскаватора размещаемая в отвале порода будет подваливать добычной уступ (рис. 1.10, *б*). В этом случае производится повторная перевалка (переэкскавация) части породы в отвале (на рис. 1.10, *б*

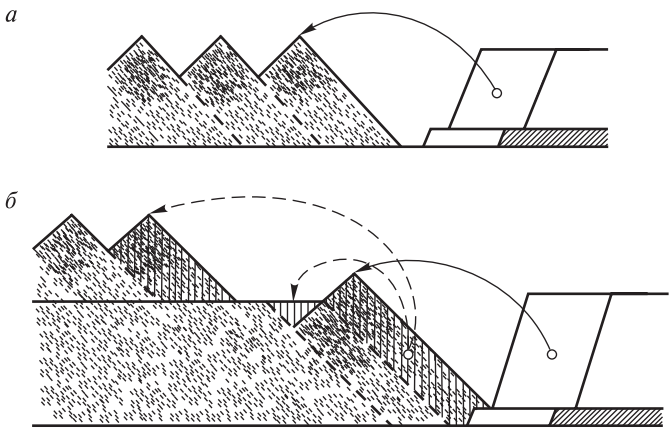


Рис. 1.10. Схема разработки горизонтальных залежей по простой (*а*) и усложненной (*б*) бестранспортной технологии с перевалкой вскрышных пород во внутренний отвал

заштрихована). Такая система разработки, в отличие от *простой бестранспортной*, называется *усложненной бестранспортной системой*.

При бестранспортной разработке мягких пород в состав производственных процессов входят только выемка и перевалка породы в выработанное пространство. При разработке полускальных и скальных пород производится их предварительная подготовка взрывом. При производстве буровзрывных работ энергию взрыва в этом случае используют не только для дробления и разрыхления породы, но и для перемещения (сброса) силой взрыва возможно большей ее части в выработанное пространство. Это позволяет сократить объем экскаваторных работ и сроки их выполнения.

Добычные работы при бестранспортной разработке выполняются обычно с помощью карьерных экскаваторов (ЭКГ) с погрузкой полезного ископаемого чаще всего в автомобильный транспорт.

Бестранспортная разработка месторождений экономически наиболее эффективна прежде всего потому, что из числа технологических процессов здесь исключается самый дорогостоящий процесс перемещения вскрышных пород средствами транспорта. Кроме того, размещение вскрышных пород в выработанном пространстве исключает или как минимум резко сокращает изъятие земли под внешние отвалы, а также значительно облегчает последующую рекультивацию нарушенных земель.

При разработке наклонных и крутых залежей используются *транспортные системы разработки*, которые по классификации В.В. Ржевского отнесены к группе *углубочных*. При этих системах разработки вскрышные породы перемещаются из карьеров средствами транспорта, как правило, во внешние отвалы (см. рис. 1.2). Полезное ископаемое доставляется к пунктам его приема также с помощью средств транспорта. Разработка месторождений по транспортной технологии наиболее затратна. Причем основная часть затрат приходится на транспортирование пород.

При транспортной разработке мягких пород в число производственных процессов входят выемочно-погрузочные работы, транспортирование пород из забоев в карьере до отвала и укладка пород в отвале (отвалообразование). При разработке полускальных и скальных пород в их число входит также предварительная подготовка пород, осуществляемая обычно взрывным способом.

На выемочно-погрузочных работах используются, как правило, карьерные экскаваторы с нормальным и (реже) с удлиненным рабочим оборудованием или гидравлические экскаваторы. Вместимость ковша экскаваторов составляет в основном от 5 до 20–30 м^3. Иногда погрузка пород в средства транспорта производится с помощью шагающих экскаваторов-драглайнов или одноковшовых колесных погрузчиков. На выемке и погрузке относительно мягких пород и полезных ископаемых используются также обладающие очень высокой производительностью многоковшовые роторные или цепные экскаваторы.

Для перевозки пород используются преимущественно средства автомобильного, железнодорожного и конвейерного транспорта или их комбинация. Конкретный вид транспорта выбирается с учетом свойств пород, размеров карьера в плане и его глубины, расстояния перевозки и др.

Вид отвального оборудования и способ отвалообразования принимаются в соответствии с видом транспорта, с помощью которого горные породы доставляются на отвал.

Комбинированные системы разработки применяют при разработке пологопадающих или горизонтальных залежей при большой мощности покрывающих пород. По классификации В.В. Ржевского эти системы отнесены к группе *смешанных* (*углубочно-сплошных*) *систем разработки*. Верхние горизонты карьера отрабатываются при этом по транспортной технологии с вывозкой пород во внешние или и во внешние, и внутренние отвалы. Самый нижний вскрышной уступ, расположенный непосредственно над залежью, разрабатывается обычно по усложненной бестранспортной технологии с перевалкой породы в выработанное пространство (рис. 1.11). Горные работы

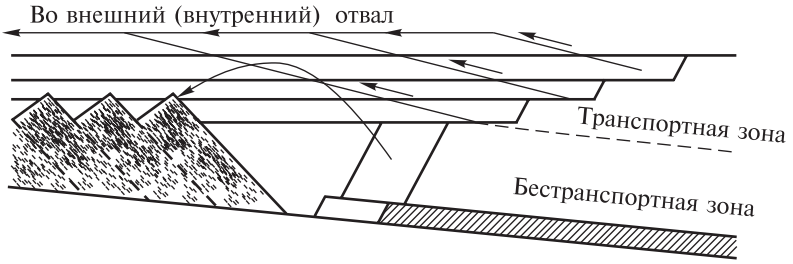


Рис. 1.11. Схема разработки пологопадающей залежи по комбинированной системе разработки

Таблица 1.1

Состав производственных процессов при различных условиях разработки месторождений

Месторождения	Системы разработки	Породы	Производственные процессы				Примечание
			подготовка горных пород	выемочно-погрузочные работы	транспортирование горных пород	отвалообразование	
Горизонтальные и пологопадающие	Простые бестранспортные	Мягкие	–	+*	–	–	–
		Полускальные и скальные	+	+*	–	–	
	Усложненные бестранспортные	Мягкие	–	+*	–	+	Переэкскавация породы в отвале
		Полускальные и скальные	+	+*	–	+	То же
Наклонные и крутые	Транспортные	Мягкие	–	+	+	+	–
		Полускальные и скальные	+	+	+	+	
Пологопадающие и горизонтальные с большой мощностью вскрыши	Комбинированные	Мягкие	–	+	+	+	Транспортная зона
			–	+*	–	+	Бестранспортная зона с переэкскавацией породы в отвале
		Полускальные и скальные	+	+	+	+	Транспортная зона
			+	+*	–	+	Бестранспортная зона с переэкскавацией породы в отвале

* Выемка и перевалка пород в выработанное пространство карьера.

в транспортной и бестранспортной зонах осуществляются по технологии, суть которой описана выше.

На карьерах России применяются в основном транспортные и комбинированные системы разработки. При этом в соответствии с изменяющимися условиями разработки изменяется и состав производственных процессов в карьере (табл. 1.1).

