

*Посвящается памяти профессора
Анатолия Семёновича Бурчакова,
профессора Ильи Лозиковича Черняка*



РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ГОРНАЯ КНИГА»

*Председатель
Л.А. ПУЧКОВ*

*Зам. председателя
Л.Х. ГИТИС*

*Члены редсовета
А.А. БАРЯХ*

А.П. ДМИТРИЕВ

В.Н. ЗАХАРОВ

Д.Р. КАПЛУНОВ

Б.А. КАРТОЗИЯ

А.В. КОРЧАК

М.В. КУРЛЕНЯ

В.Н. ОПАРИН

В.Л. ПЕТРОВ

И.Ю. РАССКАЗОВ

К.Н. ТРУБЕЦКОЙ

В.А. ЧАНТУРИЯ

В.Л. ШКУРАТНИК

чл.-корр. РАН

*директор
Издательства
«Горная книга»*

директор ГИ УрО РАН

академик РАЕН

директор ИПКОН РАН

чл.-корр. РАН

академик РАЕН

академик МАН ВШ

академик РАН

чл.-корр. РАН

академик МАН ВШ

директор ИГД ДВО РАН

академик РАН

академик РАН

зав. кафедрой МГТУ

Л.А. Пучков
Ю.А. Жежелевский

ПОДЗЕМНАЯ
РАЗРАБОТКА
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОЛЕЗНЫХ
ИСКОПАЕМЫХ

ТОМ 2

Допущено Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области горного дела в качестве учебника для студентов вузов, обучающихся по специальности «Горное дело» (специализация «Подземная разработка пластовых месторождений»)

**Горное
образование**



МОСКВА

• ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА»

• 2013

УДК 622.27

ББК 33.3

П 88

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

Экспертиза проведена Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области горного дела (письмо № 51-49/6 от 08.05.2007 г.)

Рецензенты:

- кафедра «Разработка пластовых месторождений» Сибирского государственного индустриального университета;
- А.Б. Ковальчук, проф., д-р техн. наук (ООО «ИНКРУ»)

Пучков Л.А., Жежелевский Ю.А.

П 88 Подземная разработка месторождений полезных ископаемых: Учебник для вузов: В 2 т. — М.: Издательство «Горная книга». — 2013. — Т. 2. — 720 с.: ил. ISBN 978-5-98672-298-6 (в пер.)

Рассмотрены процессы подземных горных работ в угольной шахте. Приведены методы определения основных параметров процессов подземных горных работ угольных месторождений и их конструирования. Изложены современные и перспективные направления подземной разработки угольных месторождений и вопросы формирования рациональных вариантов технологических схем угольных шахт. Дана методика обоснования основных параметров технологических схем шахт и охарактеризованы основные принципы воспроизводства запасов в шахтном поле.

Лев Александрович Пучков — чл.-корр. РАН; Юрий Александрович Жежелевский — профессор Московского государственного горного университета (ФГБОУ ВПО «МГГУ»).

Для студентов вузов, обучающихся по специальности 130400 «Горное дело» (специализация «Подземная разработка пластовых месторождений»).

УДК 622.27

ББК 33.3

ISBN 978-5-98672-298-6

© Л.А. Пучков, Ю.А. Жежелевский, 2013

© Издательство «Горная книга», 2013

© Дизайн книги. Издательство «Горная книга», 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

Несмотря на сокращение удельного веса угля в топливном балансе страны в связи с опережающим развитием добычи нефти и газа абсолютная доля добычи его, в том числе и добычи подземным способом, будет возрастать.

Удвоение потребности экономики страны в угольном топливе будет удовлетворяться в основном за счет развития добычи угля в Кузнецком и Канско-Ачинском бассейнах. По прогнозным оценкам, удельный вес угля в топливно-энергетическом балансе будет увеличиваться, а добыча угля в России должна составить 400 млн. т в 2020 г.

В соответствии со Стратегией развития угольной промышленности, представленной в «Основных положениях Энергетической стратегии России на период до 2020 г.», предусматривается превращение ее в устойчиво функционирующую и рентабельную отрасль за счет комплексного освоения перспективных месторождений; проектирования и строительства угольных предприятий современного технико-экономического уровня с применением технологий добычи нового поколения; улучшения качества продукции угледобывающих предприятий с применением современных и передовых методов обогащения угля; обеспечения системы экологической безопасности, направленной на снижение выбросов в атмосферу и сбросов в водоемы и создания благоприятных жизненных условий для населения угледобывающих регионов.

Повышение технического уровня предприятий угольной промышленности будет достигаться за счет комплексной механизации и автоматизации производственных процессов, что еще больше будет благоприятствовать развитию систем разработки с длинными забоями.

Для правильного ведения очистных работ (комплекс работ по извлечению полезного ископаемого из длинных очистных выработок и очистных камер), кроме применения рациональной

системы разработки, необходимы: комплексная механизация и автоматизация основных и вспомогательных производственных процессов добычи полезного ископаемого при высокой степени интенсификации и концентрации горных работ; увязка подготовительных и очистных работ в пределах выемочного поля (участка, столба) во времени и пространстве; рациональные способы сохранения и поддержания участковых выработок, примыкающих к очистной выработке; постоянная длина очистного забоя при переменных элементах залегания пласта; разбавление выделяющегося газа по источникам его поступления; научная организация работ, характеризующаяся полной увязкой всех процессов добычи и т.д.

В Германии, Великобритании, США, ЮАР, Австралии и Канаде практически все лавы оснащены угледобывающими комплексами с механизированными крепями, а в Польше — большая часть лав (около 80 %). В комплексно-механизированных лавах основных угледобывающих стран достигнуты высокие технико-экономические показатели: средняя нагрузка на лаву в США — 2500 тыс. т товарного угля в год; в Австралии — 1560 тыс. т; в Великобритании, Китае, ЮАР и Канаде — 1000—1160 тыс. т; в Германии — 970 тыс. т. В высокопроизводительных лавах добыча достигает 5—13 тыс. т в сутки (США, ЮАР, Австралия, Канада, Германия).

Высокие технико-экономические показатели добычи угля в лавах с механизированными крепями зарубежных шахт обеспечиваются благодаря комплексному решению производственных вопросов путем концентрации горных работ и ресурсов на базовых технологиях, а именно: закрытие нерентабельных шахт; полная реконструкция действующих шахт и объединение нескольких шахт в предприятия большой производственной мощности; строительство новых шахт (комплексов) производственной мощностью 5—10 млн. т в год; повышение пропускной способности шахтного транспорта и комплексов поверхности; широкое внедрение высокопроизводительной и надежной горной техники в очистных и подготовительных забоях и в других производственных звеньях, а также внедрение систем автоматизации и управления на базе микропроцессорной техники. Широ-

ко применяется конвейерная доставка угля с использованием промежуточных емкостей (бункеров) в подземных условиях, обеспечивающая пропускную способность 2500—6000 т/ч и более. На зарубежных шахтах площадь поперечного среднего сечения выемочных штреков $19,3 \text{ м}^2$ в свету (в России около 10 м^2) позволяет размещать в них ленточные конвейеры и средства вспомогательного транспорта (напочвенные и монорельсовые дороги) для доставки грузов, а также приводные головки лавных скребковых конвейеров для безнишевой выемки угля.

Возрастание нагрузки на комплексно-механизированные лавы за рубежом объясняется также увеличением их средней длины, которая составляет в Германии 240 м, в Великобритании — 225 м, в США — 213 м. Увеличение длины комплексно-механизированных лав и их нагрузки потребовало создания и внедрения высокопроизводительного оборудования повышенной надежности и долговечности.

