

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИСЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

---

**А.Б. Ефременков, А.А. Казанцев, М.Ю. Блащук**

**ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ.  
ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ**

**ЧАСТЬ 2**

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов  
Российской Федерации по образованию в области горного дела  
в качестве учебного пособия для студентов вузов,  
обучающихся по специальности «Горные машины и оборудование»  
направления подготовки «Технологические машины и оборудование»*

Издательство  
Томского политехнического университета  
2012

УДК 622.002.5(075.8)

ББК 33.1-5я73

E92

**Ефременков А.Б.**

E92 Горные машины и оборудование. Введение в специальность: учебное пособие. Часть 2 / А.Б. Ефременков, А.А. Казанцев, М.Ю. Блащук; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 115 с.

ISBN 978-5-4387-0163-7 (ч. 2)

ISBN 978-5-4387-0077-7

Вторая часть посвящена более детальному рассмотрению транспортных и стационарных машин, применяемых на горных предприятиях, а также машин и оборудования для процессов обогащения, технологий переработки. Приведена первичная информация о добыче жидких и газообразных полезных ископаемых.

Предназначено для студентов горных специальностей.

**УДК 622.002.5(075.8)**

**ББК 33.1-5я73**

*Рецензенты*

Доктор технических наук, профессор КузГТУ

*Г.Д. Буялич*

Доктор технических наук

заведующий лабораторией угольной геотехники ИУ СО РАН

*В.В. Аксенов*

ISBN 978-5-4387-0163-7 (ч. 2)

ISBN 978-5-4387-0077-7

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ Юргинский технологический институт (филиал), 2012

© Ефременков А.Б., Казанцев А.А., Блащук М.Ю., 2012

© Обложка. Издательство Томского политехнического университета, 2012

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	4
<b>ГЛАВА 1. Транспортные машины и комплексы на шахтах и рудниках</b>	5
1.1. Общие сведения	5
1.2. Конвейерный транспорт	8
1.3. Локомотивный транспорт	10
1.4. Гидравлический и пневматический транспорт	19
1.5. Транспортное оборудование поверхностных комплексов шахт и рудников	24
<b>ГЛАВА 2. Стационарные машины и установки</b>	27
2.1. Общие сведения	27
2.2. Вентиляторные установки	27
2.3. Шахтные водоотливные установки	36
2.4. Шахтные пневматические установки	39
2.5. Установки для кондиционирования рудничного воздуха	43
2.6. Подъемные установки	46
<b>ГЛАВА 3. Обогащение полезных ископаемых</b>	54
3.1. Общие сведения и основные понятия	54
3.2. Методы и процессы обогащения полезных ископаемых, область их применения	56
3.3. Оборудование для обогащения полезных ископаемых	59
<b>ГЛАВА 4. Общие сведения о добыче жидких и газообразных полезных ископаемых (нефти и газа)</b>	81
4.1. Физико-химические свойства нефти, природного газа и пластовой воды	81
4.2. Основные сведения о нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождениях	89
4.3. Бурение нефтяных и газовых скважин	91
4.4. Понятие о разработке нефтяных месторождений	101
4.5. Понятие об эксплуатации газовых скважин	107
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	112
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b>	114

## ВВЕДЕНИЕ

Горное дело относится к одному из основных видов человеческой деятельности, обеспечивающих существование и уровень развития цивилизации. Данный курс «Введение в специальность» является одним из первых, формирующий профиль подготовки инженера по направлению (специализации) «Горные машины и оборудование». Задачей его изучения является получение знаний об основных принципах добычи различных ископаемых подземным, открытым, геотехнологическим и другими способами.

Горная промышленность характеризуется большими масштабами добычи самых разных видов полезных ископаемых. Сегодня по всему миру построены мощные шахты и рудники, карьеры и разрезы, прииски и обогатительные фабрики, оснащенные современными машинами и комплексами, проектирование, создание и эксплуатацию которых обеспечивают горные инженеры-механики. Специалисты данного профиля должны иметь соответствующую подготовку, специальные технические знания и навыки и призваны творчески мыслить и решать многочисленные и нередко очень сложные вопросы механизации и автоматизации горных работ.

В связи с вышеизложенным очень важное значение имеет изучение в первом семестре курса «Введение в специальность». Изучение данной дисциплины вводит поступивших в ВУЗ студентов в мир их будущих учебных, научных и производственных задач.

# 1. ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ И КОМПЛЕКСЫ НА ШАХТАХ И РУДНИКАХ

## 1.1. Общие сведения

Шахтный транспорт представляет один из сложнейших производственных процессов в подземной добыче полезных ископаемых, трудоемкость которого составляет около 25 % и даже более общей трудоемкости работ на шахтах и рудниках в связи с большой протяженностью горных выработок, достигающей нескольких десятков километров, по которым транспортируются грузы (руда, уголь, пустая порода, оборудование, материалы и др.).



*Рис. 1.1. Протяженность горных выработок*

Подземный транспорт на шахтах и рудниках предназначен:

- для приема и транспортирования полезного ископаемого из очистных и подготовительных забоев до околоствольного двора (на шахтах и рудниках с вертикальным стволом) или до поверхности (на шахтах и рудниках с наклонным стволом или штольней);
- для приема и транспортирования полезного ископаемого, породы или горной массы из подготовительных забоев до транспортных средств, доставляющих полезное ископаемое из очистных забоев (при

дальнейшем совместном их транспортировании), или до околоствольного двора, или поверхности (при раздельном их транспортировании);

- транспортирования различных видов оборудования и материалов от околоствольного двора или поверхности (при наличии наклонного ствола или штольни) до очистных и подготовительных забоев и других производственных объектов в шахте, а также в обратном направлении, включая погрузку, перегрузку и разгрузку перевозимых грузов;
- транспортирования закладочных материалов от места их поступления в шахту или производства в шахте до мест закладки в выработанное пространство;
- перевозки людей от околоствольного двора или поверхности (при наличии наклонного ствола или штольни) к местам работы в шахте и в обратном направлении в начале и конце смены, а также перевозки лиц технического надзора и ремонтных рабочих по шахте в течение смены.

Различают два вида транспорта: внутренний – для перевозки грузов и людей в пределах горного предприятия и внешний – для перевозки полезного ископаемого с горного предприятия к сети поверхностных дорог или непосредственно потребителю, а также для доставки на горное предприятие машин, оборудования и материалов, необходимых для обеспечения его производственной деятельности.

Внутренний транспорт в зависимости от вида груза разделяют на основной – для перевозки полезного ископаемого (горной массы) от забоя до средств внешнего транспорта и вспомогательный – для доставки машин, оборудования, материалов, а также людей к месту работы и обратно. При проведении горных выработок пустую породу, поступающие в шахту закладочные материалы можно перевозить как основным, так и вспомогательным транспортом.

Число наименований вспомогательных грузов, используемых в угольных и рудных шахтах, превышает 2000. К ним относятся лесоматериалы (шпалы, стойки, затяжки), элементы металлической крепи (арочная крепь, балки), оборудование (комбайны, конвейеры, двигатели, комплексы), насыпные материалы (щебень, песок, цемент, инертная пыль), наливные материалы, длиномерные материалы (лес, рельсы, трубы). Для перевозки таких материалов, обладающих определенными габаритами (длиной, высотой, шириной) и значительной массой, требуются специальные транспортные устройства и приспособления с соответствующими параметрами. Трудоемкость доставки вспомогательных грузов составляет 30–40 % общей трудоемкости работ на подземном транспорте.

По территориальному признаку и месту работы внутренний транспорт, кроме того, разделяют на подземный (забойный, участковый, магистральный и по наклонным стволам) и поверхностный (от ствола до внешнего транспорта) транспорт.

По способу действия все транспортные установки делят на две группы: 1) непрерывного и 2) периодического (циклического) действия.

*Транспортные установки непрерывного действия* могут создавать непрерывный поток переменного груза. К таким установкам относят все типы конвейеров, устройства гравитационного (самотечного), гидравлического и пневматического транспорта.

*Транспортные устройства периодического действия* перемещают груз отдельными порциями, размещаемыми в транспортных сосудах (вагонетках, скипах, платформах, поддонах, контейнерах и др.). К таким транспортным средствам относят локомотивный, автомобильный транспорт и другие.

Перемещение горной массы из забоев до рельсовых путей называют **доставкой**, по рельсовым горизонтальным и наклонным (до 30°) путям – откаткой; по шахтным стволам, а также из карьеров в скипах или клетях (независимо от угла наклона) – **подъемом**.

Груз перемещают: скольжением (по почве, желобу и т.п.); на грузонесущих органах (ленте, ковше и др.), относительно которых груз неподвижен; в ёмкостях (вагонетках, автомобилях и т.п.); в среде (воде, воздухе).

Основные средства транспорта: конвейеры (скребковые, ленточные, пластинчатые, винтовые, вибрационные и др.), пневматические и гидравлические установки; подвесные воздушно-канатные дороги; скреперные установки; локомотивный транспорт; автомобильный транспорт; установки для откатки канатом по рельсовым путям; транспорт самоходными вагонетками.

К вспомогательным средствам транспорта относятся перегружатели, питатели, бункерные затворы, опрокидыватели, компенсаторы высоты, толкатели, путевые устройства и др.

## 1.2. Конвейерный транспорт

Конвейерные установки характеризуются непрерывностью процессов перемещения грузов и конструктивно состоят из грузонесущего и тягового органов, привода (приводов), вспомогательного оборудования.

В соответствии с назначением и местом установки их подразделяют на забойные, штрековые (участковые), уклонные, бремсберговые, магистральные, подъемные и специальные.