Глава 2

ГОРНЫЕ ПОРОДЫ И ИХ СВОЙСТВА

2.1. ОБЩАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГОРНЫХ ПОРОД

При добыче полезных ископаемых объектом горных работ являются *горные породы*, которые представляют собой природные минеральные агрегаты, состоящие из одного или нескольких минералов. При известных условиях залегания полезного ископаемого именно свойствами горных пород предопределяется выбор вида горно-транспортного оборудования и технологии горных работ. При этом весьма важно знание свойств горных пород в их естественном состоянии (в массиве), поскольку горные работы всегда начинаются с внешнего воздействия на породный массив. Для оценки эффективности последующих технологических процессов (выемочно-погрузочные работы, транспортирование горной массы, механическое дробление и др.) важно знать и учитывать свойства искусственно измененных горных пород, например пород, находящихся в развале после разрушения массива взрывом.

Все горные породы делятся на *полезные ископаемые* и *вскрышные породы*, объединяются они общим понятием — *горная масса*. Указанное разделение пород относительно. С развитием техники и технологии добычи и переработки пород, с развитием индустрии их промышленного использования некоторые виды не используемых ранее пород переходят со временем из категории вскрышных в категорию полезных ископаемых и находят применение в народном хозяйстве.

По своему происхождению горные породы разделяются на *осадочные*, *магматические* и *метаморфические*. Все эти породы принято называть *коренными*. Они залегают в земной коре в местах своего образования и, как правило, характеризуются высокой прочностью. Коренные породы обычно покрыты *наносами* той или иной мощности. Наносы (четвертичные отложения) — это измельченные мягкие породы, перенесенные и переотложенные посредством различных природных факторов. К ним относится и растительный слой.

Технологически все горные породы при открытой разработке принято делить на три группы.

1. *Мягкие*, *сыпучие и плотные породы*, выемка которых в их обычном (незамерзшем) состоянии осуществляется непосредственно из массива ра-

бочими органами выемочных машин, как правило, без их предварительной подготовки. Лишь сильно обводненные породы перед выемкой подвергаются предварительному осушению.

2. *Полускальные и скальные породы*, непременным условием выемки которых является их предварительное отделение от массива с одновременным дроблением до размеров кусков, доступных для эффективной работы выемочных машин. При применении так называемой безвзрывной технологии разработки таких пород их разрушение осуществляется рабочими органами специально создаваемых для этой цели выемочных машин.

3. *Разрушенные горные породы*, которые образуются в результате предварительной подготовки пород к выемке взрывным или механическим способом.

Подавляющая часть объема горных пород на карьерах представлена скальными и полускальными породами, а доля пород первой группы незначительна.

2.2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОД

При обосновании технологии разработки горных пород необходимо учитывать как свойства пород, которыми сложен породный массив, т.е. *свойства пород «в образце»* (*«в куске»*), так и свойства самого *породного массива*. К наиболее важным физико-техническим характеристикам горных пород «в куске» относятся:

- прочностные свойства, характеризуемые пределами прочности пород при одноосном сжатии ($\sigma_{сж}$), при растяжении ($\sigma_{раст}$), при сдвиге ($\sigma_{сдв}$) и оцениваемые в МПа или в кг/см^2;
- плотностные свойства (объемная масса) пород, измеряемые обычно в г/см^3, кг/м^3 или в т/м^3;
- упругие и акустические свойства, оцениваемые скоростью распространения в породах упругих волн, м/с;
- абразивные свойства, которые характеризуют способность породы к изнашиванию контактирующих с ней рабочих органов горных машин (буровых долот, зубьев ковшей экскаваторов и др.);
- тепловые, электрические и другие свойства.

Количественные характеристики указанных свойств пород зависят прежде всего от их минералогического состава, крупности зерен и кристаллов и силы связей между частицами породы (для осадочных пород — от свойств цементирующего их материала). Показатели прочностных и упругих свойств породы, ее акустических свойств, электро- и теплопроводности снижаются с увеличением крупности зерен и со снижением прочности цемента.

Свойства горных пород «в куске» устанавливаются путем лабораторных испытаний. Так, *предел прочности при одноосном сжатии* ($\sigma_{сж}$) определя-

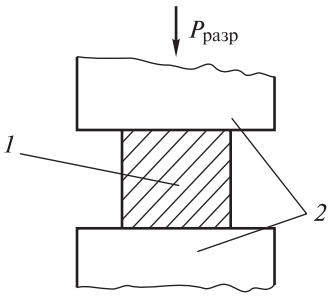


Рис. 2.1. Схема испытаний при определении $\sigma_{сж}$:
1 — испытуемый образец; *2* — плиты пресса

ется методом раздавливания образцов правильной (кубической или цилиндрической) формы под прессом (рис. 2.1). При этом используются образцы размером 41×41×41 мм, а величина $\sigma_{сж}$ устанавливается по соотношению

$$\sigma_{сж} = \frac{P_{разр}}{F}, \qquad (2.1)$$

где $P_{разр}$ — разрушающая нагрузка; F — площадь поперечного сечения образца.

С той же целью могут быть использованы методы раздавливания образцов неправильной формы, а также метод соосных пуансонов.

Предел прочности при сдвиге ($\sigma_{сдв}$) определяют в специальных матрицах, обеспечивающих срез образцов под углами 25, 35 или 45° (рис. 2.2).

При этом

$$\sigma_{сдв} = \cos\theta \frac{P_{разр}}{F}, \qquad (2.2)$$

где θ — угол среза образца, град.

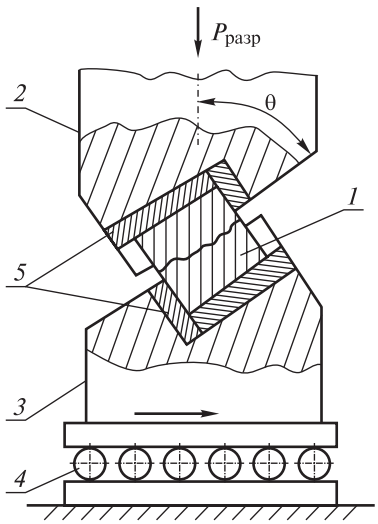


Рис. 2.2. Схема испытаний при определении $\sigma_{сдв}$:
1 — испытуемый образец; *2, 3* — верхняя и нижняя (подвижная) матрицы; *4* — роликовая постель; *5* — обойма и вкладыши

Предел прочности при растяжении ($\sigma_{раст}$) определяется либо методом непосредственного разрыва образцов, либо косвенным путем — расколом образцов цилиндрической формы сосредоточенными сжимающими нагрузками (рис. 2.3).

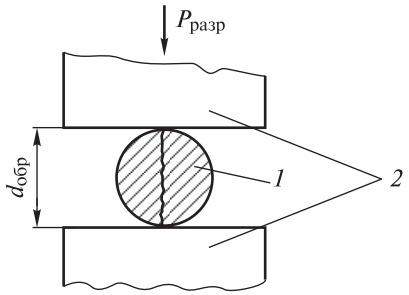


Рис. 2.3. Схема испытаний при косвенном методе определения $\sigma_{раст}$:
1 — испытуемый образец; *2* — плиты пресса

Величина $\sigma_{раст}$ в этом случае определяется по выражению

$$\sigma_{раст} = \frac{P_{разр}}{ld} K , \qquad (2.3)$$

где l и d — длина и диаметр цилиндрического образца; K — поправочный коэффициент (для горных пород $K = 0{,}64$).