Зарубежный опыт показывает, что в основных угледобывающих странах уделяется большое внимание вопросам повышения энерговооруженности, надежности, долговечности, диагностике и автоматизации горно-шахтного оборудования для очистных работ.

Увеличение мощности комбайнов до 600—1000 кВт обусловило переход на электроснабжение от 1000 и до 3300 В. Наблюдается тенденция создания и внедрения очистных комбайнов на пластах мощностью менее $1,25 \text{ м}$, корпус которых располагается в устье забоя, хотя для пластов этой мощности производятся комбайны, корпус которых размещается над скребковым конвейером.

Работы по автоматизации передвижки механизированных крепей за рубежом направлены на изыскание более компактных конструкций электронных блоков управления и гидравлических устройств, способных при сохранении допустимых искробезопасных характеристик обеспечить максимальное число одновременно выполняемых команд. Одновременно ведутся опытные работы по осуществлению передвижки крепи или выдвигки консолей перекрытия по мере перемещения комбайна (по соответствующим командам) и сохранению прямолинейности

забоя лавы. Применение автоматизированных крепей позволяет увеличить нагрузку на лаву на 10—12 %.

Конвейеры для длинных высокопроизводительных (до 3000 т/ч) лав имеют мощность привода 700—1000 кВт.

На мощных пластах и в высокопроизводительных лавах расширяется применение скребковых конвейеров с боковой разгрузкой, которыми оснащаются все вновь вводимые лавы.

Повышение надежности очистного оборудования в ряде случаев позволило проводить перемонтаж комбайнов, конвейеров и механизированных крепей (после отработки выемочного столба) без выдачи их на поверхность для профилактики и капитального ремонта.

Ниже приведены основные отечественные и зарубежные разработчики и изготовители очистного оборудования, применяемого на шахтах РФ, и рассмотрены возможные поставщики этой техники.

Основным разработчиком очистного оборудования для подземной добычи угля в СССР и РФ был проектно-конструкторский институт угольного машиностроения «Гипроуглемаш», ныне — ОАО «Гипроуглемаш». Машинами, изготовленными по его разработкам, добывалось до 180 млн. т, или 50—55 % угля от общего объема добычи на шахтах СССР, и до 40 % — на шахтах РФ. Институт внес наибольший вклад в развитие очистной техники в мире среди известных отечественных и зарубежных создателей очистных машин.

Впервые в мировой практике Гипроуглемашем были созданы струговый агрегат А2, обеспечивающий выемку пласта с постоянной, регулируемой по величине стружкой (фирма DBT повторила это направление через 40 лет); струговый агрегат А3 с кольцевым рабочим органом, струговый агрегат АКЗ для выемки крутых пластов (патент на агрегат продан фирме «Хемшайдт»); механизированную крепь М87 с резервированным исходным положением всех секций (в подавляющем большинстве крепей в мире заложена эта принципиальная схема); механизированная крепь М137 с двойным резервированием исходного положения секций (заложено в большинстве современных крепей в мире для тонких и средней мощности пластов); комбайны

К103 для выемки тонких пластов с поперечным расположением двух двигателей на резание угля и 3К103 с тремя двигателями (патент продан фирме «Хемшайдт»); вынесенная электрическая система подачи ВСП (патент продан фирме «Хемшайдт»); очистной комплекс КМ120 для мощных пластов и комбайны К128П с параметрическим регулированием резания угля; комбайны УК с автономными приводами на резание и подачу и поперечным расположением двигателей на резание на качалках; скребковый конвейер СПМ128П с плавным регулированием скорости движения цепи; комплексы КМ87, КМТ и другие с двумя комбайнами с односторонним расположением исполнительных органов и цельнопередвижным забойным конвейером (перспективное направление развития очистной техники с автоматизированным и дистанционным управлением в ближайшем будущем) и многое другое.

Широкое применение получили такие оригинальные конструкции, как крепи М81, М130, МК97, МК98, МТ, М138, М142 с выдвигными скалывающими верхняками, М144 с защищенным проходом по крепи, комбайны К101, 2К52, К85, ряд очистных комбайнов РКУ, рейки бесцепной системы подачи РКД и др.

В последние годы Гипроуглемашем создано очистное оборудование нового поколения; комбайны К600 и К300, крепи М174, М144Б и М147, конвейеры СПЦ391 и др.

Основным конкурентом Гипроуглемаша по созданию очистных комбайнов и механизированных крепей был и остается Подмосковский угольный институт «ПНИУИ», ныне — ОАО «ПНИУИ», которому принадлежит приоритет создания щитовых механизированных крепей с применением четырехзвенного механизма Чебышева. Этот механизм применяется в мировой практике до настоящего времени в подавляющем большинстве щитовых крепей.

На шахтах СССР и РФ широкое применение получили комбайны типа КШЗМ, 1КШЭ, механизированные крепи 1МК, 2МКЭ и др. В последние годы создан целый ряд современных поддерживающе-оградительных крепей типа КМ700, КМ800, КМ1000, КМ1400 и т. д.

Компания «DBT GmbH» (Германия) разрабатывает и производит для внутреннего и внешнего рынков следующее оборудование: струговые и комбайновые комплексы для добычи угля лавами длиной до 400 м на пластах мощностью 0,6—6 м; механизированные крепи из высокопрочных сталей с секциями, имеющими несущую способность до 10,0—11,0 МН, с ручным и дистанционным электрогидравлическим управлением; электронные системы управления крепями; струговые установки для тонких пластов с двумя приводами мощностью до 400 кВт с одновременным запуском и системами защиты от перегрузок; струговые установки с приводами мощностью 2х800 кВт с частотным регулированием скорости струга — конвейерные системы для доставки угля при выемке угля лавами производительностью от 1500 до 5000 т/ч с боковой разгрузкой; приводы конвейеров мощностью до 800 кВт с «мягким» запуском; приводы конвейеров мощностью до 1000 кВт с частотным регулированием скорости цепи; комплектные системы, включающие штрековый перегружатель, дробилку, загрузочную часть ленточного панельного конвейера и приводы, обеспечивающие транспортировку горной массы до 5000 т/ч.

Компания DBT является в последнее время фактически главным поставщиком очистного оборудования в мире, включая шахты США, ЮАР (шахта «Матла»), Китая, Австралии, и имеет дочерние отделения в США, Австралии, Южной Африке, Польше и других угледобывающих странах.

Компания «Joy Mining Machinery» (США) — один из основных поставщиков в мире очистных комбайновых комплексов для длинных и коротких забоев и проходческого оборудования, основной конкурент DBT. Компания «Joy» в последний период времени — результат объединения целого ряда международных фирм — производителей ГШО.

За короткое время компания освоила производство современных очистных комбайнов типа LS с автономными приводами, которыми в 2004 г. были оснащены на шахтах США более 40, или почти 80 % КМЗ. По поставке забойных конвейеров и механизированных крепей в эти КМЗ «Joy» делит рынок США с компанией DBA (дочерняя фирма DBT в Америке). Наиболее

широкое применение в США получили комбайны типа 4LS с установленной мощностью приводов 750—770 кВт (с дробилкой), для выемки пластов мощностью 1,7—3,5 м. Комбайны обеспечивали высокие нагрузки на забой — до 20 тыс.т/сут, в том числе за счет низкой энергоемкости резания угля, челноковой схемы выемки и высокой организации работ с коэффициентом машинного времени комбайнов не менее 0,7.

В последние годы «Joy» поставляет комбайны типоразмерного ряда 7LS (от 7LS1A для выемки пластов мощностью 1,5—3,2 м с приводами мощностью 860 кВт и массой 47 т до 7LS6 для выемки пластов мощностью 2,4—5,5 м с приводами мощностью до 1860 кВт (с дробилкой) и массой 93 т), а также продолжает выпускать усовершенствованные комбайны типа 4LS20. Наиболее высокие результаты работы оборудования «Joy» в США и в мире — это работа двух КМЗ на шахте «Шоал Крик», когда в марте 2000 г. было добыто 2,7 млн.т угля, в среднем по 42—45 тыс. т/сут из каждого КМЗ.