Наибольшее распространение имеют скребковые, ленточные и пластинчатые конвейеры. Скребковые конвейеры применяются для доставки угля из очистных забоев угольных шахт, а также в специальном исполнении – для доставки руды. Применяются для доставки угля или породы из забоев подготовительных выработок. Основные сведения о них приведены в таблице 4.8 пункта 4.7.1 первой части учебного пособия [4].

Ленточные конвейеры обеспечивают транспортировку грузов специальной лентой, движущейся по роликоопорам и являющейся одновременно несущим и тяговым органом, и подразделяются на стационарные, передвижные, общего назначения, подземные, специальные, с верхней, или нижней рабочей ветвью, плоской или желобчатой лентой, одно- или многоприводные, с разгрузкой на приводном барабане или в определенных зонах. Основным и наиболее дорогостоящим элементом ленточных конвейеров является лента. Ленты бывают резинотканевые, резинотросовые и цельнотканевые. Кроме опорных роликов в комплект оборудования входят также центрирующие ролики. Приводной блок состоит из одного или нескольких барабанов, редуктора, муфты и электродвигателя. Для создания необходимого натяжения ленты в настоящее время применяют автоматические и неавтоматические натяжные устройства с электрическим, гравитационным и гидравлическим приводами. Для увеличения тяговых способностей привода устанавливают отклоняющие барабаны (увеличивают угол охвата) и применяют футеровку приводных барабанов – нанесение покрытия, улучшающего сцепление барабана с лентой.

С целью создания достаточно длинных конвейеров с легкой и дешевой лентой были разработаны ленточно-канатные и ленточно-цепные конвейеры. В них роль грузонесущего органа выполняет лента, а тягового – канаты или цепь. Но практика эксплуатации показала, что лента специальной конструкции стоит дороже, а конвейеры сложнее и менее надежны, чем ленточные. Поэтому распространения они не получили.

Серийно выпускаются более 30 типоразмеров ленточных конвейеров, предназначенных для транспорта по выработкам с углом наклона от  $-16^\circ$  до  $+18^\circ$ , (крутонаклонные конвейеры до  $+25^\circ$ ), с шириной ленты от 800 до 2000 мм. Длина конвейеров колеблется от 500 до 2000 м и более, мощность привода от 40 до 2000 кВт, приемная способность от 6,5 до 53 м<sup>3</sup>/мин.

По назначению ленточные конвейеры разделяют на грузовые и грузоподъемные, по времени работы на одном месте – стационарные и передвижные. Для работы непосредственно у очистных или подготовительных забоев используют телескопические конвейеры, позволяющие без остановки конвейера с помощью специальных устройств изменять (укорачивать) их длину на 45–50 м, после чего производится остановка конвейера и «запасованный» отрезок конвейерной ленты длиной до 50 м удаляется, а лента края ленты вновь стыкуются.

Для транспортировки грузов при углах от +25 до 35–40° применяют специальные крутонаклонные конвейеры: с рифленой лентой (20 – 30°), с повышенной лотковостью (до 25°) и с прижимной лентой (35–40°).

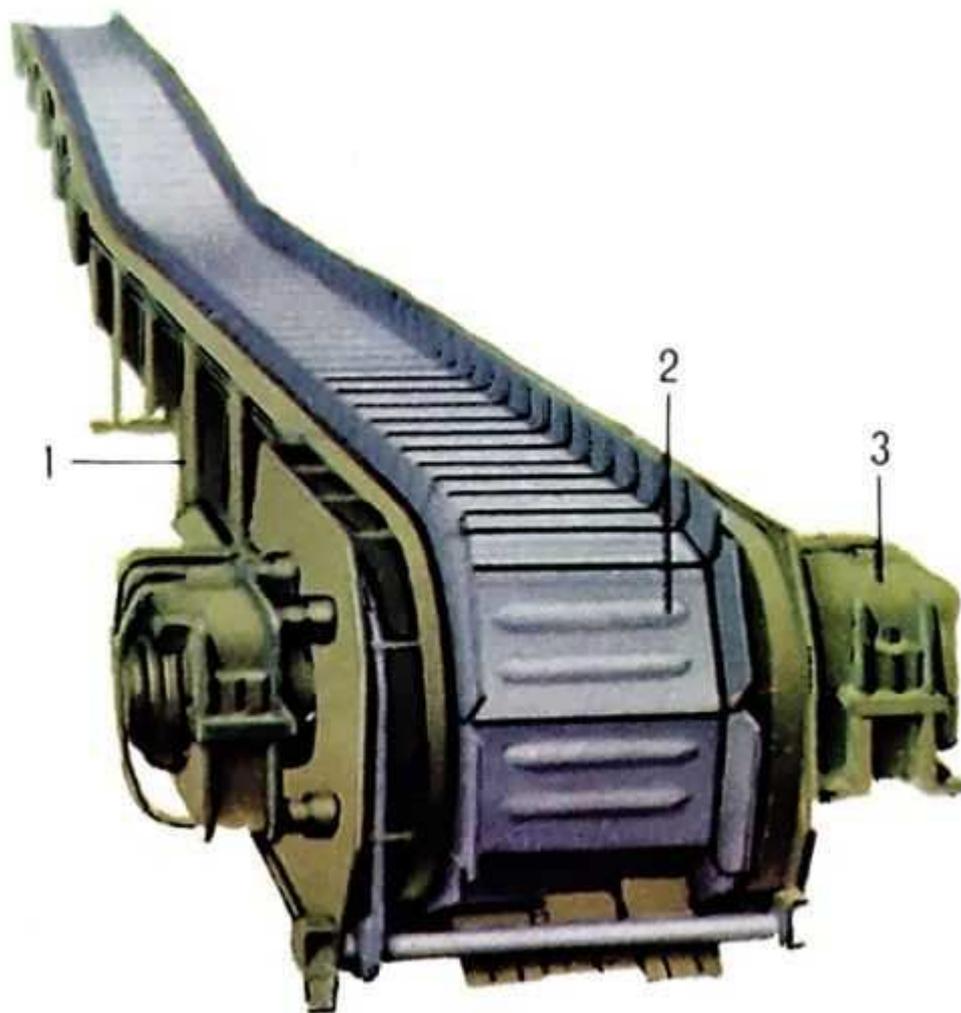
Пластинчатые конвейеры находят применение там, где применение ленточных конвейеров затруднительно, т.е. в горных выработках криволинейной формы в плане, а также транспортировки крупнокусковых и абразивных грузов.

Пластинчатые конвейеры состоят из следующих элементов: грузонесущее полотно, ходовые роликоопоры, тяговый цепной орган, направляющие, опорная рама. Грузонесущее полотно формируется из ходовых кареток и штампованных листовых пластин прямоугольной, трапециевидной, полукруглой или просто округленной формы. Тяговый орган изготавливается из круглозвенных или пластинчатых цепей. Основной ствол, кроме направляющих и общей рамы, имеет также ряд специальных поперечных связей и опорных ступеней. Для пластинчатых конвейеров обязательна установка приводных и натяжных станций, причем последние должны быть винтового или гидравлического типа. В зависимости от конструктивного исполнения грузонесущего органа подземные пластинчатые конвейеры подразделяют на жесткие и изгибающиеся, соответственно с применением в прямолинейных или криволинейных горных выработках.

В настоящее время на угольных шахтах транспорт по участковым выработкам на 75–80 % конвейеризирован. Имеются шахты, особенно крупные, такие как «Распадская» и «Воргашорская», на которых полезное ископаемое от очистного забоя до погрузочных пунктов на поверхности выдается с помощью мощных конвейерных систем, оснащенных автоматической аппаратурой контроля и управления.

В настоящее время локомотивный транспорт широко используется для перемещения грузов на большие расстояния по горизонтальным или имеющим незначительный уклон подземным горным выработкам и структурно включает в себя рельсовые пути, подвижной состав, ис-

точники энергии, тяговые подстанции и сети, гаражи и различное вспомогательное оборудование.



*Рис. 1.2. Пластинчатый конвейер П-65М: 1 – рама (опора); 2 – пластинчатое полотно; 3 – приводная станция*

### **1.3. Локомотивный транспорт**

Рельсовые пути имеют особое значение в транспортном комплексе шахты или рудника, так как от их состояния зависят скорость движения основных технических средств, а следовательно, производительность и экономичность откатки в целом. В современных условиях рельсовые пути устраивают подобно железнодорожному полотну поверхностных дорог, при этом используют специальные легкие рельсы подземного исполнения.

Подвижной состав формируется из вагонеток и локомотивов. Вагонетки применяются в основном для перевозки минерального сырья, а

в отдельных случаях (при соответствующей конструкции) и для транспортировки людей, вспомогательных грузов. Перемещение насыпных грузов осуществляется в вагонетках с опрокидным или глухим кузовом. Используются также вагонетки с откидными днищами, разгружающиеся автоматически над разгрузочными ямами в околоствольном дворе. Кузов и рама вагонеток опираются на специальные оси с колесами и подшипниками – полускатки. Соединение вагонеток производится ручными или автоматическими сцепками.



*Рис. 1.3. Вагонетка с опрокидным кузовом*

Локомотивы в соответствии с видом применяемой энергии разделяют на электровозы, воздухозовы, дизелевозы, тепловозы, гировозы. Контактные, высокочастотные и контактно-кабельные электровозы обеспечиваются энергоснабжением от контактной сети или специального кабеля. Аккумуляторные электровозы, воздухозовы, дизелевозы и гировозы имеют автономные источники энергии: батареи постоянного тока, баллоны сжатого воздуха, топливные емкости, тяжелые вращающиеся маховики. Контактно-аккумуляторные и дизельные электровозы эксплуатируются с использованием комбинированных источников энергии.