Пределы прочности пород при сдвиге и растяжении значительно ниже предела прочности при одноосном сжатии. При известной величине $\sigma_{сж}$ их значения можно установить по соотношениям:

$$\sigma_{сдв} \approx 0{,}2\sigma_{сж};\ \sigma_{раст} \approx 0{,}1\sigma_{сж}. \qquad (2.4)$$

Пределы прочности пород при сжатии находятся в диапазоне от 0,1 до 450 МПа, при сдвиге — от 0,01 до 75 МПа и при растяжении — от 0 до 43 МПа.

Горные породы «в куске» *анизотропны*, что проявляется в различии их свойств в зависимости от направления внешнего воздействия. Анизотропность является следствием слоистости и микротрещиноватости пород, ориентировки зерен минералов, наличия и распределения микропор и др. Поэтому, например, прочность пород при одноосном сжатии в направлении, перпендикулярном слоистости, существенно выше, чем в направлении, параллельном слоистости. Предел прочности при растяжении, наоборот, выше в направлении, параллельном слоистости, чем в перпендикулярном направлении (рис. 2.4).

Аналогично изменяются также акустические, упругие, электрические и другие свойства горных пород. Анизотропность пород следует учитывать как при их испытаниях, так и при выборе направления приложения нагрузок при внешнем воздействии на породу при ее разрушении.

Плотность, или объемная масса, пород устанавливается путем прямого взвешивания образцов правильной формы при известном их объеме или путем гидростатического взвешивания образцов неправильной формы. В первом случае объемная масса породы определяется по формуле

$$\gamma = \frac{m}{V}, \text{ г/см}^3, \qquad (2.5)$$

где m — масса образца, г; V — объем образца, см^3.

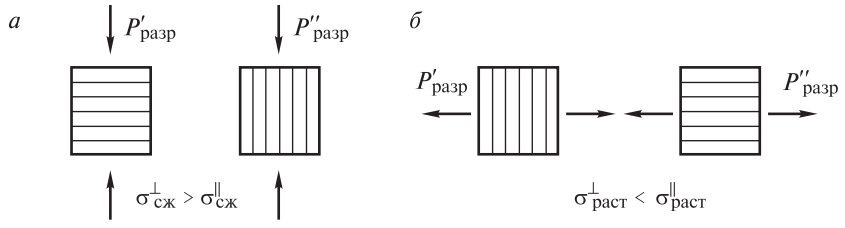


Рис. 2.4. Влияние слоистости на величину предела прочности породы при одноосном сжатии (*а*) и растяжении (*б*)

Во втором случае она вычисляется по соотношению

$$\gamma = \frac{m_1}{m_1 - m_2}, \text{ г/см}^3, \qquad (2.6)$$

где m_1 и m_2 — масса образца соответственно в воздухе и в жидкости, г.

Все другие свойства горных пород (упругие, абразивные, электрические, тепловые и т.п.) определяются с использованием соответствующих методик и оборудования.

Наиболее важной технологической характеристикой горных пород является их *прочность*. Именно прочность пород оказывает определяющее влияние на их сопротивляемость внешним воздействиям в процессе разработки (выемка пород, бурение скважин, взрывание, механическое дробление и др.). В конечном счете, от прочности горных пород во многом зависят и все технико-экономические показатели открытых горных работ.

Характеристики горных пород по прочности акад. В.В. Ржевский положил в основу предложенного им подхода к общей относительной оценке сопротивляемости пород разрушению и их классификации по *показателю трудности разрушения* ($П_р$):

$$П_р = 0{,}05\ [K_{тр}(\sigma_{сж} + \sigma_{сдв} + \sigma_{раст}) + 10^{-3}\gamma g], \qquad (2.7)$$

где $K_{тр}$ — коэффициент, учитывающий трещиноватость пород; $\sigma_{сж}$, $\sigma_{сдв}$, $\sigma_{раст}$ — пределы прочности пород соответственно при одноосном сжатии, сдвиге и растяжении, МПа; γ — плотность пород, кг/м^3; g — ускорение свободного падения, м/с^2.

В соответствии с этой классификацией все породы по значению показателя $П_р$ разделены на пять классов:

I класс — мягкие, плотные и связные полускальные породы ($П_р$ = = 1–5);

II класс — легкоразрушаемые полускальные и скальные породы ($П_р$ = = 5,1–10);

III класс — скальные породы средней трудности разрушения ($П_р$ = = 10,1–15);

IV класс — трудноразрушаемые скальные породы ($П_р$ = 15,1–20);

V класс — весьма трудноразрушаемые скальные породы ($П_р$ = 20,1–25).

Внутри каждого класса породы делятся на 5 категорий. Таким образом, классификация по показателю $П_р$ включает 25 категорий пород.

При общей оценке свойств горных пород до настоящего времени широко используется классификация проф. М.М. Протодьяконова по *коэффициенту крепости пород* (табл. 2.1). Величина этого коэффициента устанавливается в соответствии с выражением $f = \frac{\sigma_{сж}}{100}$ ($\sigma_{сж}$ измеряется в кг/см^2) или $f = \frac{\sigma_{сж}}{10}$ ($\sigma_{сж}$ измеряется в МПа).

Таблица 2.1

Шкала крепости горных пород по М.М. Протодьяконову

Категория	Степень крепости	Порода	Коэффициент крепости *f*
I	В высшей степени крепкие	Наиболее крепкие, плотные и вязкие кварциты и базальты. Исключительные по крепости другие породы	20
II	Очень крепкие	Очень крепкие гранитные породы. Кварцевый порфир, очень крепкий гранит, кремнистый сланец. Менее крепкие, чем указанные выше кварциты. Самые крепкие песчаники и известняки	15
III	Крепкие	Гранит (плотный) и гранитовые породы. Очень крепкие песчаники и известняки. Кварцевые рудные жилы. Крепкий конгломерат. Очень крепкие железные руды	10
III[a]	То же	Известняки (крепкие), некрепкий гранит. Крепкие песчаники. Крепкий мрамор. Доломит. Колчедан	8
IV	Довольно крепкие	Обыкновенный песчаник. Железные руды	6
IV[a]	То же	Песчанистые сланцы. Сланцевые песчаники	5
V	Средние	Крепкий глинистый сланец. Некрепкий песчаник и известняк, мягкий конгломерат	4
V[a]	То же	Разнообразные сланцы (некрепкие), плотный мергель	3
VI	Довольно мягкие	Мягкий сланец. Очень мягкий известняк, мел, каменная соль, гипс. Мерзлый грунт, антрацит. Обыкновенный мергель. Разрушенный песчаник, сцементированные галька и хрящ, каменистый грунт	2
VI[a]	То же	Щебенистый грунт. Разрушенный сланец, слежавшиеся галька и щебень, крепкий каменный уголь. Отвердевшая глина	1,5
VII	Мягкие	Глина (плотная), мягкий каменный уголь, крепкий глинистый грунт	1,0
VII[a]	То же	Легкая песчанистая глина, лёсс, гравий	0,8
VIII	Землистые	Растительная земля, торф, легкий суглинок, сырой песок	0,6
IX	Сыпучие	Песок осыпи, мелкий гравий, насыпная земля, добытый уголь	0,5
X	Плывучие	Плывуны, болотистый грунт, разжиженный лёсс, другие разжиженные грунты	0,3

Классификации В.В. Ржевского и М.М. Протодьяконова возможно использовать лишь для общей относительной оценки свойств пород.