Фирма «Eickhoff Bergbautechnik GmbH» (учреждена в 1864 г.) — один из ведущих поставщиков очистных комбайнов. Весьма обширный ряд комбайнов по традиционной схеме для выемки пологих пластов мощностью от 1,4 до 6 м. Начиная с конца 1970-х годов фирма заменила на два основных исполнения комбайн с автономными приводами: комбайн типа SL300 для пластов мощностью 1,4—3,8 м с установленной мощностью привода до 1200 кВт и массой до 50 т; комбайн SL500 для пластов мощностью 2—6 м с установленной мощностью привода до 1900 кВт и массой до 125 т. На шахте «Воргашорская» комбайном SL500 достигнута максимальная нагрузка — 18 тыс. т/сут.

Завод горных машин «Glinik» выпускает механизированные крепи, крепи сопряжения, забойные конвейеры, перегружатели «Матильды» и дробилки, т. е. почти полный комплект очистного оборудования за исключением выемочной машины. Крепи «Глиник» работают на шахтах «Осинниковская», «Алардинская», «Томская» и «Сибиргинский разрез» совместно с ком-

байнами фирмы Забже КСВ1140Е и конвейерами «Хальбах и Браун» типа 280/880, кроме шахты «Сибиргинский разрез», где используется конвейер «Анжера».

«Глиник» выпускает:

- пять типов забойных конвейеров с рабочей шириной става от 706 до 1024 мм и производительностью от 900 до 3000 т/ч;
- четыре типа перегружателей с рабочей шириной става от 724 до 1024 мм и производительностью от 1650 до 3000 т/ч;
- два типа участковых дробилок производительностью 2000 и 3000 т/ч.

На угольных шахтах технологическая схема характеризуется высоким уровнем комплексной механизации очистных и подготовительных работ, широким применением конвейерного транспортирования угля, эффективной вентиляцией выработок, использованием средств механизации и автоматизации на вспомогательных процессах и для обеспечения безопасных и комфортных условий труда. Доставка людей, материалов и оборудования к рабочим местам производится колесным или монорельсовым транспортом.

В угольных шахтах России, КНР и стран Европы получили распространение технологические схемы с длинными очистными забоями, оборудованными комбайнами флангового действия или стругами, механизированной или стоечной крепью, скребковыми конвейерами. Управление горным давлением осуществляется, как правило, полным обрушением пород кровли. Закладка выработанного пространства применяется при разработке мощных крутых пластов, представленных самовозгорающимися углями, и для охраны объектов на земной поверхности. Подготовка очистных забоев производится одиночными или спаренными выработками, погашаемыми вслед за очистным забоем или используемыми повторно при отработке парной лавы. Горизонтальные магистральные выработки проводят также одиночными или спаренными, чаще полевыми, наклонные — по 2—3 на выемочное поле.

В шахтах США, Канады и Австралии широко применяют технологические схемы с короткими очистными забоями. При

очистной выемке угля и при проведении выработок используются самоходное оборудование, телескопические ленточные конвейеры; очистные и подготовительные выработки крепят анкерами. Управление горным давлением осуществляется путем регулярного оставления целиков угля. Общешахтный транспорт — конвейерный или колесный. При подготовке к эксплуатации выемочные поля оконтуривают группами выработок (по 4—6 в группе), проводимых, как правило, без подрывки пород и используемых обособленно для технологических целей (вентиляция, транспорт угля, доставка материалов и оборудования, перемещение людей). Технологические схемы с короткими очистными забоями, характеризуются высоким уровнем производительности труда и низким извлечением угля из недр. Область наиболее эффективного применения этих схем — пологие и горизонтальные пласты средней мощности.

В учебнике использованы методические и теоретические положения, в свое время разработанные профессорами А.С. Бурчаковым, И.Л. Черняком (учебник «Процессы подземных горных работ». — М.: Недра, 1982), учеными и педагогами других горных вузов страны и зарубежья, а также труды научных и проектных институтов.

Разд. 2, 3, 4 и 5 написаны совместно с В.В. Мельником и М.А. Федоровой. Разд. 6 написан совместно с Ю.Г. Анпиловым, Е.И. Сергеевым, В.И. Лебедевым. Разд. 7 и 8 написаны совместно с Н.И. Абрамкиным. Главы 9.1; 9.2; 9.3 разд. 9 написаны совместно с А.В. Федашем.

Все замечания и пожелания по улучшению учебного пособия будут приняты авторами с благодарностью.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

Раздел

1

1.1. ПОНЯТИЕ О ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ ПРИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ

В угольной промышленности главным предметом труда являются угольные пласты, а главной потребительной стоимостью — *товарный уголь*.

Предмет труда — всё то, что подвергается обработке, на что направлен труд человека; он дан природой (угольные пласты, горный массив и др.) или же является продуктом труда — уголь, горная масса, металл, хлопок и т.д.

С помощью *средств труда* люди воздействуют на предмет труда. К средствам труда относятся машины и оборудование, инструменты и приспособления, средства перемещения грузов и т.д. (например, механизированный очистной комплекс, конвейер, отбойный молоток и т.д.).

Потребительная стоимость — полезность вещи (продукта труда, действия), ее способность удовлетворять какую-либо человеческую потребность.

Предмет и средства труда определяют основные процессы в технологии разработки угля, имеющие определенное технологическое и организационное содержание, направленное на создание конкретных материальных благ (потребительную стоимость) (рис. 1.1).

Основными процессами в технологии разработки угля считаются: добыча угля (очистная выемка), транспортирование и подъем добытого угля, его обогащение и отгрузка потребителю, которые включают в себя производственные процессы. Под *производственным* процессом понимают совокупность последовательных действий, направленных на достижение определенного результата и имеющих определенное технологическое и организационное содержание. Все производственные

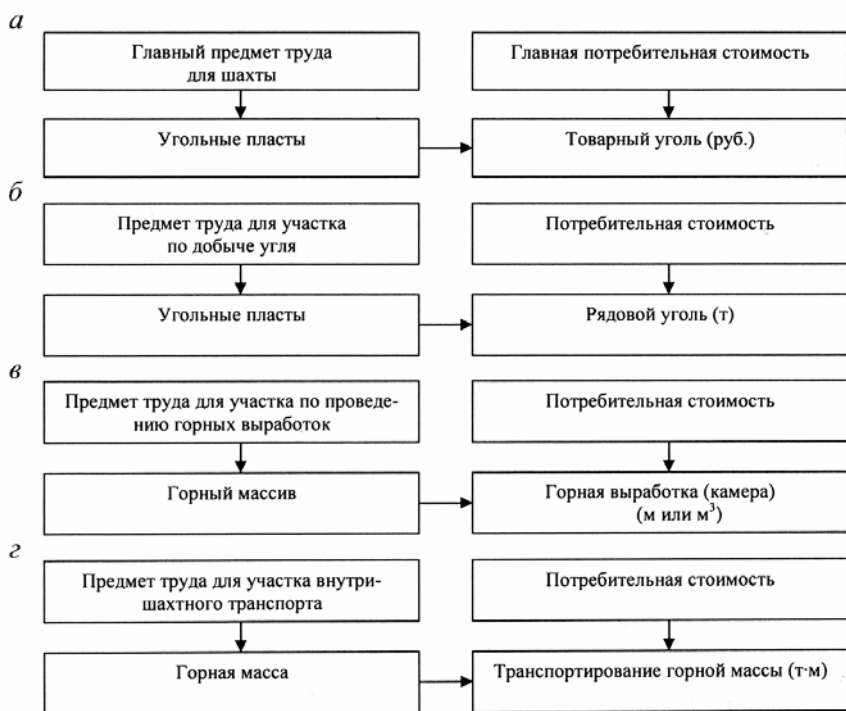


Рис. 1.1. Предмет труда и потребительная стоимость для угольной шахты и некоторых ее структурных систем:

a — для угольной шахты; *б* — для участка по добыче угля; *в* — для участка по проведению горных выработок; *г* — для участка внутришахтного транспорта

процессы, входящие в добычу угля, выполняются в определенном порядке, согласованном во времени и пространстве. Среди них выделяются основные и вспомогательные производственные процессы, набор которых зависит в основном от предмета труда, применяемых средств механизации и горно-геологических условий. Вспомогательные процессы сопутствуют основным и обеспечивают их выполнение. На основные производственные процессы в среднем приходится до 70—80 % общих затрат на очистную выемку.