Дизелевозы широко используются на зарубежных шахтах и рудниках, в странах СНГ они нашли пока ограниченное применение.

Массовый выпуск рудничных аккумуляторных электровозов в бывшем СССР был начат в 1932 г., а контактных – в 1935 году. С этого

времени непрерывно совершенствовалась их конструкция и расширялось производство.



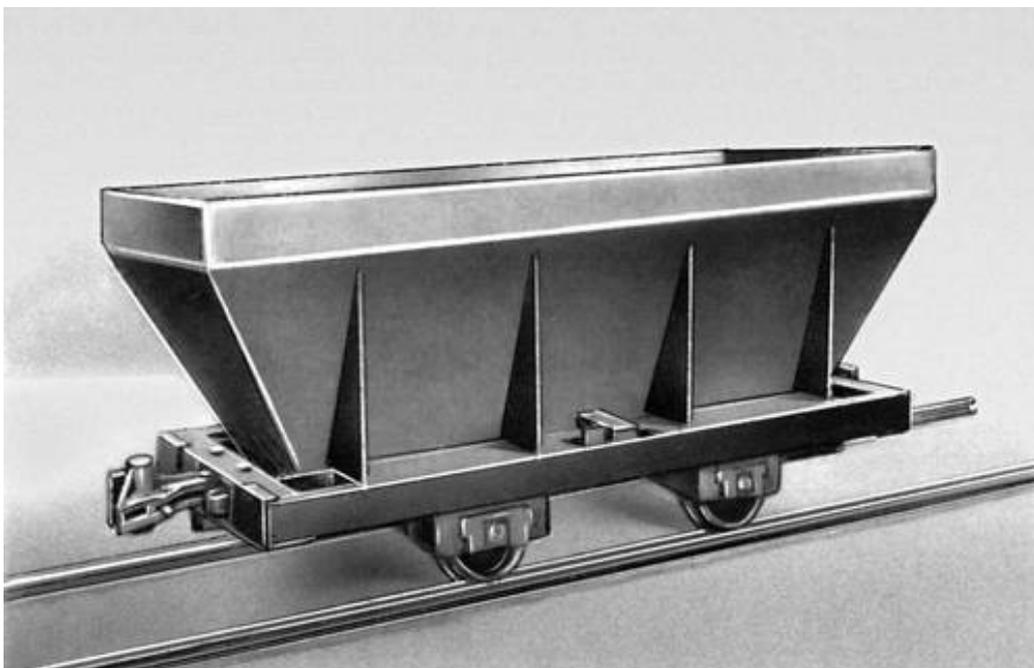
*Рис. 1.4. Вагонетка с глухим кузовом*



*Рис. 1.5. Вагонетка с откидным бортом*



*Рис. 1.6. Вагонетка людская*



*Рис. 1.6. Вагонетка саморазгружающаяся с откидным днищем и автосцепкой*

Каждый рудничный электровоз характеризуется следующими основными параметрами: сцепным весом, жесткой базой, шириной колеи, габаритами, скоростью, силой тяги, мощностью двигателей, длительной и часовой силой тока тяговых двигателей.

Клиренс, или дорожный просвет – расстояние между нижним краем кожуха редуктора и головкой рельса. Величина клиренса влияет на геометрическую проходимость на криволинейных в профиле участках.

Параметры контактных электровозов более высокие, чем аккумуляторных. Например, скорость движения контактных электровозов составляет от 8 до 13 км/ч по сравнению с 6–8 км/ч – у аккумуляторных. Удельные тяговые усилия контактных электровозов на 30–46 % выше, удельная мощность в 2–3 раза больше, а эксплуатационные расходы в 1,5–2 раза ниже, чем у аккумуляторных электровозов. Благодаря этому контактные электровозы более эффективны в эксплуатации.

На шахтах угольной и горнорудной промышленности применяют откатку контактными электровозами при напряжении 250 В постоянного тока, лишь на крупных рудниках черной и цветной металлургии используют напряжение 550 В. Опыт показывает, что при больших расстояниях и большой производительности откатки более высокое напряжение обеспечивает высокие технико-экономические показатели.



*Рис. 1.7. Контактный электровоз К10*

До последнего времени отечественные машиностроительные заводы серийно выпускали контактные электровозы 3КР, 4КР, 7КР1У, 10КР2 и 14КР2. В настоящее время электровозы 7КР1У, 10КР2 и 14КР2 сняты с производства и заменены новыми электровозами К10 (рис. 1.7.), К14 (рис. 1.8.), КТ14 и КТ28.

Малогабаритные контактные рудничные электровозы ЗКР и 4КР предназначены для откатки вагонеток с полезным ископаемым и породой из забоев, подготовительных выработок до главных откаточных штреков, а также для доставки к забоям вспомогательных грузов в шахтах и рудниках, неопасных по газу и пыли. Электровозы также можно использовать для маневровых работ в погрузочных и разгрузочных пунктах и разминовках. Исполнение оборудования электровозов рудничное нормальное (РН).



*Рис. 1.8. Контактный электровоз К14М*

Аккумуляторные электровозы предназначены для транспортирования вагонеток с полезным ископаемым, породой вспомогательными материалами, а также для перевозки людей по главным и вспомогательным откаточным горным выработкам шахт, опасных по газу или пыли, где «Правилами безопасности» разрешено применение электровозов только повышенной надежности (РП) или взрывобезопасных (РВ). Как правило, все электрооборудование аккумуляторных электровозов, за исключением аккумуляторных батарей, имеет взрывобезопасное исполнение, что же касается аккумуляторных батарей, то на большинстве электровозов они имеют исполнение повышенной надежности.

Основными типами электровозов, применяемых на шахтах, являются электровозы со сцепным весом 20, 45, 80 и 160 кН. Соответственно условные обозначения типоразмеров этих электровозов следующие: АК2У; 4,5АРП2М; 5АРВ2; АМ8Д; 2АМ8Д. В настоящее время заводы перешли на изготовление нового параметрического ряда аккумулятор-

ных электровозов со сцепным весом 70, 100, 140 и 280 кН. Этим электровозам даны обозначения АРП7, АРВ7, АРП10, АРП14, АРП28.



*Рис. 1.9. Аккумуляторный электровоз АРП5Т*



*Рис. 1.10. Аккумуляторный электровоз ЭРА 900 П8, преемник АМ8Д*

Электрооборудование электровозов состоит из тяговых двигателей, аппаратуры управления, пусковых сопротивлений, токосъемников, осветительных средств, специальной защиты силовых цепей. Тяговые двигатели являются машинами постоянного тока. При наличии воздушной сети однофазного переменного тока последние получают питание

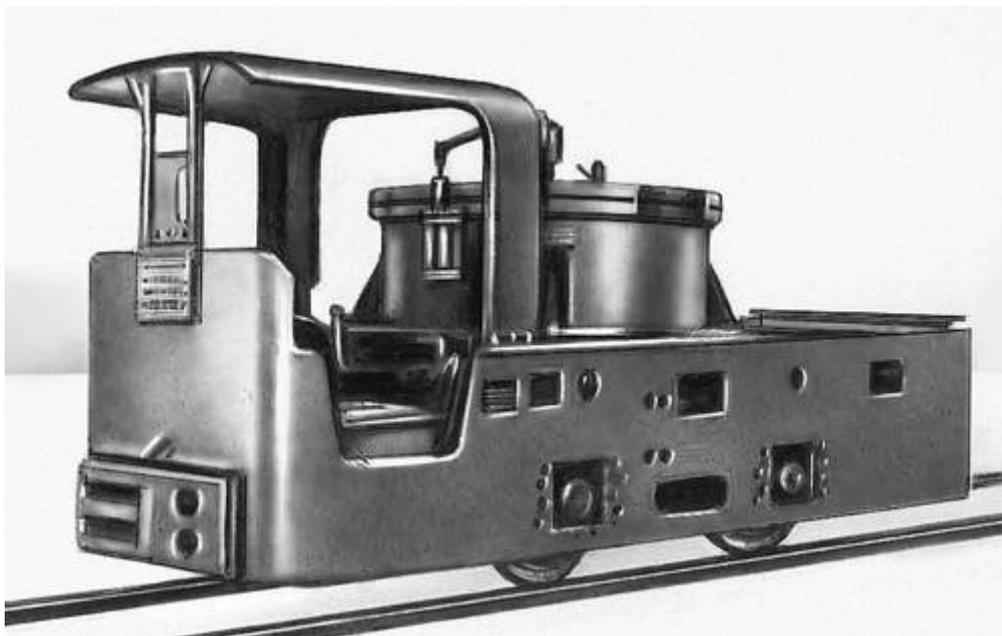
от соответствующих преобразователей. Токосъемники выполняют штанговыми, дуговыми и пантографными. Штанговые оснащены роликовой или ползунковой головкой, перемещающейся по контактному проводу; дуговые осуществляют отбор энергопитания стальной дугой, шарнирно установленной на раме электровоза; пантографные представляют собой пространственную шарнирно-сочлененную рамную конструкцию, оборудованную алюминиевой токосъемной дугой. Питание тяговых двигателей аккумуляторных электровозов на территории стрн СНГ в основном обеспечивается щелочными железоникелевыми аккумуляторами. Они характеризуются большой емкостью, значительным сроком службы, небольшим расходом электролита, малой чувствительностью к коротким замыканиям, недозарядкам и перезарядкам и, в общем, нетребовательны к обслуживанию и хранению.