Основные характеристики горных пород «в куске» определяются еще на стадии разведки месторождения на основе исследования кернового материала, полученного при разведочном бурении.

2.3. СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРОДНЫХ МАССИВОВ

Важнейшей технологической характеристикой скального и полускального породных массивов является их *трещиноватость*, которая оказывает большое, а при взрывной отбойке пород — определяющее влияние на качество их подготовки и на эффективность последующих процессов (выемка, транспортирование и др.).

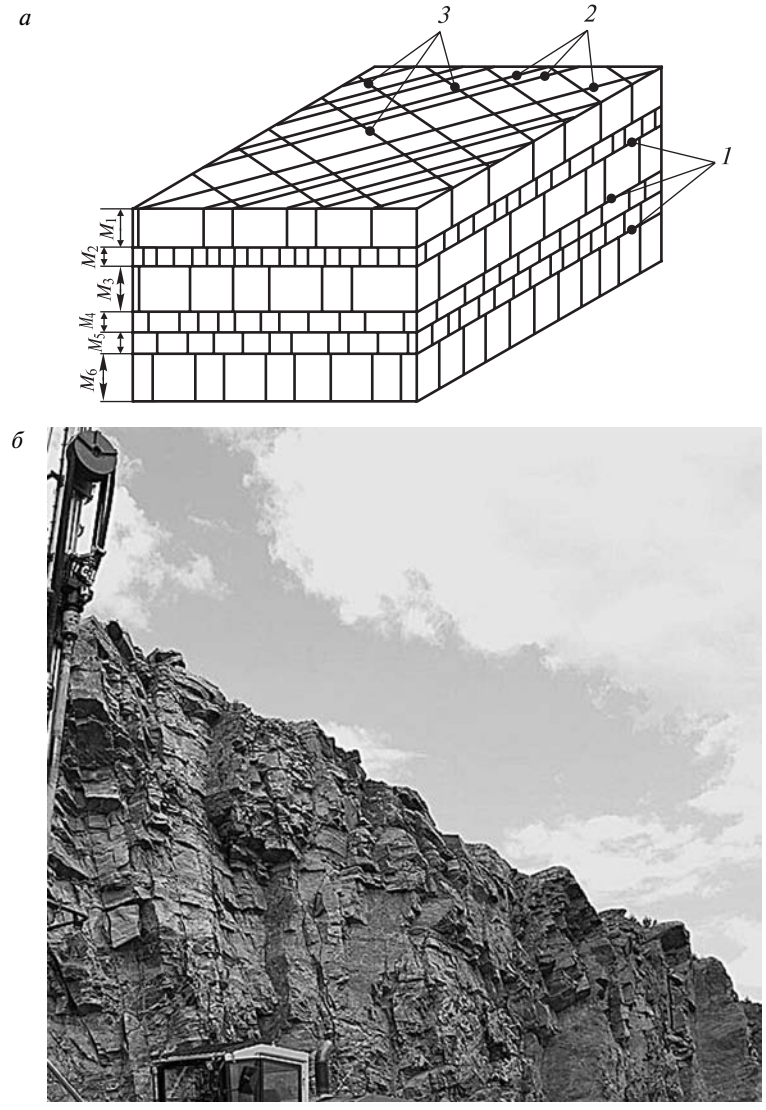


Рис. 2.5. Принципиальная схема расположения систем трещин в массиве осадочных пород (*а*) и общий вид откоса уступа в трещиноватом массиве (*б*):

1 — трещины напластования; *2*, *3* — первая и вторая системы секущих трещин

Трещиноватость пород имеет системный характер. Под *системой трещин* понимается множество трещин, примерно параллельных друг другу и сохраняющих ориентировку направления простирания на больших площадях. В любом породном массиве развито несколько систем трещин. Так, для массивов осадочных горных пород характерно наличие трех систем (см. рис. 2.5). Одна система представлена трещинами напластования, образующимися в процессе осадконакопления и отделяющими один от другого отдельные слои массива. Две другие системы — это взаимно-перпендикулярные секущие трещины, которые расположены примерно перпендикулярно плоскостям напластования. В изверженных и метаморфизованных породах насчитывается до пяти и более систем трещин. В таких породах трещиноватость приобретает зачастую хаотический характер.

В каждой системе частота трещин различна. Расстояние между трещинами каждой системы изменяется в широком диапазоне — от нескольких сантиметров до нескольких метров. В массиве осадочных пород среднее расстояние между трещинами секущих систем четко связано с мощностью слоев (M) и возрастает с ее увеличением (рис. 2.6).

Трещины разделяют породный массив на *естественные отдельности*, которые называют также *естественными блоками*. Размеры естественных отдельностей, или *блочность массива*, и гранулометрический состав отдельностей зависят от количества систем трещин и расстояния между трещинами в каждой системе. С увеличением количества систем и уменьшением расстояния между трещинами размер естественных отдельностей снижается. И наоборот. В горно-технической литературе и в практике открытых работ широко используется классификация горных пород по трещиноватости, предложенная докт. техн. наук В.К. Рубцовым и принятая Междуведомственной комиссией по взрывному делу (табл. 2.2).

По этой классификации породные массивы по степени трещиноватости разделены на 5 категорий — от чрезвычайно трещиноватых (мелкоблочных) до практически монолитных (исключительно крупноблочных). Помимо среднего расстояния между трещинами всех систем, определяющего размеры средней естественной отдельности, каждая категория характеризуется показателем *удельной*

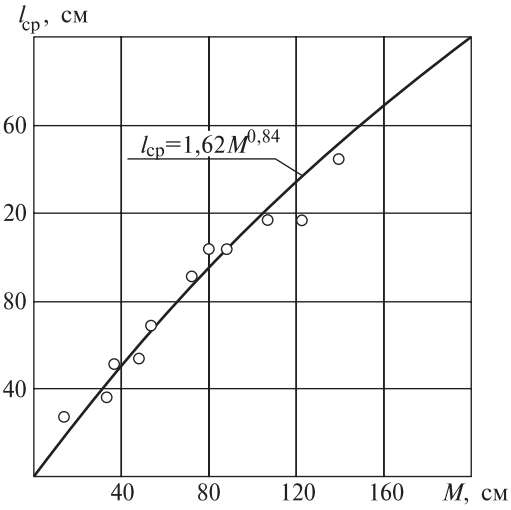


Рис. 2.6. График зависимости среднего расстояния между секущими трещинами ($l_{ср}$) от мощности слоев (M)