Рабочий процесс — четко очерченная и отличающаяся по своей организационной структуре и технологическому

содержанию часть работы (например, возведение призабойной крепи). Рабочие процессы, в свою очередь, делятся на операции.

Операция — совокупность рабочих действий (приемов), характеризующаяся однородностью технологического содержания, единством и неизменностью исполнителей, рабочего места, оборудования и рабочих приспособлений. Операции делятся на основные, вспомогательные и подготовительно-заключительные.

Основные операции вносят изменения в форму, положение или состояние объекта работы (предмета труда). Они определяют содержание и конечную цель процесса. Например, разрушение пласта, погрузка угля на призабойный конвейер и т.д.

Вспомогательные операции сопутствуют основным, но не вносят изменений в форму, положение или состояние предмета труда (замена зубков на исполнительном органе комбайна, зачистка лавы и др.).

Подготовительно-заключительные операции связаны с подготовкой и уборкой рабочего места и оборудования в начале и конце смены или с завершением работы в течение смены (прием и сдача смены, осмотр и приведение в безопасное состояние рабочего места и др.).

Разработка угля включает в себя отдельные стадии процессов, которые группируются по назначению и месту их выполнения.

По этому признаку можно выделить *три уровня производственных процессов* в технологии разработки угля (рис. 1.2):

- *первый уровень* — процессы в выемочном поле (участке, столбе). Основными процессами на этом уровне являются работы, выполняемые в длинной очистной выработке, и транспортирование угля в пределах выемочного поля (участка, столба). Вспомогательными процессами являются проведение и поддержание выработок, а также их проветривание и осушение горного массива и т.д.;

первый уровень



второй уровень



третий уровень



Рис. 1.2. Блок-схема производственных процессов по месту их выполнения в шахте (по Ю.А. Жежелевскому и Ю.Н. Кузнецову)

- *второй уровень* — процессы в магистральных (главных) транспортных выработках, околоствольных дворах и стволах. Здесь основными являются процессы транспортирования угля по наклонным и горизонтальным выработкам и в околоствольном дворе, а также подъем его на поверхность. Вспомогательными процессами являются обслуживание шахтного водоотлива, проветривание горных выработок и ремонт выработок и т.д.;

- *третий уровень* — процессы на поверхности шахты. На этом уровне основными процессами являются прием и транспортирование угля, первичная переработка его, обогащение, отгрузка угля потребителю; вспомогательными — транспортирование и складирование породы и т.д.

Технологические схемы производственных процессов могут претерпевать изменения при изменении горно-геологических условий и средств механизации.

1.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

1.2.1. Сдвижение массива вмещающих пород при выемке угля

Очистные работы вызывают деформации пород кровли. Деформации могут проявляться в виде сдвижения пород без разрыва сплошности, а также в виде трещин и разломов — с разрывом сплошности. При больших размерах выработанного пространства процесс сдвижения достигает поверхности. Сначала разрушаются породы непосредственно над пластом, а затем с развитием очистной выемки происходит облом вышележащих слоев пород кровли.

В толще массива в направлении вверх от выработанного пространства можно выделить три зоны, характеризующиеся разной степенью нарушенности горных пород: *обрушения*, *прогиба* с нарушением сплошности слоев в виде трещин и *плавного прогиба* без нарушения сплошности слоев.

В зоне обрушения несвязное сдвижение отдельных кусков и блоков породы периодически повторяется по мере подвигания длинной очистной выработки. При большой площади обнажения высота этой зоны составляет 2—4 мощности пласта. При управлении кровлей полной закладкой выработанного пространства зона обрушения может отсутствовать. Одновременно со сдвижением пород перераспределяются напряжения в массиве с образованием зон повышенного (опорного) давления и пониженного давления (разгрузки). Увеличение напряжений обусловлено зависанием слоев горных пород над выработкой и передачей части веса зависающих пород на неподработанный массив.

Слои горных пород над и под очистной выработкой разгружаются от горного давления.

По характеру деформирования слоев горных пород и причинам, вызвавшим сдвижения, в подработанной толще можно выделить три характерные зоны (рис. 1.3): *I* — *полных сдвижений* (разгрузки); *IIa*, *IIб* — *наибольшего прогиба*; *IIIa* и *IIIб* — *сжатия пород* (опорного давления).

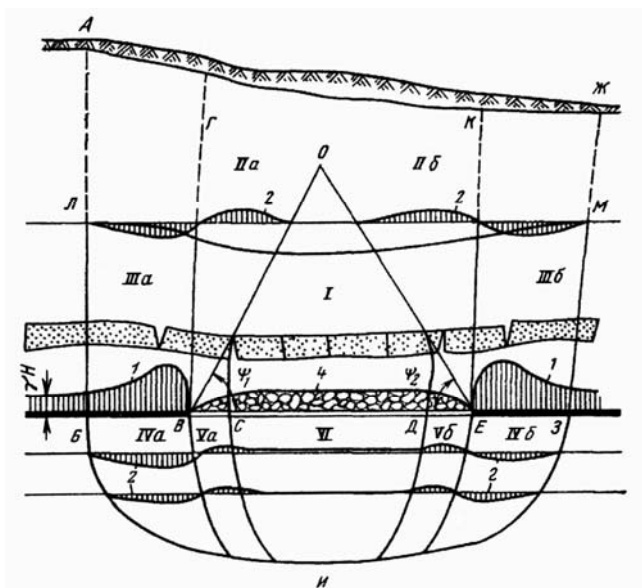


Рис. 1.3. Схема сдвижений массива пород при очистной выемке

Зона I ограничивается линиями, проведенными от границ выработки под углами полных сдвижений ψ_1 и ψ_2 , однако вблизи отработанного пласта контур этой зоны не доходит до границ выработки. В пределах этой области находится зона обрушения 4. На участке *СОД* после окончания сдвижения породы занимают положение, параллельное первоначальному.

Зоны опорного давления *IIIa* и *IIIб* распространяются от границ сдвижения подработанного массива *ЛБ* и *МЗ* до линий *ВГ* и *ЕК*, проведенных через границы выработки. Между зонами полных сдвижений и опорного давления расположены зоны наибольшего прогиба пород *IIa* и *IIб*.

В породах почвы пласта образуются зоны опорного давления *IVa* и *IVб*, разгрузки *VI* и неравномерных поднятий *Va* и *Vб*.

В зонах опорного давления породы сжимаются (эпюры 1), а в зоне разгрузки расширяются (эпюры 2) в сторону выработки.

Внешняя огибающая перечисленных зон образует контур влияния горной выработки *АЛБИЗМЖ*. Часть массива в области влияния очистной выработки, расположенная над пластом, называется *подработанной*, под пластом — *надработанной*. Соответственно этому различают, например, зоны разгрузки при подработке и надработке.