*Рис. 1.11. Дизелевоз Д10Г*

Комплекс электровозной откатки, кроме рельсовых путей и подвижного состава, оснащается также тяговыми подстанциями с трансформаторами и преобразовательными агрегатами, воздушными контактными проводами. Тяговые подстанции осуществляют электроснабжение контактной сети по специальным питающим кабелям, преобразуя трехфазный ток общей сети в постоянный. Рельсовые пути и отсасывающие кабели выполняют при этом роль обратного провода. Эксплуатация аккумуляторных электровозов обеспечивается зарядными

подстанциями, с зарядными столами с обслуживаемыми батареями. Высокочастотные электровозы оснащаются бесконтактными токоприемниками, индуктивно связанными с тяговым кабелем и выпрямителями, преобразующими ток повышенной частоты в постоянный.



*Рис. 1.12. Гировоз Г6*

### *Монорельсовые дороги*

Монорельсовая дорога – транспортная система, в которой вагоны с пассажирами или вагонетки с грузом перемещаются по установленной на эстакаде или отдельных опорах балке – монорельсу с помощью тяговых канатов или самоходной тяговой тележки. В зависимости от конструкции могут использоваться в горных выработках, искривлённых в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Классификация.

*По типу конструкции:*

- навесные монорельсовые дороги (вагоны опираются на ходовую тележку, расположенную над путевой балкой);
- подвесные монорельсовые дороги (вагоны подвешены к ходовой тележке и перемещаются под монорельсом);
- монорельсовые дороги с боковым подвесом.

*По средствам тяги:*

- с тяговым органом (канатом или цепью);

- с самоходной рельсовой тележкой (с монорельсовым локомотивом);  
*По типу привода локомотива:*
  - электромеханический;
  - пневматический;
  - дизельный;
  - дизельгидравлический.



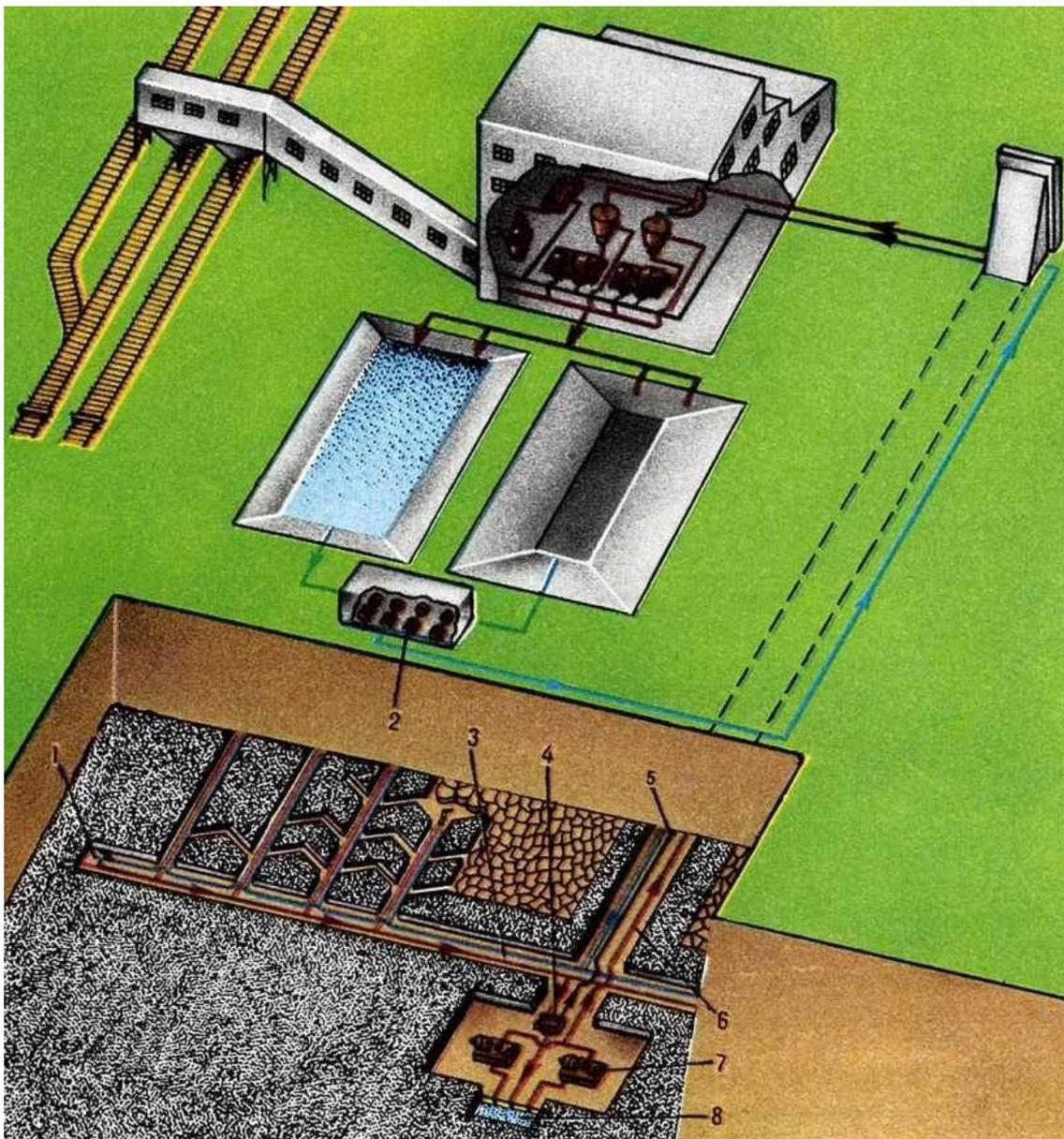
*Рис. 1.13. Дизель-гидравлический локомотив ДПЛ-80 на подвесной монорельсовой дороге*

#### **1.4. Гидравлический и пневматический транспорт**

Гидравлический транспорт применяется в основном на гидрошахтах угольной промышленности и включает в себя самотечные, напорные и комбинированные системы. Самотечные обеспечивают транспортирование гидросмесей по трубам, желобам, лоткам или дренажным каналам с заданным углом наклона. Напорные оснащены системами для создания напора, аппаратами загрузки сыпучих материалов и трубопроводами. Необходимый напор в сети поддерживается специальными машинами: углесосами, землесосами, центробежными и поршневыми насосами, эрлифтами, гидроэлеваторами.

Общая технологическая схема работы гидрошахты с комплексной гидромеханизацией всех основных процессов включает (рис. 1.14.): подачу технологической воды в очистные и подготовительные забои к гидромониторам (рис. 1.15.) с помощью высоконапорных насосов, установленных на поверхности; выдачу гидросмеси самотёком из забоев по желобам в зумпф углесосной камеры, а оттуда по пульповоду на дуговое

сито; обработку крупных фракций угля из шлама на обезвоживающем грохоте и вертикальной центрифуге и выдачу их в железно-дорожные бункера; отвод воды из центрифуги в поверхностные шламовые отстойники для окончательного осветления; выделение мелких фракций угля, отделяемых ситом, в сгустительных воронках, горизонтальных центрифугах и транспортирование их в железнодорожные бункеры.



*Рис. 1.15. Общая технологическая схема работы гидрошахты: 1 – гидромонитор, 2 – высоконапорный насос, 3 – жёлоб, 4 – неподвижный грохот, 5 – ленточный конвейер, 6 – пульповод, 7 – углесос, 8 – зумпф углесосной камеры*

Углесосы и землесосы отличаются от подобных им турбомашин,

которые будут рассмотрены в следующей главе, большими сечениями проходных рабочих каналов и использованием специальных износостойких материалов для изготовления отдельных конструктивных элементов. Гидроэлеваторы и эрлифты, обладая рядом достоинств, не получили большого распространения в практике гидротранспортирования горных пород вследствие их низкого коэффициента полезного действия, который не превышает  $\eta \leq 0,2$ .



Рис. 1.14. Гидромонитор Т521

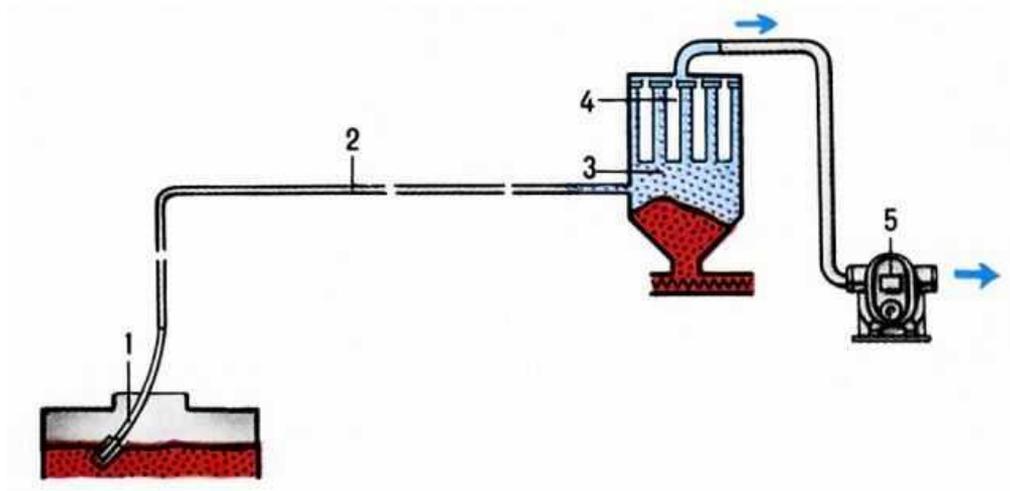


Рис. 1.16. Установка всасывающего действия для перемещения материалов во взвешенном состоянии: 1 – всасывающее сопло с регулируемым устройством для подсоса воздуха, 2 – транспортный трубопровод с гибкими участками, 3 – осадительная камера, 4 – фильтр, 5 – воздушный насос

Пневматические транспортные установки подразделяют на всасывающие, нагнетающие и комбинированные. Во всасывающих установках (рис. 1.16.) воздуходушные устройства располагают в конце транспортного трубопровода. Создаваемое при этом допустимое разрежение не превышает 0,08–0,09 МПа, что ограничивает дальность транспорти-

рования и концентрацию пневмосмеси. Целесообразная область применения этих установок – выгрузка сыпучих материалов из трюмов судов, железнодорожных вагонов и забор из открытых насыпей с помощью заборных устройств.