Таблица 2.2

Классификация массивов горных пород по степени трещиноватости Междуведомственной комиссии по взрывному делу

Категория трещиноватости	Степень трещиноватости (блочности) массива	Среднее расстояние между естественными трещинами всех систем, м	Удельная трещиноватость, 1/м	Содержание (%) в массиве отдельностей размером, мм		
				+300	+700	+1000
I	Чрезвычайно трещиноватый (мелкоблочный)	< 0,1	> 10	< 10	0	0
II	Сильнотрещиноватый (среднеблочный)	0,1–0,5	2–10	10–70	< 30	< 5
III	Среднетрещиноватый (крупноблочный)	0,5–1,0	1–2	70–100	30–80	5–40
IV	Малотрещиноватый (весьма крупноблочный)	1,0–1,5	1–0,65	100	80–100	40–100
V	Практически монолитный (исключительно крупноблочный)	> 1,5	< 0,65	100	100	100

трещиноватости, то есть количеством трещин, приходящихся на 1 пог. м протяженности обнажения массива, а также содержанием в массиве естественных блоков определенных размеров (в классификации приняты размеры блоков 300, 700 и 1000 мм). Так, в чрезвычайно трещиноватых, мелкоблочных массивах I категории на 1 пог. м приходится более 10 трещин, а среднее расстояние между ними не превышает 0,1 м. При этом содержание в массиве отдельностей крупнее 300 мм не превышает 10% его объема, а отдельностей размером 700—1000 мм в массиве нет вообще. В то же время в исключительно крупноблочных массивах V категории среднее расстояние между трещинами превышает 1,5 м, а размеры практически всех естественных отдельностей составляют более 1000 мм.

Естественные отдельности геометрически подобны, что выражается в наличии статистически устойчивых соотношений между их линейными размерами:

$$b^{e} \approx 0{,}8\ a^{e};\ c^{e} \approx 0{,}5\ a^{e}, \tag{2.8}$$

где a^{e}, b^{e}, c^{e} — соответственно длина, ширина и толщина естественной отдельности.

При известных размерах отдельности ее *средний диаметр*

$$d^{e} = \frac{a^{e} + b^{e} + c^{e}}{3}. \tag{2.9}$$

Структурную характеристику породного массива принято оценивать *диаметром средней естественной отдельности*, который определяется по формуле

$$d^{\text{e}}_{\text{ср}} = \frac{d^{\text{e}}_1 + d^{\text{e}}_2 + d^{\text{e}}_3 + d^{\text{e}}_{n-1} + ... + d^{\text{e}}_n}{n}, \qquad (2.10)$$

где d^{e}_1, d^{e}_2, ..., d^{e}_n — определяемый по формуле (2.9) средний диаметр слагающих массив отдельностей в принятой статистической выборке (множестве отдельностей); n — количество отдельностей в выборке.

Трещины в массиве имеют различное происхождение. Образование первичных трещин происходило в процессе формирования горных пород. Это так называемые *петрогенетические трещины*, которые в дальнейшем в процессе тектонических деформаций земной коры дополнялись *тектоническими трещинами*. Близкая к дневной поверхности часть массива коренных пород характеризуется наличием *экзогенных трещин*. Эти трещины формируются в результате изменения параметров решетки петрогенетических и тектонических трещин за счет разгрузки выведенной к поверхности части массива от давления, а также за счет процессов выветривания.

Трещины первых двух типов пронизывают породный массив на всю его глубину. Эти трещины могут быть *плотно сомкнутыми* или *зияющими* (раскрытыми). В последнем случае расстояние между краями трещин (ширина трещин) может изменяться от долей миллиметра до нескольких сантиметров. Раскрытые трещины могут быть заполнены воздухом, водой или продуктами отложения частиц пород, переносимых циркулирующими по трещинам подземными водами. Частота этих трещин и их зияние уменьшаются с увеличением глубины залегания пород.

В зоне выветривания увеличивается как среднее значение ширины первичных трещин, так и ее дисперсия, в связи с чем возрастает неоднородность структуры массива. Имеющие значительно большую ширину трещины в этой зоне обычно заполнены вторичными отложениями, переносимыми водой из толщи наносов. В связи с неоднородностью массива разработка пород в этой зоне затруднена. Особенно это сказывается на качестве их взрывной подготовки. Мощность зоны выветривания составляет обычно от 25–30 м до 50 м, а иногда достигает 60–80 м.

Породный массив анизотропен. Важнейшей причиной анизотропности массива является *анизотропия его трещиноватости*, которая обусловлена неравномерностью распределения частоты трещин по различным направлениям. При производстве взрывных работ интерес представляет в первую очередь распределение частоты трещин в плоскости, перпендикулярной оси скважинных зарядов (как правило, это горизонтальная или близкая к горизонтальной плоскость). Картина распределения частоты трещин в этой плоскости с достаточной точностью может быть описана кривой эллиптической формы, которая называется *кривой анизотропии трещиноватости* (рис. 2.7). Направление большой оси эллипса соответствует направлению, характеризующемуся максимальной частотой трещин. Направление малой

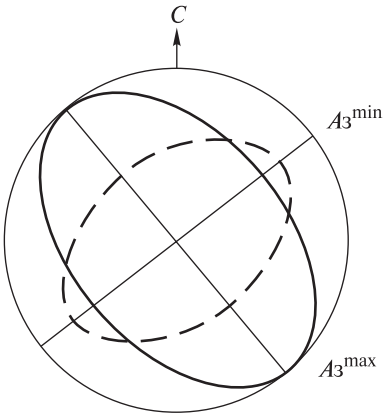


Рис. 2.7. Совмещенные диаграммы распределения частоты трещин (———) и скорости упругих волн (- - - - -) в массиве:

$Аз^{max}$ и $Аз^{min}$ — азимуты направлений с максимальной и минимальной частотой трещин

оси, наоборот, соответствует направлению, в котором частота трещин минимальна. Эти направления являются *главными осями анизотропии массива.*

Следствием анизотропности трещиноватости массива является анизотропия его акустических свойств или анизотропия так называемого *акустического показателя трещиноватости*, равного соотношению квадратов скоростей упругих волн в массиве и в образце породы.

Характеристикой анизотропности массива может служить *коэффициент анизотропии* K_a, равный соотношению максимального (n^{max}) и минимального (n^{min}) значений частоты трещин:

$$K_a = \frac{n^{max}}{n^{min}}. \qquad (2.11)$$

Величина коэффициента анизотропии для породных массивов угольных месторождений находится чаще всего в пределах от 1,2 до 1,9. С увеличением блочности массива коэффициент анизотропии возрастает. И наоборот, для чрезвычайно трещиноватых мелкоблочных массивов коэффициент анизотропии приближается к единице.