1.2.2. Основные технологические свойства вмещающих пород

Сдвижение массива пород при очистной выемке и происходящие при этом физические процессы обусловлены сложным взаимодействием множества факторов, характеризующих поведение массива. Эти факторы в значительной степени зависят от технологии ведения работ. Один и тот же горный массив может вести себя по-разному при отработке пластов длинными и короткими забоями, при широкозахватной и узкозахватной выемке, при различных скоростях подвигания длинной очистной выработки и способах управления кровлей и т.д.

Совокупность свойств массива горных пород, определяющих его поведение при воздействии горных работ, называют

технологическими свойствами. Основные из них: устойчивость, слоистость, трещиноватость, обрушаемость и управляемость.

Сочетания различных технологических свойств массива исключительно многообразны и определяют выбор технологии горных работ и их эффективность.

1.2.3. Строение, структура и слоистость массива пород

Строение массива горных пород определяется условиями образования месторождения. Месторождения осадочного типа характеризуются обычно наличием переслаивающихся пластов глинистых и песчаных сланцев, песчаников, известняков и других пород. Свойства этих пород хорошо изучены на образцах, однако прочностные и упругие свойства массива пород значительно отличаются от свойств образца. Это различие вызывается *текстурой, структурой и трещиноватостью* пород. Все горные породы рассекаются множеством трещин, которые разделяют горный массив на структурные блоки.

Свойства пород, определяемые на куске (образце) с размерами, меньшими или соизмеримыми с размерами структурных блоков, не могут характеризовать свойства массива в целом.

Массив пород сохраняет некоторые свойства куска породы, однако он обладает существенным качеством, которое представляет собой нечто большее, чем простая совокупность свойств породы в куске. Изменение свойств породы при переходе от куска к массиву получает свое обоснование в законе перехода количественных изменений в качественные и обратно. Следовательно, всю информацию о свойствах массива и его состоянии можно получить лишь на объеме, включающем достаточно большое число структурных блоков.

В зависимости от расположения отдельных слоев боковых пород относительно угольного пласта и способности их к обрушению и сдвигению различают *ложную, непосредственную и основную кровлю и ложную, непосредственную и основную почву.*

Ложной кровлей называют легкообразующийся слой пород незначительной мощности (до 0,5—0,6 м), залегающий непосредственно над пластом угля. Обычно ложная кровля обрушается при выемке угля или через небольшой промежуток времени после выемки.

Непосредственной кровлей называют толщу пород над угольным пластом, которая легко обрушается при небольших обнажениях на некотором расстоянии от забоя при выбойке призабойной и переноске посадочной крепи. Мощность непосредственной кровли определяется мощностью систематически обрушающихся в выработанном пространстве пород после переноски посадочной крепи.

Основной кровлей называют толщу прочных пород, залегающую над непосредственной кровлей. Породы основной кровли могут сохранять устойчивость при обнажении их на большой площади. Обрушаются они через некоторое время после обрушения непосредственной кровли.

Непосредственной почвой называют толщу пород, залегающую непосредственно под угольным пластом. Со свойствами непосредственной почвы связаны явления пучения, сползания ее на крутых пластах, а также вдавливания в нее крепи.

Основной почвой называют толщу пород, залегающую ниже непосредственной почвы.

Ложная кровля обычно состоит из углистых и слабых глинистых сланцев, непосредственная кровля чаще всего представлена песчано-глинистыми и глинистыми сланцами, а основная — известняками и песчаниками, реже — крепкими глинистыми сланцами.

Устойчивость и характер обрушения пород в длинной очистной выработке в значительной степени зависят от способности пород расслаиваться; при этом большое значение имеет мощность тех обособленных слоев, на которые расслаивается порода. Чем меньше связь между слоями и чем тоньше эти слои, тем легче они обрушаются небольшими участками. Чем толще слои,

на которые расслаивается порода, тем труднее они прогибаются и тем большими участками (глыбами) они обрушаются. Для песчаников Донецкого бассейна характерно расслоение на слои толщиной 0,5—1,5 м. Толщина слоев, на которые расслаиваются глинистые и песчано-глинистые сланцы, изменяется от 0,08 до 1,2 м.

Расслоение пород тесно связано со *слоистостью* (неоднородностью осадка в разрезе) (табл. 1.1). Основной ее причиной является смена слабых пород крепкими, причем расслоение происходит по прослойкам слабых пород и для этого достаточно, чтобы в крепкой породе был хотя бы весьма тонкий (в долях миллиметра) сплошной прослой слабей породы. Наибольшее расслоение пород отмечается при наличии сплошных прослоев глинистого, углистого и слюдяного материала, а также при наложении растительных остатков.

Кроме слоистости, в породах могут быть плоскости ослабления. Они могут проходить как по границе пластов, так и внутри однородных пород. Мощность породы между плоскостями ослабления называют *пластовой отдельностью*. Так как пластовая отдельность не имеет сцепления с вышележащими породами, то ее вес полностью передается на нижележащие породы. Чем больше мощность пластовой отдельности, тем больше ее устойчивость.

Если сцепление между слоями такое, что под собственным весом расслоения не происходит, то границы между слоями не будут являться пластовыми отдельностями.

Таблица 1.1

Классификация горных пород по слоистости	Толщина слоя, м
Весьма тонкослоистые	< 0,2
Тонкослоистые	0,2—1
Среднеслоистые	1—3
Крупнослоистые	3—10
Весьма крупнослоистые	> 10

1.2.4. Трещиноватость горных пород

Устойчивость горных пород, окружающих горную выработку, в значительной степени зависит от их трещиноватости. В известняках расстояние между трещинами в 2—10 раз превышает мощность пластовой отдельности. В мелкозернистых песчаниках в 78 % случаев расстояние между трещинами превышает мощность пластовой отдельности в 2—3 раза, а в 20 % — в 3—10 раз. В крупнозернистых песчаниках в 92 % случаев расстояние между трещинами превышает мощность пластовой отдельности в 1—3 раза. В песчанистых сланцах расстояние между трещинами в основном близко к мощности слоя. Наибольшей трещиноватостью характеризуются глинистые породы, в которых расстояние между трещинами часто бывает меньше мощности пластовой отдельности.

По своему происхождению трещины разделяются:

- на *эндогенные*, образовавшиеся в результате физико-химических процессов, диагенеза; перекристаллизации, метаморфизма;
- *экзогенные*, образовавшиеся в результате воздействия тектонических процессов. К этому типу относятся искусственные трещины, возникающие в породах в результате нарушения естественного состояния равновесия массива при ведении горных работ.

Трещины характеризуются протяженностью и шириной раскрытия. При ширине раскрытия менее 0,05 мм их называют *волосяными*, при ширине от 0,05 до 2 мм — *очень тонкими*, от 2 до 10 мм — *миллиметровыми*, от 10 до 100 мм — *сантиметровыми* и от 100 до 1000 мм — *дециметровыми*.

Естественно, что устойчивость породы в значительной степени зависит от густоты трещин, которая определяется числом трещин на 1 м² площади массива.

В зависимости от степени трещиноватости различают горные породы:

- *нетрещиноватые*;
- *слаботрещиноватые* — с одной системой трещин при расстоянии между ними более 1 м;

- *среднетрешиноватые* — с двумя системами взаимно пересекающихся трещин при расстоянии между ними более 1 м;
- *сильнотрешиноватые* — с несколькими системами взаимно пересекающихся трещин при средней частоте расположения трещин до 0,5 м;
- *весьма сильнотрешиноватые* — с несколькими системами трещин, расположенных на расстоянии менее 0,2 м одна от другой.