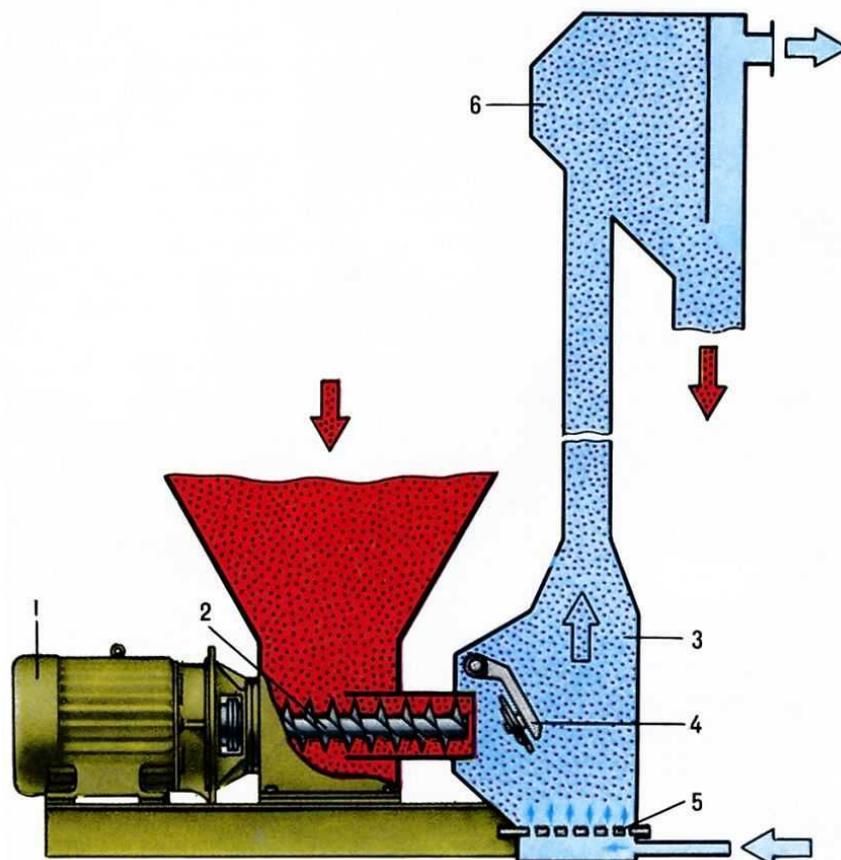
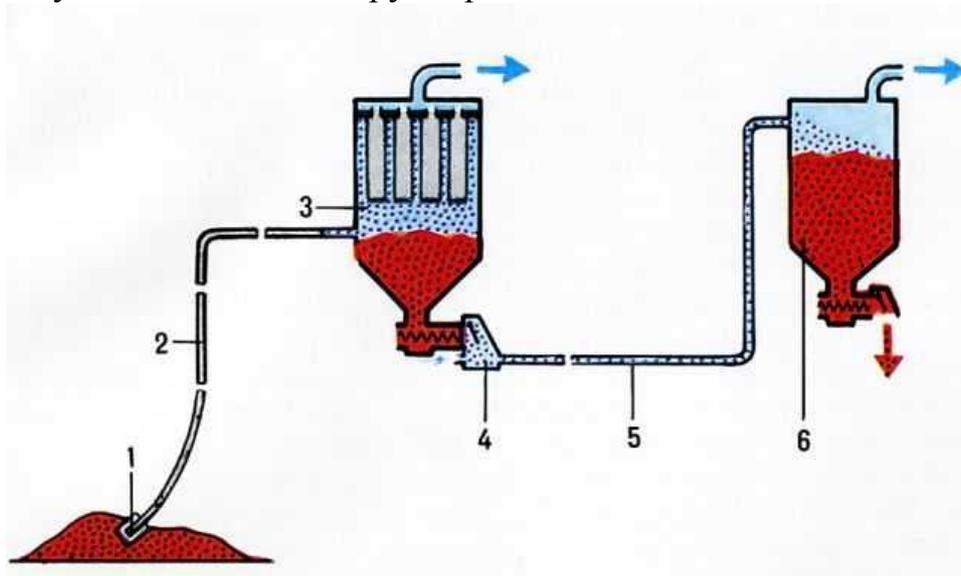


Рис. 1.17. Нагнетательная установка: 1 – электродвигатель, 2 – винтовой питатель, 3 – смесительная камера, 4 – обратный клапан, 5 – аэроднище с микропористой перегородкой, 6 – бункер-гаситель

В нагнетающих установках (рис. 1.17.) воздуходувные устройства, располагаемые в начале трубопровода, могут создавать высокое избыточное давление (до 0,8 МПа). Благодаря применению загрузочных устройств это позволяет осуществлять транспортирование сыпучих материалов на значительные расстояния с максимально возможными концентрациями и обеспечивает компактность и экономичность установок.

По величине давления нагнетающие установки бывают низкого (до 0,01 МПа), среднего (до 0,1 МПа) и высокого (до 0,8 МПа) давления, создаваемого соответственно вентиляторами, воздуходувками и компрессорами. Разновидностью установок нагнетающего типа являются пневможелоба и аэроустройства для перемещения и выгрузки из ёмкостей аэрированных сыпучих материалов в плотной фазе. К нагнетатель-

ным относятся также установки контейнерного пневмотранспорта, которые могут быть челночного (с одним трубопроводом для гружёных и возвращаемых порожних контейнеров) и замкнутого типа (с двумя трубопроводами – грузовым и порожняковым). Трубопроводы монтируют из металлических или железобетонных труб большого диаметра (500–1600 мм). Применяют контейнеры вместимостью 0,3–10 м<sup>3</sup>, полностью или частично (грузонесущая часть) опрокидывающиеся на ходу по спиральным направляющим. Воздуходувные устройства располагают в конечных пунктах и по длине трубопровода.



*Рис. 1.18. Комбинированная установка всасывающе-нагнетательного действия: 1 – всасывающее сопло с регулируемым устройством для подсоса воздуха, 2 – всасывающий транспортный трубопровод с гибкими участками, 3 – осадительная камера с фильтрами, 4 – разгрузочно-загрузочное устройство, 5 – нагнетательный транспортный трубопровод, 6 – приёмный бункер*

Комбинированные всасывающе-нагнетательные установки сочетают в себе особенности обеих систем и могут применяться в качестве перегружателей при заборе сыпучих материалов из насыпи и транспортировании их на значительные расстояния при высоких концентрациях пневмосмеси (рис. 1.18.).

Достоинства пневмотранспорта: простота, удобство сооружения и обслуживания; поточность и возможность совмещения транспортирования с другими технологическими процессами; приспособляемость трассы к стеснённым производственным условиям и малые габариты установок (в 4–5 раз меньше, чем при механических видах транспорта), исключение вредного влияния на окружающую среду (отсутствие по-

терь, пыли, загрязнения, безопасность работ), возможность полной автоматизации.

Недостатки пневмотранспорта: большие расходы электроэнергии (до 4–10 кВт·ч/т), износ трубопроводов и оборудования (затраты на электроэнергию и амортизацию достигают в среднем соответственно до 50 и 30% себестоимости транспортирования); измельчение хрупких сыпучих материалов, сложность перемещения комкующихся и влажных сыпучих материалов, необходимость сооружения дополнительных трубопроводов для возврата контейнеров и капсул.

Основные элементы пневмотранспорта: компрессор или воздуходувка, закладочные машины и отделители, трубопровод. Компрессоры и воздуходувки обеспечивают выработку сжатого воздуха, в потоке которого движется насыпной груз (измельченная в дробилке порода). Загрузка последней в трубопровод выполняется закладочными машинами. Пневмотранспорт нашел применение в закладочных комплексах, предназначенных для закладки породой выработанного пространства на шахтах и рудниках.

### **1.5. Транспортное оборудование поверхностных комплексов шахт и рудников**

Поверхностные комплексы шахт и рудников характеризуются большим разнообразием и включают в себя здания, сооружения технологического и административно-бытового назначения, обогатительные или брикетные фабрики, склады минерального сырья, отвалы пустых пород, ремонтные мастерские, железнодорожные депо и автомобильные гаражи, подвесные канатные дороги, рельсовые коммуникации, различные погрузочные агрегаты и установки, механическое оборудование вертикального подъема.

Для перемещения грузов на поверхности шахт и рудников широко применяют конвейеры, автомобили, экскаваторы, бульдозеры, локомотивы и другие технические средства, используемые как индивидуально, так и в составе формируемых в соответствии с технологической необходимостью производственных комплексов.

Склады минерального сырья оснащены конвейерами, экскаваторами, грейферными подъемными кранами и другими транспортными средствами. Определенную область применения имеют канатно-подвесные дороги, возможность сооружения которых практически не зависит от рельефа местности. Системы такого рода подразделяют на пассажирские и грузовые, причем последние характеризуются наличием одного или двух канатов. Канатные дороги с кольцевым движением,

характеризуются тем, что вагоны перемещаются по двум параллельным линиям подвесного пути всегда в одном направлении, канатные дороги с маятниковым движением – на каждом пути подвешено по одному вагону, совершающему возвратно-поступательное движение между конечными станциями.