Для количественной оценки анизотропности массива весьма эффективно использовать сейсмоакустический метод, который позволяет получить интегральную характеристику нарушенности массива трещинами. Реализация метода осуществляется путем кругового сейсмического зондирования массива (рис. 2.8). Полученная в результате кривая распределения скоростей упругих волн четко определяет как направления главных осей, так и коэффициент анизотропии массива. Причем распределение скоростей волн прямо зависит от распределения частоты трещин (см. рис. 2.7). Учитывая, что кривая анизотропии симметрична относительно ее центра, сейсмические измерения возможно ограничить половиной круга. Однако сейсмическое зондирование не позволяет установить количество систем трещин, расстояние между трещинами, их состояние, размеры блоков и др.

Наиболее надежным методом изучения трещиноватости массива является метод натурных измерений на обнажениях уступов и бортов карьеров (см. рис. 2.5). Он позволяет не только установить количество систем и расстояние между трещинами систем, их ориентировку, углы и азимуты падения

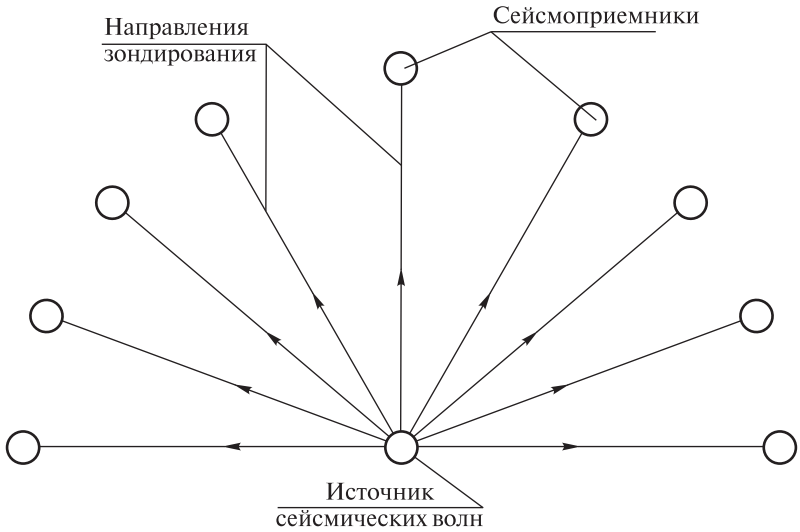


Рис. 2.8. Схема сейсмического зондирования породного массива

трещин, но и оценить состояние трещин — их раскрытие, заполнение и др. Трудоемкость натурных измерений может быть значительно снижена за счет применения фотограмметрии. Сочетание натурных измерений и фотограмметрии плодотворно, но использовать их возможно только после того, как горные работы на месторождении получат достаточное развитие.

На этапе разведки месторождений трещиноватость и блочность массива можно ориентировочно оценить по кернам, получаемым при разведочном бурении. При разведке угольных месторождений достаточно надежные данные о блочности массива возможно получить также на основе данных о стадии эпигенеза и глубине залегания пород.

2.4. СВОЙСТВА РАЗРУШЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Разрушенные горные породы образуются либо в результате взрывного разрушения скального или полускального породного массива, либо в результате механического рыхления пород или дополнительного механического дробления взорванных пород в дробилках (например, при применении в карьерах комбинированного транспорта с использованием ленточных конвейеров). Суть взрывного разрушения пород состоит в дроблении слагающих массив естественных отдельностей на куски меньшего размера с одновременным разрыхлением массива. Важнейшими характеристиками разрушенных взрывом пород являются *крупность кусков*, или, иначе, *кусковатость взорванной горной массы*, и *коэффициент ее разрыхления*.

Кусковатость разрушенных пород на практике обычно принято оценивать по выходу крупных «негабаритных» кусков, которые, например, не помеща-

ются в ковш экскаватора или не проходят в приемное отверстие дробилки. Но такой подход не позволяет объективно оценить кусковатость породы, поскольку при одной и той же интенсивности ее дробления выход негабарита будет различным, например при использовании экскаваторов с различной вместимостью ковша. Наиболее универсальным и удобным является метод оценки кусковатости по *диаметру среднего куска*. Он позволяет адекватно характеризовать состояние разрушенной породы применительно к любому технологическому процессу (выемка и погрузка, транспортирование и др.) вне зависимости от параметров оборудования.

При определении кусковатости разрушенных пород и оценке их гранулометрического состава чаще всего используют линейный, планиметрический или фотопланиметрический (по фотографиям) способы измерений размеров кусков, по результатам которых диаметр среднего куска устанавливается по выражению (2.10) или определяется по формуле

$$d_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^{n} x_i \Delta_i \,, \tag{2.12}$$

где x_i — среднее арифметическое границ размеров i-й фракции; Δ_i — содержание i-й фракции; n — число фракций.

Планиметрический и особенно линейный способы измерений дают, однако, завышенное содержание в развале мелких фракций. В результате при этих способах измерений расчетное значение диаметра среднего куска разрушенной породы оказывается соответственно в 1,3 или 1,5 раза ниже истинного его значения. Наиболее точен объемный метод измерения кусковатости, но он более трудоемок.

По В.В. Ржевскому, разрушенные породы в зависимости от их кусковатости, оцениваемой по линейному размеру куска, делятся на пять категорий:

I категория — очень мелко разрушенные породы ($d_{\text{ср}} < 0{,}15$ м);

II категория — мелкоразрушенные породы ($d_{\text{ср}} \approx 0{,}15$–$0{,}25$ м);

III категория — среднеразрушенные породы ($d_{\text{ср}} \approx 0{,}25$–$0{,}35$ м);

IV категория — крупноразрушенные породы ($d_{\text{ср}} \approx 0{,}4$–$0{,}6$ м);

V категория — весьма крупноразрушенные породы ($d_{\text{ср}} \geq 0{,}7$–$0{,}9$ м).

Кусковатость разрушенных пород оказывает большое влияние на показатели работы выемочно-погрузочного, транспортного, дробильного и другого вида оборудования. С повышением интенсивности дробления и уменьшением диаметра среднего куска создаются более благоприятные условия для работы выемочных, транспортирующих, отвальных и других машин, значительно возрастает их производительность, снижается энергоемкость и аварийность работы оборудования.