Устойчивость пород кровли длинной очистной выработки в большой степени зависит от угла между линией очистного забоя и направлением основной трещиноватости. Этот угол называют *углом встречи*. Одни и те же породы, слагающие кровлю, в зависимости от угла встречи могут быть устойчивыми или неустойчивыми. Это объясняется тем, что сдвигение пород кровли в первую очередь происходит по уже имеющимся трещинам.

Трещины основной природной трещиноватости имеют выдержанное направление и расположены параллельно. Они разбивают породы на ряд блоков, которые при благоприятных условиях легко отделяются друг от друга. При совпадении линии очистного забоя с направлением основной трещиноватости блоки породы зависают вдоль забоя по всей длине лавы.

1.2.5. Устойчивость обнажений горных пород

Свойство горных пород образовывать устойчивые обнажения при ведении горных работ называется *устойчивостью* (табл. 1.2). Устойчивым считается такое состояние обнаженного незакрепленного участка массива пород, при котором в течение необходимого по условиям производства времени не происходит обрушения или сползания пород, а величина смещения обнаженной поверхности или ее части не выходит за допустимые пределы.

Устойчивость пород определяется их способностью не разрушаться при обнажении под действием собственного веса и внутренних напряжений вблизи обнажений. Различают кратковременную и длительную устойчивость обнажений.

Классификация пород кровли по устойчивости

Класс кровли	Характеристика устойчивости
Неустойчивая	Без применения крепи не дает устойчивых обнажений, обрушается вслед за подвиганием лавы
Слабоустойчивая	В призабойной полосе шириной до 1 м устойчива в течение 2—3 ч
Среднеустойчивая	В призабойной полосе шириной до 2 м устойчива до 1 сут
Устойчивая	В призабойной полосе шириной до 2 м имеет длительную устойчивость до 2 сут
Весьма устойчивая	В призабойной полосе шириной 5—6 м обладает длительной устойчивостью

От устойчивости кровли в значительной степени зависят эффективность выемки пласта, выбор типа и конструкции крепи и способа управления кровлей.

1.2.6. Обрушаемость кровли угольных пластов

Разные породы кровли обладают различной склонностью к обрушению.

При управлении кровлей полным обрушением различают *первую, первичную посадки и вторичную осадку*. Первая посадка производится после отхода длинной очистной выработки от разрезной печи. В зависимости от свойств пород кровля, опирающаяся с четырех сторон на пласт угля, может длительное время не обрушаться, иногда она начинает обрушаться лишь на расстоянии 50—80 м от разрезной печи. Для обрушения прочных пород кровли применяют взрывные работы.

После первой посадки производят регулярное обрушение непосредственной кровли вслед за подвиганием длинной очистной выработки, которое называют *первичной посадкой*.

Породы основной кровли часто зависят в виде консольных плит. По мере подвигания длинной очистной выработки размеры консольной плиты увеличиваются и в некоторый момент она обрушается. Обрушение консольной плиты основной кровли называют *вторичной осадкой*.

Вторичная осадка может отсутствовать, если обрушенные породы непосредственной кровли целиком заполняют выработанное пространство. Если же выработанное пространство заполнено не полностью, то интенсивность обрушений основной кровли тем меньше, чем больше отношение мощности обрушаемых пород непосредственной кровли к мощности пласта ($h_{н.к.}: m$).

При наличии вторичных осадков выделяют первые осадки основной кровли в начале очистной выемки в лавах. При этом площадь обнажения основной кровли значительно больше, чем при последующих периодических осадках. Вследствие этого при первой осадке основной кровли развивается более значительное горное давление, которое частично воспринимается угольным забоем и крепью.

Последовательность и характер развития процессов разрушения пород кровли в длинных очистных выработках определяются структурными особенностями и механическими свойствами осадочных пород.

Таблица 1.3

Классификация пород кровли по обрушаемости

Класс пород	Характеристика пород кровли
I	В непосредственной кровле залегает толща легкообрушающихся пород. Мощность этой толщи, состоящей из одного или нескольких слоев, не меньше 6—8-кратной мощности разрабатываемого пласта
II	В непосредственной кровле залегает толща легкообрушающихся пород мощностью менее 6—8-кратной мощности разрабатываемого пласта. В основной кровле залегают труднообрушающиеся породы, которые обрушаются лишь спустя некоторое время после подвигания очистных работ и обнажения кровли на значительной площади
III	В непосредственной кровле залегает относительно мощная толща труднообрушающихся пород. В отдельных случаях непосредственная кровля отсутствует и над пластом залегает основная кровля, допускающая обнажения на значительной площади
IV	В непосредственной кровле залегают породы, обладающие способностью плавно опускаться без значительных разрывов и трещин (при мощности пласта до 0,8—1,0 м)

На основе обрушаемости пород в б. ВУГИ была разработана классификация пород кровли по обрушаемости (табл. 1.3).

Из классификации видно, что при наличии в непосредственной кровле легкообрушающихся пород мощностью более 6—8-кратной вынимаемой мощности пласта (кровля I класса) внешние нагрузки на крепь формируются только под действием веса этой пачки слоев пород. При этом основная кровля полностью подбучивается обрушившимися породами, плавно опускается (не разрушаясь) и не участвует в нагружении крепи.

Таблица 1.4

Классификация пород кровли б. ВУГИ—ВНИМИ

Класс пород	Характеристика пород кровли
I	Непосредственная и основная кровли представлены значительной толщей слоистых легкообрушающихся пород. Непосредственная кровля обрушается в период каждой посадки, а основная кровля висит над выработанным пространством небольшими пролетами в пределах одного шага посадки непосредственной кровли. Зона опорного давления в пласте распространяется на небольшое расстояние в глубь массива от границы выработанного пространства
II	Непосредственная кровля мощностью 3 — 10 м представлена легкообрушающимися породами, а основная кровля — мощной толщей прочных труднообрушающихся пород. Основная кровля склонна к зависанию на значительных пролетах (до 3—4 шагов посадки кровли в лаве, пролеты до 60 м). Зона опорного давления распространяется на значительное расстояние впереди лавы со стороны падения и восстания от границы выработанного пространства
III	Непосредственная кровля мощностью 3—5 м представлена прочными, труднообрушающимися породами. Выше залегают легкообрушающиеся породы, не склонные к зависанию. Склонность к зависанию над выработанным пространством пород этого типа определяется мощностью и прочностью пород непосредственной кровли. Шаг посадки основной кровли зависит от размеров обрушающихся блоков непосредственной кровли. При мощности пласта до 1,0 м наблюдается плавная посадка кровли в лаве
IV	Непосредственная и основная кровли представлены прочными, труднообрушающимися породами. Эти породы склонны к зависанию над выработанным пространством на больших пролетах (до 60 м и более) и создают значительную зону опорного давления впереди забоя лавы, а также со стороны восстания и падения от границ выработанного пространства

Если указанное условие не выполняется, основная кровля разрушается и крепь не всегда может противостоять нагрузкам, обусловленным весом пород непосредственной и основной кровли.

В 1954 г. классификация б. ВУГИ была дополнена сведениями ВНИМИ (Г.Н. Кузнецов) в части учета шага обрушения пород и зон опорного давления впереди забоя (табл. 1.4).