Грузовые канатные дороги в основном строятся двухканатными с кольцевым движением вагонеток. По двум параллельным несущим (рельсовым) канатам (рис. 1.19.) при помощи бесконечного тягового каната, огибающего на конечных станциях приводной и натяжной блоки, перемещаются вагонетки.

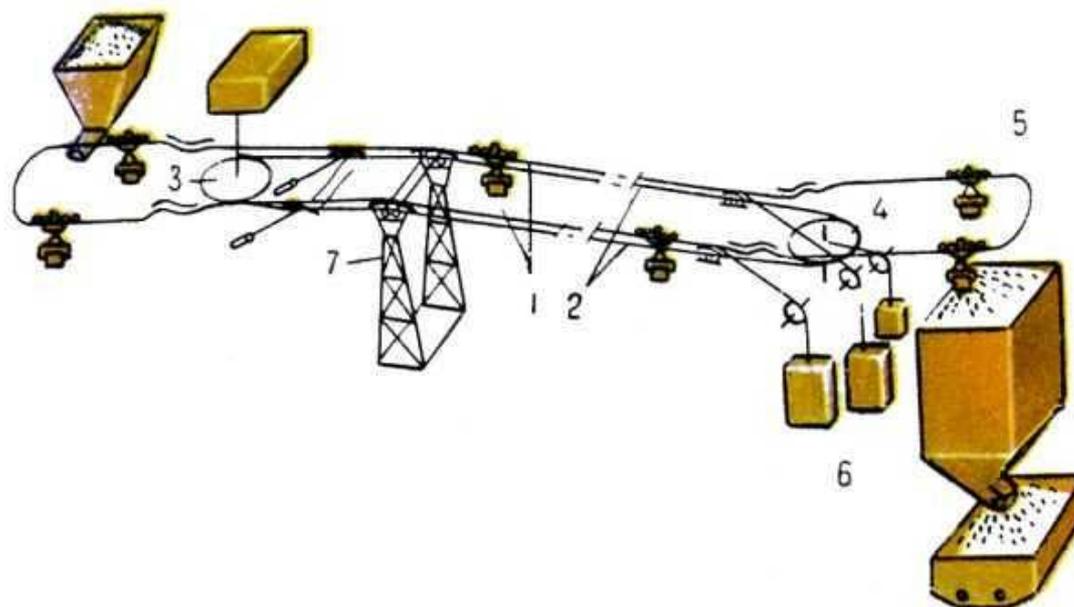


Рис. 1.19. Схема грузовой канатной дороги с кольцевым движением вагонеток: 1 – несущие канаты, 2 – тяговой канат, 3 – приводной блок, 4 – натяжной блок, 5 – вагонетка, 6 – натяжные грузы, 7 – промежуточные опоры

Концы несущих канатов на одной станции, обычно на верхней, закрепляются наглухо, а на другой к ним подвешивают натяжные грузы. При выходе со станции гружёные вагонетки автоматически, с помощью специальных приборов, сцепляются с тяговым канатом, а при входе отсоединяются. Длина грузовых канатных дорог практически неограничена (т.к. их могут образовывать последовательно соединённые самостоятельные секции длиной 10 км и более). Например, канатная дорога «Кристенберг–Булиден» (Швеция), служащая для транспортирования руды, имеет протяжённость 96 км. Производительность грузовых канатных дорог достигает 650 т/ч (иногда и более). Скорость передвижения вагонеток до 5 м/с (обычно 2,5–3,5 м/с), вместимость до 3 т. При меньшей протяжённости трассы (около 3 км с углом наклона до 45°)

строят двухканатные маятниковые грузовые канатные дороги с одной или двумя вагонетками, перемещающими грузы (до 150 т/ч) со скоростью 10 м/с. На одноканатных дорогах вагонетки соединены с канатом и перемещаются вместе с ним со скоростью до 2,5 м/с. Движение обычно кольцевое. Производительность одноканатных дорог до 150 т/ч, наибольший угол наклона трассы 25°.

## **2. СТАЦИОНАРНЫЕ МАШИНЫ И УСТАНОВКИ**

### **2.1. Общие сведения**

Стационарными принято называть вентиляторные, водоотливные, пневматические, подъемные установки и установки для кондиционирования рудничной атмосферы. По назначению они делятся на главные, вспомогательные и местные (участковые) установки. Главные установки — это крупные электромеханические комплексы оборудования, оснащенные сложными системами автоматизации. Они устанавливаются на поверхности и под землей стационарно на весь срок службы горного предприятия или до замены новыми и обеспечивают работу горного предприятия в целом.

Вспомогательные установки применяются на горных предприятиях как вспомогательные к главным установкам и как самостоятельные, в частности, при проведении горных выработок, когда потребная производительность, например, вентиляторов, невелика и использование главных установок нецелесообразно по экономическим и другим причинам.

Местные (участковые) установки применяются для местного проветривания, водоотлива, подачи сжатого воздуха и кондиционирования рудничной атмосферы, имеют по сравнению с главными и вспомогательными меньшую производительность. Местные установки приспособлены для периодического перемещения.

### **2.2. Вентиляторные установки**

Вентиляторные установки предназначены для непрерывного проветривания горных выработок шахт и рудников и создания в них нормальных атмосферных условий. По назначению они делятся на главные вентиляторные установки, вспомогательные и местного проветривания.

Главные вентиляторные установки служат для проветривания всех действующих выработок шахты или рудника, за исключением глухих (тупиковых) забоев. Они размещаются на поверхности у устья герметически закрытых стволов или штолен в центре шахтного поля при центральной схеме проветривания и на его флангах при диагональной схеме и пропускают весь воздух, проходящий по шахте (руднику) или ее крылу. Главные вентиляторные установки работают по всасывающей, нагнетательной и комбинированной схеме горного предприятия.

Вентиляторная установка включает в себя вентилятор (вентиляторы) и подсоединенные к нему электродвигатели, входные и выходные

устройства (подводящие каналы, диффузор, входную часть вспомогательные устройства для переключения и реверсирования воздушной струи), а также пускорегулирующую и контролируемую аппаратуру и звукопоглощающие устройства.

Под вентилятором понимается «агрегат», состоящий из корпуса, ротора, направляющих и спрямляющих аппаратов, с присоединенным к нему коллектором и входной коробкой.

Вспомогательные вентиляторные установки предназначены для проветривания стволов и капитальных выработок при их проходке, камер и выработок околоствольного двора при эксплуатации шахт и рудников, а также отдельных их участков. Они располагаются на поверхности вблизи ствола или шурфа. В зависимости от назначения вспомогательная вентиляционная установка может иметь один или два вентилятора и соответственно один или два электродвигателя и комплект электрооборудования; может иметь реверсивные и переключающие устройства, вентиляционные каналы или воздухопроводы.

Вентиляторные установки местного проветривания состоят из вентиляторов с приводами, вентиляционных воздухопроводов, пусковой аппаратуры и аппаратуры контроля и автоматизации. Они снабжаются одним и реже двумя вентиляторами.

В соответствии с назначением вентиляторы также подразделяются на вентиляторы главные, вспомогательные и местного проветривания.

Эти группы вентиляторов существенно отличаются своими параметрами, а вентиляторы местного проветривания – и конструкцией.

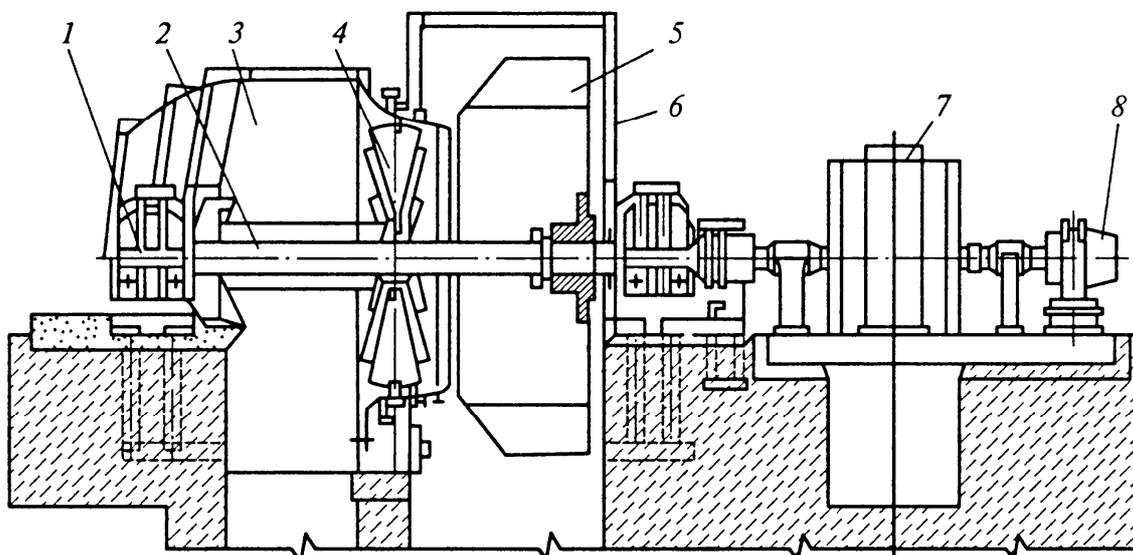
Вентиляторы, применяемые в горной промышленности, представляют собой турбомашин, которые по принципу действия делятся на две большие группы – осевые и центробежные вентиляторы. Каждый из типов вентиляторов имеет свои преимущества и недостатки.