Физико-механические свойства пород в кусках после разрушения массива взрывом близки к их естественным свойствам до разрушения. Однако в ближней к заряду взрывчатого вещества зоне свойства пород существенно

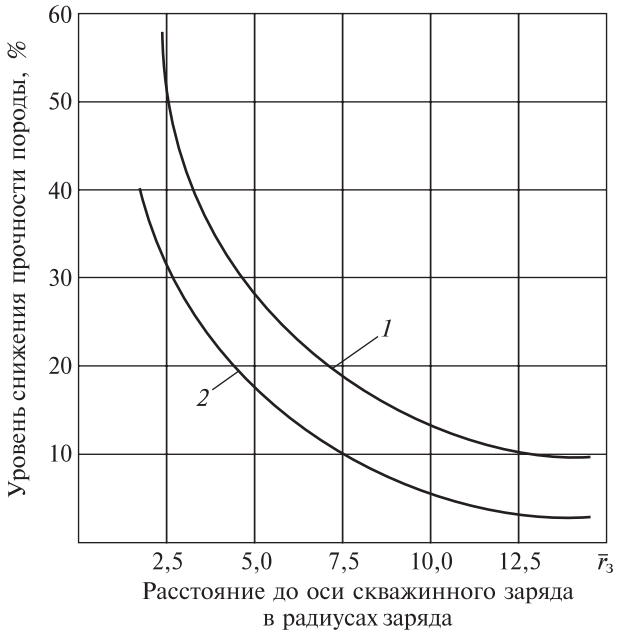


Рис. 2.9. График зависимости уровня снижения прочности породы «в куске» от расстояния до оси скважинного заряда при действии взрыва параллельно (*1*) и перпендикулярно (*2*) слоистости породного массива

изменяются. Проявляется это прежде всего в снижении их прочности в результате увеличения плотности микродефектов внутри кусков (рис. 2.9). При добыче руды снижение ее прочности позволяет увеличить производительность процессов дробления и измельчения руды, снизить их энергоемкость и увеличить извлечение зерен полезных минералов при обогащении.

Коэффициент разрыхления ($K_р$) определяется отношением объема породы в разрушенном состоянии ($V_р$) к ее исходному объему в массиве или монолите (V_0):

$$K_р = \frac{V_р}{V_0}. \qquad (2.13)$$

Коэффициент разрыхления всегда больше единицы. Его величина зависит главным образом от кусковатости разрушенной породы ($K_р$ возрастает с увеличением крупности кусков), а также от плотности ее укладки в развале или в ковше экскаватора. В свою очередь, плотность укладки кусков зависит от объема и формы емкости, в которой размещается разрушенная порода. В частности, при одной и той же вместимости ковша экскаватора коэффициент разрыхления породы в ковше резко возрастает с увеличением крупности кусков с 1,3–1,4 до 1,9–2 и более. И наоборот, при одной и той же кусковатости породы коэффициент ее разрыхления в ковше столь же резко снижается с увеличением его вместимости.

При правильно установленных параметрах буровзрывных работ и при отсутствии пространственных ограничений для формирования развала взорванная порода свободно размещается на рабочей площадке уступа. Коэффициент разрыхления разрушенной породы в развале при этом составляет обычно от 1,3 до 1,4. По Ю.И. Белякову, удельное сопротивление копанию при выемке взорванной породы при таком $K_р$ снижается до минимальной величины. Характерно, что коэффициент разрыхления мелко разрушенных пород в ковше экскаватора также не превышает 1,3–1,4.

При неудовлетворительном качестве взрыва, а также при взрывании «в зажиме» (например, при взрывании на подпорную стенку) или при сотрясательном взрывании породного массива коэффициент разрыхления снижается до 1,1–1,15. Естественные отдельности в массиве при этом не полностью отделяются друг от друга, а силы сцепления между ними в значительной степени сохраняются, что весьма негативно влияет на эффективность выемки пород.

Часть II ПОДГОТОВКА ГОРНЫХ ПОРОД К ВЫЕМКЕ

Глава 3

ПОДГОТОВКА К ВЫЕМКЕ МЯГКИХ И ПОЛУСКАЛЬНЫХ ПОРОД

3.1. ПОДГОТОВКА К ВЫЕМКЕ МЯГКИХ ПОРОД

Общие сведения о подготовке пород к выемке. Разработка горных пород начинается с их подготовки к выемке. Качество подготовки пород оказывает определяющее влияние на производительность выемочно-погрузочного, транспортного и другого оборудования, а в конечном счете — на величину общих затрат на горные работы. Способ подготовки выбирается в соответствии со свойствами пород. Разработке мягких пород может предшествовать их предварительное осушение, предохранение от промерзания или оттаивание уже промерзших пород. Подготовка полускальных пород производится путем механического или взрывного рыхления, а при подготовке скальных пород пока единственным остается взрывной способ разрушения массива. В зависимости от свойств пород доля затрат на их подготовку составляет от 5 до 40% общих затрат на горные работы.

Разработка мягких пород (растительный слой, пески, глины, суглинки, супеси и др.) в обычных условиях, при положительных температурах воздуха производится обычно без их предварительной подготовки. Эти породы легко отделяются от массива зубьями ковша экскаватора или рабочими органами других выемочных машин. Однако при высокой влажности глинистых пород их выемка сопровождается налипанием породы на стенки и днище ковшей, на внутреннюю поверхность кузовов думпкаров и автосамосвалов, на конвейерные ленты. Это приводит к снижению производительности оборудования и к необходимости периодически проводить его очистку от прилипшей породы. Особые сложности возникают, когда налипание породы сопровождается ее примерзанием.

В подобных условиях прибегают к *предварительному осушению* увлажненных участков породного массива. Для этого возможно использовать дренаж через горизонтальные скважины, которые бурят от подошвы уступа в глубину массива. При слабой водоотдаче пород может применяться вакуумирование этих скважин. Для ограждения разрабатываемых участков обводненных пород от окружающего массива возможно использовать завесы из твердеющих растворов, которые нагнетаются в массив через вертикальные скважины, располагаемые по границе участка. При соответствующем рельефе для предохранения верхних уступов карьера от поверхностных вод используются дренажные водоотводные канавы.

Предохранение пород от промерзания. Замерзание мягких пород в зимнее время крайне затрудняет их выемку. При глубине промерзания до 0,5–0,7 м карьерные экскаваторы еще могут производить выемку пород без предварительного рыхления. Такие же машины, как многоковшовые экскаваторы, погрузчики, скреперы, не приспособлены для разработки пород даже при небольшой глубине промерзания. Большинство карьеров России расположены в районах с холодным или суровым климатом, где глубина промерзания достигает 1,5–2 м и более. На таких карьерах необходимо принимать меры к предотвращению промерзания пород или, по крайней мере, к уменьшению его глубины на тех участках, где предполагается вести горные работы в зимнее время.

Для этого возможно использовать следующие способы:

- рыхление поверхности специальными плугами или рыхлителями на глубину 0,3–0,4 м и последующее боронование либо глубокое рыхление пород на глубину до 1–1,8 м с помощью экскаваторов, что позволяет снизить глубину промерзания в 2–3 раза;
- утепление поверхности уступов теплоизоляционными материалами (синтетические материалы, опилки и др.), которые снижают глубину промерзания до минимума, а при определенных условиях могут вообще его предотвратить;
- при разработке россыпных месторождений предохраняемую от промерзания площадь можно обваловывать и образовавшуюся емкость осенью заполнить слоем воды глубиной 0,8–1,5 м для образования зимой ледяного покрова, снижающего глубину промерзания.

Для утепления поверхности уступов находят применение и другие способы — химическая обработка хлористыми солями натрия или калия, снегозадержание, обработка пенообразующими составами и т.д.