При разработке крутых пластов, помимо обрушения пород кровли, возможно сползание почвы пласта. С учетом этой возможности б. ДонУГИ была разработана классификация пород, которая приведена ниже (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Классификация пород для крутых пластов

Класс пород	Характеристика пород кровли	Характеристика пород почвы
I	Непосредственно над пластом залегают весьма слабые породы или ложная кровля	Почва неустойчива и склонна к сползанию, ложная почва
II	Непосредственно над пластом залегают легкообрушающиеся породы мощностью не менее 6—8-кратной мощности разрабатываемого пласта	Непосредственная почва состоит из пород средней прочности и весьма прочных, не склонных к сползанию
III	Непосредственно над пластом залегают породы средней прочности, обрушающиеся на высоту, меньшую 6—8-кратной мощности разрабатываемого пласта. В основной кровле залегают труднообрушающиеся породы, обрушение которых начинается после обнажения кровли на значительной площади	Непосредственная почва состоит из пород средней прочности, не склонных к сползанию
IV	Непосредственно над пластом залегают труднообрушающиеся породы, которые могут быть обнажены на значительной площади	Непосредственная почва состоит из пород средней прочности или прочных, не склонных к сползанию
V	Непосредственно над пластом мощностью до 0,7 м залегают породы, обладающие свойством плавно, без разрывов и обрушений опускаться на почву	Породы почвы не склонны к сползанию и обладают способностью к пучению
VI	Непосредственно над пластом залегают труднообрушающиеся породы, склонные к сползанию	Непосредственная почва состоит из слабых пород

Опыт разработки угольных месторождений показал, что основная кровля оказывает большое влияние на работу длинных очистных и примыкающих к ней подготовительных выработок. Основные кровли разделяют на две подгруппы: *легкоуправляемые* и *трудноуправляемые*.

К *легкоуправляемым* относят кровли, не дающие вторичных осадок. Они характеризуются тем, что между угольным пластом и основной кровлей залегает непосредственная кровля, состоящая из легкообрушаемых пород мощностью более 3—4-кратной мощности угольного пласта, которая при обрушении способствует прогибу основной кровли.

К *трудноуправляемым* относят кровли, шаг первичных и вторичных осадок которых превышает 30 м при наличии непосредственной кровли, состоящей из легкообрушаемых пород мощностью менее 4-кратной мощности пласта. Трудноуправляемая кровля обычно представлена породами одного литологического типа (песчаники, известняки, песчанистые сланцы), с пределом прочности на одноосное сжатие более 70 МПа.

1.2.7. Технологические характеристики угольных пластов

Угольные пласты по мощности разделяют на следующие группы: *весьма тонкие* — до 0,7 м, *тонкие* от 0,71 до 1,2 м, *средней мощности* от 1,21 до 3,5 м и *мощные* — свыше 3,5 м.

С целью создания и выбора средств комплексной механизации очистных работ Гипроуглемашем было предложено разделять угольные пласты по мощности на семь групп:

- *первая* — пласты мощностью до 0,6 м, для которых еще не созданы средства комплексной механизации (исключение составляют пологие пласты, где можно применять бурошнековую выемку);
- *вторая* — пласты мощностью 0,6—0,9 м, для которых созданы механизированные комплексы, но их производитель-

ность значительно сдерживается из-за стесненности рабочего пространства. При этом ввиду малых размеров рабочего пространства по высоте нет возможности создавать надежную конструкцию машины и, кроме того, зазоры между верхняками крепи, корпусом комбайна и конвейером незначительны. В таких условиях нормальная эксплуатация комплекса нарушается, особенно при неровностях кровли и почвы. Поэтому корпус комбайна размещают за рамой конвейера или в уступе забоя, что приводит к изменению схемы компоновки комплекса. На пластах такой мощности практикуется также выемка с присечкой боковых пород с последующим обогащением угля;

- *третья* — пласты мощностью 0,9—1,3 м, при разработке которых корпус комбайна может располагаться над конвейером при наличии в корпусе комбайна продольной ниши (над потоком угля) по всей его длине;

- *четвертая* — пласты мощностью 1,3—2,0 м, при разработке которых корпус комбайна может располагаться над рамой конвейера. Пласты такой мощности имеют наиболее благоприятные условия для высокопроизводительной работы комплексов;

- *пятая* — пласты мощностью 2,0—3,5 м, имеющие благоприятные условия для разработки. Однако из-за активного проявления отжима в ряде случаев требуется вводить в конструкцию крепи выдвижные подпорные устройства;

- *шестая* — пласты мощностью 3,5—5,0 м, которые можно разрабатывать слоями, однако на пологих пластах возможна их разработка в один слой механизированным комплексом с обрушением кровли или с выпуском подкровельной пачки угля; на крутых пластах для выемки слоями должны создаваться комплексы или щитовые агрегаты с закладкой выработанного пространства;

- *седьмая* — пласты мощностью более 5 м, разработка которых производится слоями с применением комплексов и агрегатов, созданных для пластов средней мощности.

От угла падения пласта зависят характер проявления гравитационных сил и способ транспортирования угля в лаве. Поэтому при выборе выемочной машины, крепи и средств доставки угля следует учитывать критический угол падения пласта при условиях скольжения угля и металлических частей оборудования (табл. 1.6).

Угольные пласты по углу падения разделяют на четыре группы: *пологие* — до 18° , *наклонные* — от 19 до 35° , *крутонаклонные* — от 36 до 55° и *крутые* — от 56 до 90° .

Наиболее благоприятные условия для применения механизированных комплексов имеют пласты с углом падения от 0 до 12° , где гравитационные силы не оказывают влияния на выбор конструкции оборудования при комплексной механизации. Разработка пласта может производиться по простиранию, восставанию и падению.

На пластах с углом падения от 13 до 18° разработка производится преимущественно по простиранию.

Доставка угля на пластах с углом падения от 11 до 35° (табл. 1.6) возможна по эмалированным и стальным листам. В этих условиях можно применять комплексы, созданные для работы на пластах с углами падения до 35° , но имеющие специальные связи для соединения смежных секций крепи и конвейера и автоматизированные предохранительные лебедки для удерживания комбайна. В механизированных комплексах применяются скребковые конвейеры, позволяющие на пластах с углом падения до 35° управлять процессом доставки угля.

Таблица 1.6

Значения критического угла падения пласта

Поверхность скольжения	Коэффициент трения	Критический угол, град
Уголь по почве	0,7—0,8	35—38
Уголь по стальным листам	0,3—0,5	17—25
Антрацит по стальным листам	0,27—0,3	15—17
Антрацит по эмалированным листам	0,19—0,23	11—13

Разработка пластов с углом падения от 46 до 90° представляет наибольшие трудности вследствие возможности сползания почвы и значительного влияния гравитационных сил.

1.2.8. Свойства угля как объекта разрушения

Выбор способов и средств разрушения углей в большой степени предопределяет технологию выемки в длинных очистных выработках. Важную роль в выборе средств разрушения играют свойства углей.

Свойства углей оценивают применительно к конкретному процессу разрушения. При механическом разрушении важно знать связь между показателями механических свойств углей и характеристиками процесса разрушения. В качестве характеристики процесса разрушения используют *сопротивляемость углей разрушению*, под которой понимают способность углей противостоять различного рода механическим воздействиям.

Сопротивляемость углей разрушению зависит от природных факторов, характеризующих свойства углей, и от горно-технических, предопределяющих состояние угля в массиве в момент очистной выемки.

Из природных факторов на механические свойства углей оказывают влияние следующие: степень метаморфизма, трещиноватость угля, строение пласта, его мощность и т.д. К горно-техническим факторам, связанным с ведением горных работ, относятся: ширина призабойного пространства, тип, плотность и жесткость призабойной крепи, способ управления кровлей, скорость подвигания забоя, способ выемки угля, время обнажения забоя, направление выемки и др.

Рассмотрим влияние природных факторов.

Степень метаморфизма определяет качественные характеристики углей и их механические свойства. Наибольшей сопротивляемостью разрушению обладают угли ранней стадии метаморфизма (ввиду их значительной вязкости) и высокометаморфизированные антрациты (отличающиеся большой твердостью).