### *Центробежные вентиляторы*

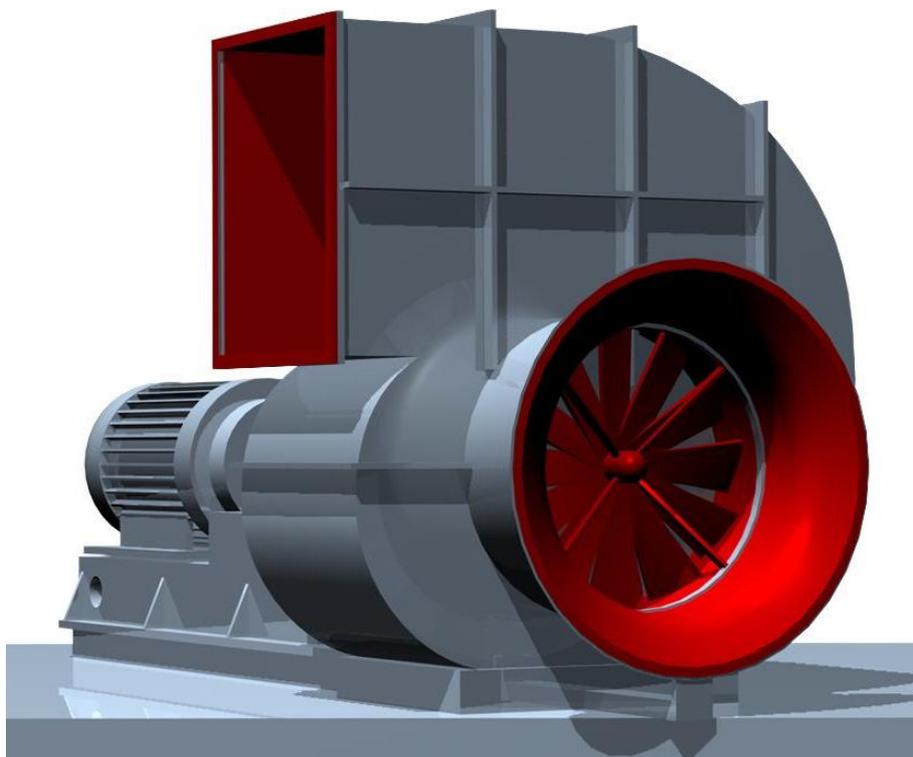
На шахтах и рудниках эксплуатируются центробежные вентиляторы главного проветривания: ВЦ, ВЦД, ВШЦ, ВРЦД, ВЦП, ВЦЗ (В – вентилятор, Ц – центробежный, О – одностороннего всасывания, Д – двустороннего всасывания, Р – рудничный, Ш – шурфовой, П – проходческий, З – с регулируемыми закрылками). По ГОСТ 11004-75 центробежные насосы маркируются: одностороннего всасывания ВЦ и двустороннего всасывания ВЦД, цифра в маркировке означает размер диаметра рабочего колеса в дециметрах.

Широкое распространение на шахтах и рудниках центробежных вентиляторов главного проветривания обусловлено улучшением их па-

раметров за последние 25 лет; так, средневзвешенный статистический КПД в области эксплуатации увеличился с 0,52 до 0,75, в 1,5–2 раза уменьшились габариты и стоимость вентиляторов.



*Рис. 2.1. Схема вентиляторной установки на основе центробежного вентилятора ВЦ-31,5М: 1 – опора ротора, 2 – ротор, 3 – входная коробка, 4 – направляющий аппарат, 5 – рабочее колесо, 6 – кожух, 7 – привод и аппаратура управления, 8 – электродвигатель*



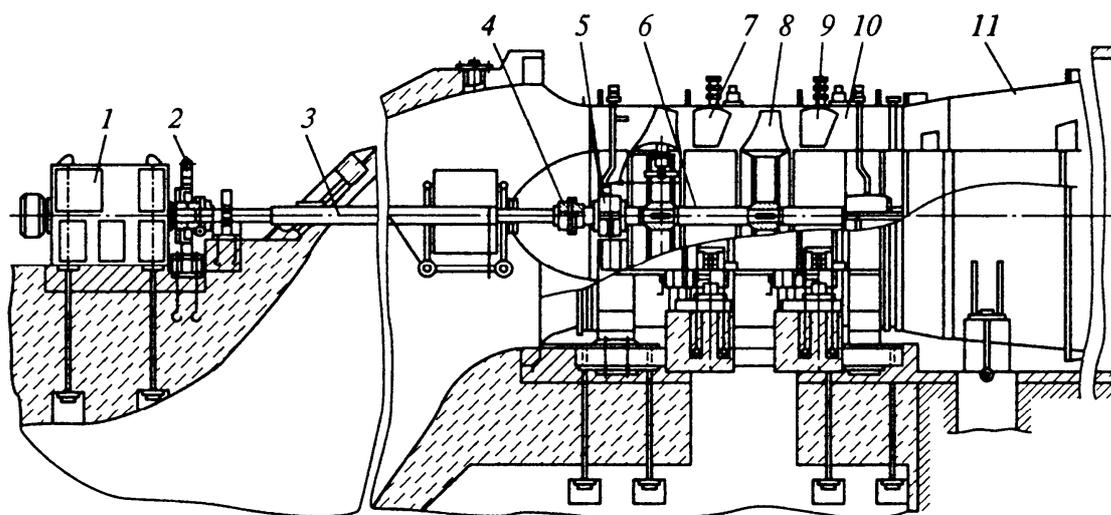
*Рис. 2.2. Общий вид центробежного вентилятора ВЦ-11М*

Центробежные вентиляторы применяются для проветривания глубоких шахт и рудников, а также на предприятиях металлургической и химической промышленности. Центробежные вентиляторы нереверсивны, поэтому в установках с такими вентиляторами изменение направления воздушной струи обеспечивается системой ляд и обводных каналов.

### *Осевые вентиляторы*

На шахтах и рудниках эксплуатируются осевые вентиляторы типа ВОД, ВОК, ВОКД, ВОКР (В – вентилятор, О – осевой, К – с кручеными лопатками, Д – многоступенчатый, Р – реверсивный).

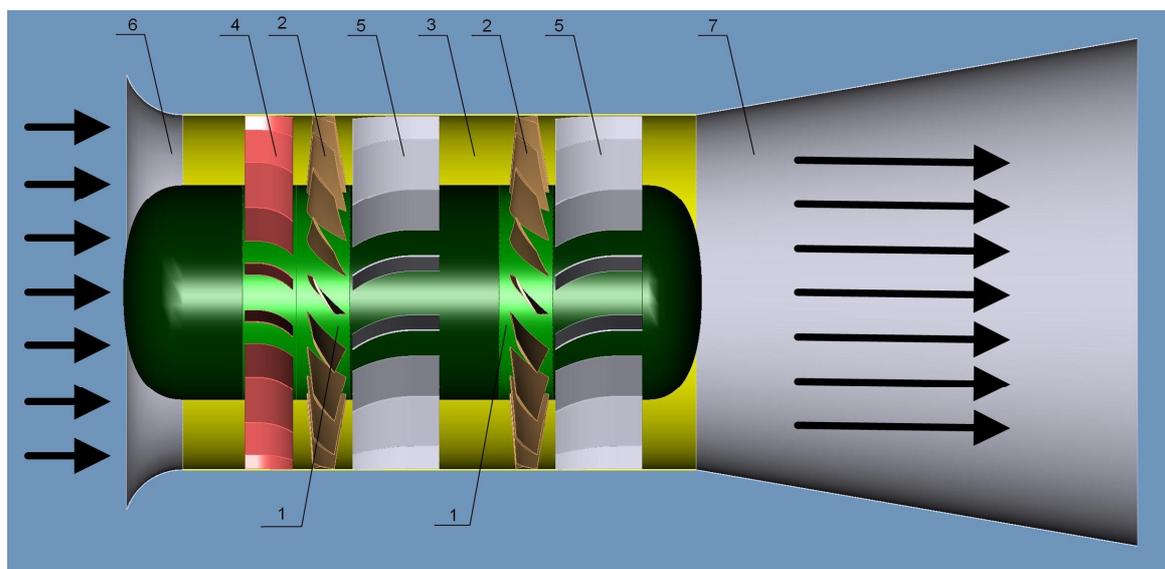
Выпускается одна разработанная в последнее время серия вентиляторов ВОД (ВОД-11, ВОД-16, ВОД-21 (рис. 2.5.), ВОД-30, ВОД-40 и ВОД-50; цифра в маркировке вентиляторов – размеры диаметра рабочего колеса по концам лопаток в дециметрах). Другие типы осевых вентиляторов сняты с производства, но большое их число продолжает эксплуатироваться на шахтах и рудниках.



*Рис. 2.3. Схема вентиляторной установки на основе осевого вентилятора ВОД-21М: 1 – приводной двигатель, 2 – тормоз, 3 – трансмиссионный вал, 4 – муфта, 5 – опора ротора, 6 – ротор, 7 – направляющий аппарат, 8 – рабочее колесо, 9 – спрямляющий аппарат, 10 – корпус, 11 – диффузор*

Главные осевые вентиляторы предназначены для проветривания шахт и рудников небольшой глубины, общешахтная депрессия (давление проветривания) которых не превышает 400 ат. Они могут использоваться также и в других отраслях промышленности для перемещения воздуха и неагрессивных газов с температурой 5–30°С.

## Описание конструкции и принципа работы осевых вентиляторов



*Рис. 2.4. Схема работы осевого вентилятора*

Осевой вентилятор (рис. 2.4.) состоит из рабочего колеса 1, на втулке которого закреплены профильные лопатки 2; рабочее колесо вращается в цилиндрическом корпусе или, как его часто называют, кожухе 3. Перед рабочим колесом может располагаться направляющий аппарат с неподвижными лопатками 4. За рабочим колесом располагается спрямляющий аппарат с неподвижными лопатками 5.