Оттаивание мерзлых пород может производиться путем нагнетания в промерзший массив различных *теплоносителей*, например воды или пара. Осуществляется это с помощью устройств, называемых *иглами*, которые вводятся в вертикальные скважины, пробуренные в промерзшей толще

породы. Этот способ используется, в частности, при разработке россыпных месторождений. Шаг расстановки игл изменяется обычно от 2,5–3,5 м до 5–6 м. Одна игла обеспечивает оттаивание 20–25 $м^3$ породы. Для повышения эффективности оттаивания используется электро- или гидроразрыв пород или взрывание в скважинах зарядов ВВ. При этом в промерзшей породе появляются трещины, облегчающие проникновение в массив теплоносителей и повышающие эффективность оттаивания.

Известен способ оттаивания *электрообогревом*. Электрический ток напряжением до 380 В подается к электродам, размещаемым в шпурах, пробуренных по квадратной или шахматной сетке на расстоянии 0,5–0,7 м один от другого. Электрическая цепь замыкается по талой породе. Образующееся при этом тепло передается лежащему выше промерзшему слою и вызывает его оттаивание. При *поверхностном электрообогреве* электроды в виде сетки из тонкой медной проволоки укладывают на поверхность и к ним подают ток от высокочастотного генератора.

Наиболее простым и беззатратным является *естественное оттаивание* за счет солнечной радиации. Оно широко используется в районах Севера при разработке многолетнемерзлых пород. Скорость оттаивания для континентальных районов северо-востока страны составляет до 10–15 см в сутки.

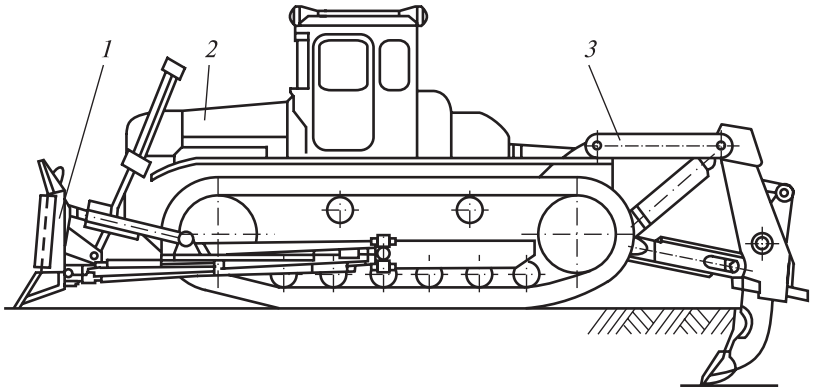
Технологически же наиболее правильно верхние уступы карьеров, представленные мягкими породами, отрабатывать ускоренными темпами в теплое время года. Этим практически полностью снимаются проблемы борьбы с промерзанием пород и их оттаиванием.

3.2. МЕХАНИЧЕСКОЕ РЫХЛЕНИЕ ПОРОД

Механическое рыхление целесообразно использовать для подготовки плотных и полускальных пород при сравнительно небольших объемах горных работ. Его возможно использовать также для рыхления мерзлых пород при небольшой глубине промерзания. Механическое рыхление особенно эффективно при послойной селективной разработке забоев, сложенных чередующимися слоями пород и полезного ископаемого при небольшой мощности слоев. В этих условиях механическое рыхление предпочтительнее взрывного способа подготовки пород.

Рыхление пород производится с помощью специальных агрегатов — *тракторных рыхлителей*. Такой бульдозерно-рыхлительный агрегат представляет собой мощный бульдозер в комплексе с навесным рыхлителем. Для рыхления полускальных пород используют мощные однозубые рыхлители (рис. 3.1), а при разработке плотных пород целесообразно применять многозубые рыхлители, обеспечивающие более высокую производительность рыхления (рис. 3.2). Техническая характеристика некоторых типов тракторных рыхлителей приведена в табл. 3.1.

а



б



Рис. 3.1. Схема (*а*) и общий вид (*б*) однозубого бульдозера-рыхлителя:
1 — бульдозерное оборудование; *2* — трактор; *3* — рыхлительное оборудование

Таблица 3.1

Техническая характеристика тракторных рыхлителей

Параметры	Базовый трактор				
	Т-130	ДЭТ-250М	Т-330	Т-500	Т-800
Мощность двигателя, кВт	118	243	250	367	523
Тяговый класс, кН	100	250	250	350	750
Тип бульдозерно-рыхлительного агрегата	ДЗ-116ХЛ	ДЗ-126ХЛ	Т-25.01БР-1	Т-500Р-1	50.01
Тип рыхлителя	ДП-26С	ДП-9ВХЛ	ДП-29ХЛ	Т-500	Т-800
Число зубьев	1	1–3	1	1	1
Глубина рыхления, мм	450	1200	1400	1520	1780
Ширина наконечника зуба, мм	60	105	114	120–125	125–130
Масса агрегата, т	17,5	40,7	51,3	59,9	90,1



Рис. 3.2. Трехзубый бульдозер-рыхлитель

К основным параметрам рабочего органа рыхлителя относятся: угол заострения зуба (ω), угол резания ($\gamma_р$) и задний угол (φ), а также длина зуба и его толщина (рис. 3.3). Угол заострения наконечника зуба (ω) составляет 20–30°, задний угол (φ) — 5–10°, а угол резания ($\gamma_р$) — 30–40°. Для многозубых рыхлителей важными параметрами являются расстояние между зубьями и общая ширина захвата.

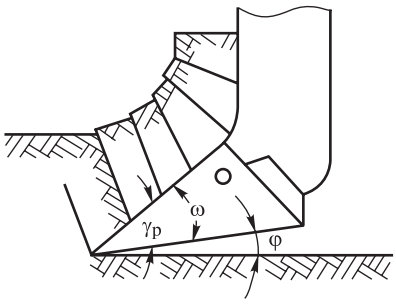


Рис. 3.3. Вид и параметры рабочего органа рыхлителя

При движении рыхлителя его зуб под воздействием гидравлической системы принудительно заглубляется в горную породу

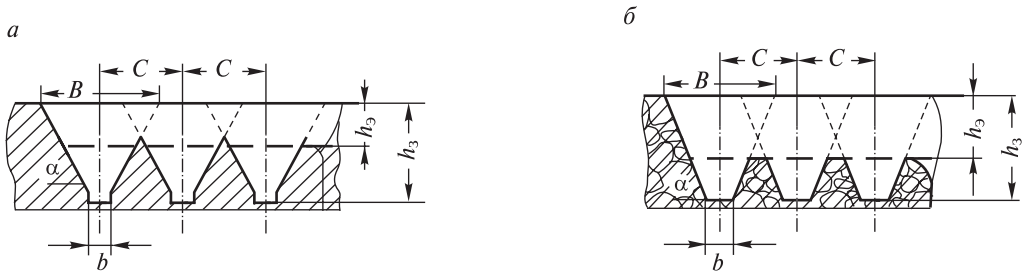


Рис. 3.4. Схемы механического рыхления однозубым рыхлителем вязких монолитных пород (*а*) и хрупких трещиноватых пород (*б*):

b — ширина нижней части прорези; *B* — ширина прорези поверху; *C* — расстояние между смежными проходами рыхлителя; $h_з$ — глубина заглубления зуба; $h_э$ — глубина эффективного рыхления