Трещиноватость эндогенного и экзогенного происхождения существенно влияет на сопротивляемость углей разрушению. Эндогенные трещины образуют обычно две взаимно перпендикулярные, хорошо прослеживающиеся на больших участках системы, каждая из которых, в свою очередь, перпендикулярна к плоскостям напластования. Одну из них называют *основной*, другую — *торцевой*. Основная система параллельна простиранию пластов, а торцевая — линии их падения. Обе системы принято называть *кливажем*. Наряду с главными кливажными трещинами в ряде случаев прослеживаются менее выраженные, второстепенные системы трещин.

Наличие кливажных трещин снижает сопротивляемость угля разрушению. При этом важное значение имеет ориентация режущего инструмента относительно главных кливажных трещин. Эксперименты показывают, что наиболее эффективно уголь разрушается при резании под углом 45° к направлению главных трещин.

Экзогенные трещины образуются в уже сформированном и разбитом первичной трещиноватостью массиве пород и рассекают его вкрест простирания на большие разнообразные по форме отдельности.

Строение угольного пласта также влияет на сопротивляемость угля разрушению. Различают угольные пласты: простого строения с чистыми углями; с породными прослойками, соизмеримыми по сопротивляемости резанию с углями, с крепкими породными прослойками; с углями, имеющими мелкораздробленные твердые включения; с углями, имеющими консолидированные крупные твердые включения (линзы, валуны и т.д.); сложного строения, имеющие прослойки и твердые включения.

1.2.9. Отжим и сопротивляемость угля резанию

Нормальное напряжение в угольном пласте до проведения выработки равно давлению, оказываемому на этот пласт вышележащими горными породами. В результате проведения выработки происходит перераспределение напряжений. Изменение напряженного состояния в зоне обнажения, в частности появле-

ние сил бокового распора, может вызвать смещение пласта в сторону выработанного пространства. Если деформации растяжения достигают предельного значения, то развиваются трещины отжима, нормальные к плоскости напластования и параллельные обнаженной поверхности. Разрушение угля в этом случае происходит на куски столбчатой формы и может быть названо *явным отжимом* (зона I на рис. 1.4, б). В остальной части зоны отжима деформации растяжения не достигают предельных значений, и уголь в ней не подвергается заметному разрушению. Эта часть зоны распространения деформаций растяжения может быть названа *зоной неявного отжима* (зона II). Если бы отжим всегда завершался разрушением, то исполнительные органы выполняли бы только погрузку и дробление больших кусков разрушенного угля. Однако чаще всего деформации угля у забоя не достигают предельных, разрушающих значений. Тем не менее и в этом случае деформации растяжения ослабляют массив и приводят к уменьшению сопротивляемости угля резанию в зоне шириной, примыкающей к забою.

Для описания свойств пород и угля необходимо знать характеристики, которые давали бы представление об объекте разрушения как о реальной среде. Такие характеристики можно получить интегральным методом путем определения сопротивляемости пород и угля разрушению в забое с помощью специальных испытательных приборов.

По рекомендациям б. ИГД им. А.А. Скочинского для оценки разрушаемости угля определяют следующие показатели: сопротивляемость угля резанию, включая сопротивляемость резанию прослоек и включений; удельное содержание твердых включений S^* , их прочностные свойства и сопротивляемость резанию; абразивность угольного пласта ρ ; хрупко-пластические свойства угля; способность угля к измельчению. Под *сопротивляемостью* углей резанию понимают их способность противостоять воздействиям при резании.

Сопротивляемость углей резанию изменяется в пределах 0,3—6,0 кН/см. Удельное содержание твердых включений в пластах обычно изменяется от долей процента до 10—12 %, абразивность — от 10 до 1500 мг/км, а показатель способности углей к измельчению — от 0,4 до 1,2.

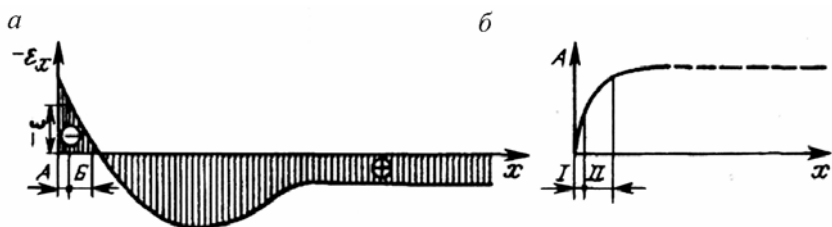


Рис. 1.4. Схема образования отжима угля:

a — деформации угля в массиве; *б* — сопротивляемость угля резанию; *x* — расстояние от забоя в глубь массива

В зоне отжима шириной *b* сопротивляемость угля резанию иная, чем в глубине массива. Поэтому для практических расчетов применяют два показателя резания:

- сопротивляемость угля разрушению при резании *A* в неотжатой зоне массива;
- сопротивляемость угля резанию *A_в* в призабойной части массива.

Величина *A* используется в качестве основного классификационного признака разрушаемости угля.

Поскольку исполнительные органы выемочных машин частично или полностью разрушают уголь в зоне отжима, сопротивляемость резанию при ширине захвата машины *r* (Н/см) определяется из выражения

$$A_{\text{в}} = 10k_{\text{от}} A,$$

где *k_{от}* — коэффициент отжима, учитывающий снижение сопротивляемости резанию в зоне отжима при данной ширине захвата по сравнению с сопротивляемостью резанию неотжатого массива.

По данным Е.З. Позина, зависимость коэффициента отжима от ширины захвата машины *r* (выраженной в долях от мощности пласта *m*) может быть описана смещенной гиперболой вида

$$k_{\text{от}} = k_{\text{от}0} + \frac{\frac{r}{m} - c}{\frac{r}{m} + d},$$

где $k_{от 0}$ — значение коэффициента отжима на кромке забоя; c и d — коэффициенты, зависящие от свойств угля и горно-технических условий выемки.

По разрушаемости угли разделяются на восемь классов (по Е.З. Позину) (табл. 1.7).

Таблица 1.7

Категория углей по разрушаемости	Классы углей по сопротивляемости резанию		Марки углей и наиболее представительные районы их распространения
	хрупких	вязких	
Весьма слабые	I	—	Угли коксовых марок и весьма слабые антрациты украинской части Донбасса
Слабые	II	—	Некоторые антрациты и угли коксовых марок украинской части Донбасса; угли коксовых марок восточной части Донбасса и месторождений Дальнего Востока
Средней крепости	III	II	Антрациты и некоторые угли коксовых марок украинской части Донбасса; угли Кузнецкого и Карагандинского бассейнов; бурые угли Подмосковского, Челябинского бассейнов и месторождений Дальнего Востока; угли Воркутинского месторождения
Выше средней крепости	IV	III	Угли марок Г, Д и некоторые антрациты украинской части Донбасса; антрациты восточной части Донбасса; угли Кузнецкого и Карагандинского бассейнов; бурые угли Подмосковского бассейна и месторождений Дальнего Востока; угли Интинского месторождения
Крепкие	V	IV	Угли марок Г, Д украинской части Донбасса; антрациты восточной части Донбасса; некоторые угли Кузнецкого и Карагандинского бассейнов; угли марок Г, Д месторождений Дальнего Востока
Весьма крепкие	—	V—VI	Угли марок Г, Д украинской части Донбасса; некоторые антрациты восточной части Донбасса; угли Кизеловского бассейна; угли марок Г, Д месторождений Дальнего Востока
Особо крепкие	—	VII—VIII	Некоторые угли марок Г, Д украинской части Донбасса; угли марок Г, Д западной части Донбасса; угли Кизеловского бассейна