Вращающееся рабочее колесо с помощью лопаток передает энергию привода перемещаемому воздуху. Лопатки рабочих колес изготавливаются из металла или пластмасс (для вентиляторов малых размеров).

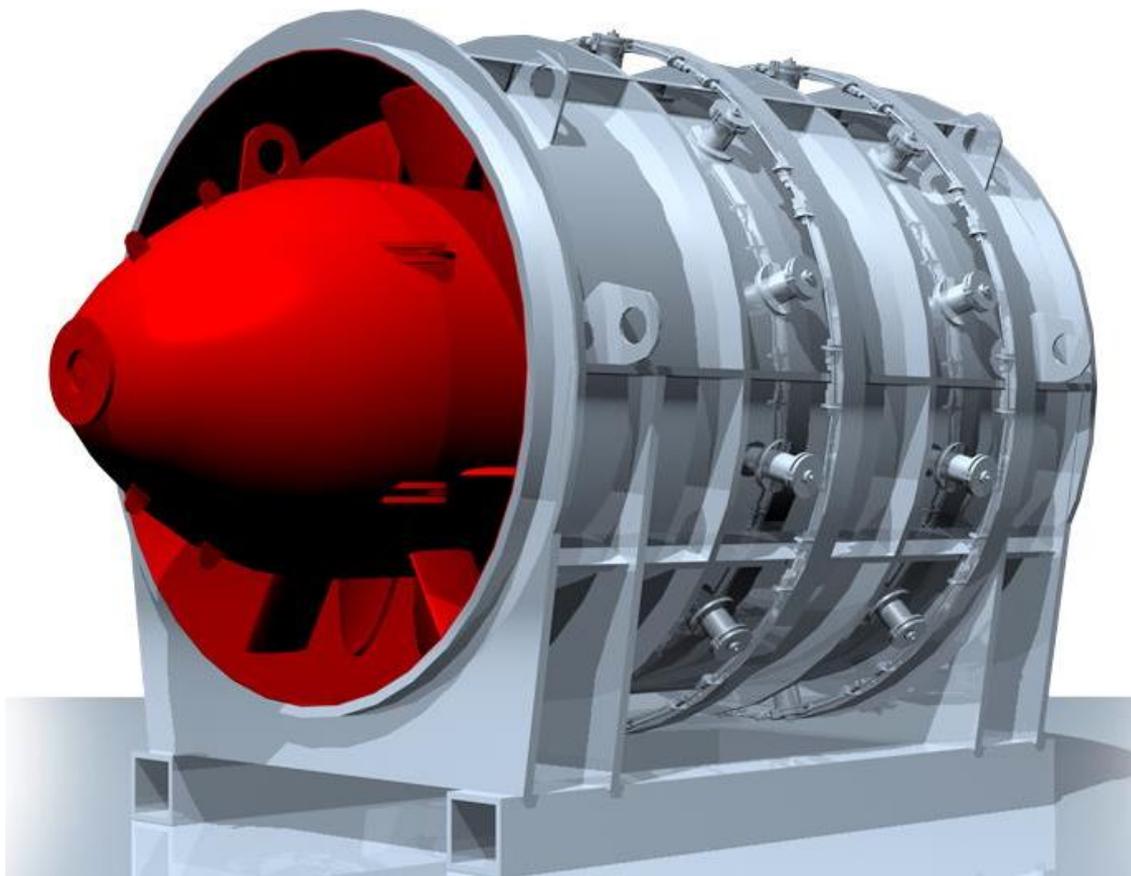
Лопатки рабочего колеса могут иметь несимметричный или симметричный профиль. Осевые вентиляторы с лопатками рабочих колес симметричного типа являются реверсивными, поскольку их производительность незначительно меняется при изменении направления вращения рабочего колеса на обратное. Вентиляторы с рабочими лопатками несимметричного типа этим качеством обладают в меньшей степени, их производительность при изменении направления вращения рабочего колеса значительно снижается, но эти вентиляторы при прямой работе превосходят по своим параметрам реверсивные.

Направляющий аппарат предназначен для подачи воздуха к рабочему колесу, установленному за ним в определенном, более эффективном направлении и обеспечивает преобразование значительной части кинетической энергии потока (динамического давления) в потенциальную энергию (статическое давление).

Спрямляющий аппарат обеспечивает плавный переход воздуха от лопаток рабочего колеса к выходу в диффузор или сеть и частично преобразует динамическое давление в движущемся потоке воздуха в статическое давление.

В конструкцию шахтных вентиляторов вводятся два обтекателя, назначение которых заключается в снижении аэродинамических потерь, связанных с резким изменением скоростей движения воздуха. Передний обтекатель устанавливается во входном коллекторе, перед рабочим колесом или направляющим аппаратом, задний – после спрямляющего аппарата, перед диффузором или входом в вентиляционную сеть.

В осевых вентиляторах направление движения воздушного потока совпадает с осью вращения рабочего колеса. Воздух засасывается в коллектор 6, проходит между лопатками вращающегося рабочего колеса, затем поступает в спрямляющий аппарат, оттуда в диффузор 7 и выбрасывается в атмосферу (при работе вентилятора на всасывание).



*Рис. 2.5. Общий вид осевого вентилятора ВОД-21*

Осевые вентиляторы могут быть одноступенчатыми (с одним рабочим колесом) и двухступенчатыми (с двумя рабочими колесами). В

последнем случае в кожухе вентилятора находятся две ступени, работающие последовательно и имеющие каждая свое рабочее колесо. Между рабочими колесами находится промежуточный направляющий аппарат. Конструктивно направляющий аппарат состоит из неподвижных профильных лопаток или направляющих лопаток. Спрямяющий аппарат устанавливается за вторым рабочим колесом по ходу струи. Обе ступени могут находиться на одном валу или на отдельных валах. Наличие двух ступеней позволяет вентилятору развивать более высокое давление.

Осевые вентиляторы встречного вращения обладают более высокими КПД. У них отсутствуют спрямляющие и направляющие аппараты. Рабочие колеса вентилятора вращаются в противоположные направления, тем самым устраняя закручивание потока.

Вентиляторы серии ВОД, за исключением ВОД-11, выполнены реверсивными и обеспечивают требуемую правилами безопасности производительность при реверсе более 60 % нормальной производительности; по специальному заказу они могут выполняться и нереверсивными. Вентилятор ВОД-11 используется в качестве вспомогательного для проветривания стволов и околотвольных выработок при их сооружении, в калориферных установках, на складах взрывчатых веществ и т.п.

Вентиляторы серии ВОД применимы как для всасывающей, так и для нагнетательной вентиляции.

### *Проветривание горных выработок*

Протяженные горные выработки, в особенности подготовительные по угольным пластам, проводятся спаренными забоями. В этом случае проводимые параллельно выработки соединяются между собой через определенные расстояния вентиляционными сбойками. Одна из выработок используется для подачи свежей струи за счет общешахтной депрессии, другая – для выдачи исходящей (рис 8.5, з). Проветривание тупиков (за последней сбойкой) осуществляется с помощью вентиляционных труб и вентиляторов местного проветривания, установленных в выработке со свежей струей на расстоянии не менее 10 м до сбойки. По мере проведения новых сбоек старые должны изолироваться воздухо-непроницаемыми перемычками. Количество сбоек необходимо принимать минимально возможным, т. к. они будут отрицательно влиять на вентиляцию при эксплуатации выработок.

Основной задачей вентиляции тупиковых выработок является подача в забой достаточного количества воздуха, обеспечивающего скорость его движения, достаточную для эффективного проветривания как призабойной части, так и всей выработки в целом. Скорость движения воздуха устанавливается «Правилами безопасности», исходя из необходимости исключения местных и слоевых скоплений метана, удаления из проводимой выработки в кратчайшее расчетное время ядовитых продуктов взрыва и создания нормальных температурных условий в выработке.

Без применения средств вентиляции могут проводиться выработки длиной не более 10 м и только в негазовых шахтах.

Наиболее часто при строительстве тупиковых выработок их вентиляцию осуществляют с использованием вентиляторов местного проветривания (ВМП). Применяют три способа вентиляции: нагнетательный, всасывающий и комбинированный. По «Правилам безопасности» в газовых угольных шахтах отставание трубопровода от забоя не должно превышать 8 м, а в негазовых – 12 м.

*Нагнетательный способ* проветривания (рис. 8.5, а) имеет наибольшее распространение, а на газовых шахтах он является обязательным и единственным. При нагнетательном способе проветривания ВМП устанавливается в выработке со свежей струей на расстоянии не менее 10 м от устья тупиковой выработки с тем, чтобы он не захватывал воздух из исходящей струи и не работал на рециркуляцию, а подача ВМП не должна превышать 70 % количества воздуха, подаваемого к месту установки за счет проходящей сквозной струи.

*Всасывающий способ* проветривания (рис. 8.5, б) применяется в основном на шахтах, не опасных по газу. На газовых шахтах этот способ может применяться при использовании ВМП, допущенных для отсоса метановедущих смесей, а также эжекторов.

При *комбинированном* способе проветривания (рис. 8.5, в) дополнительно к ВМП, работающему на всасывание, вблизи забоя устанавливается второй вентилятор (вспомогательный) с коротким нагнетательным трубопроводом, который эффективно проветривает призабойную зону. Подача нагнетательного вентилятора должна быть на 20–30 % меньше расхода воздуха в месте его установки за счет всасывающего вентилятора. Этот способ проветривания сочетает достоинства первых двух способов. Применение его, как и всасывающего способа, целесообразно в условиях большой запыленности при комбайновом проведении выработок и силикозоопасных породах.

Проветривание тупиковых выработок большой длины обычно осуществляется нагнетательным способом с использованием одного или

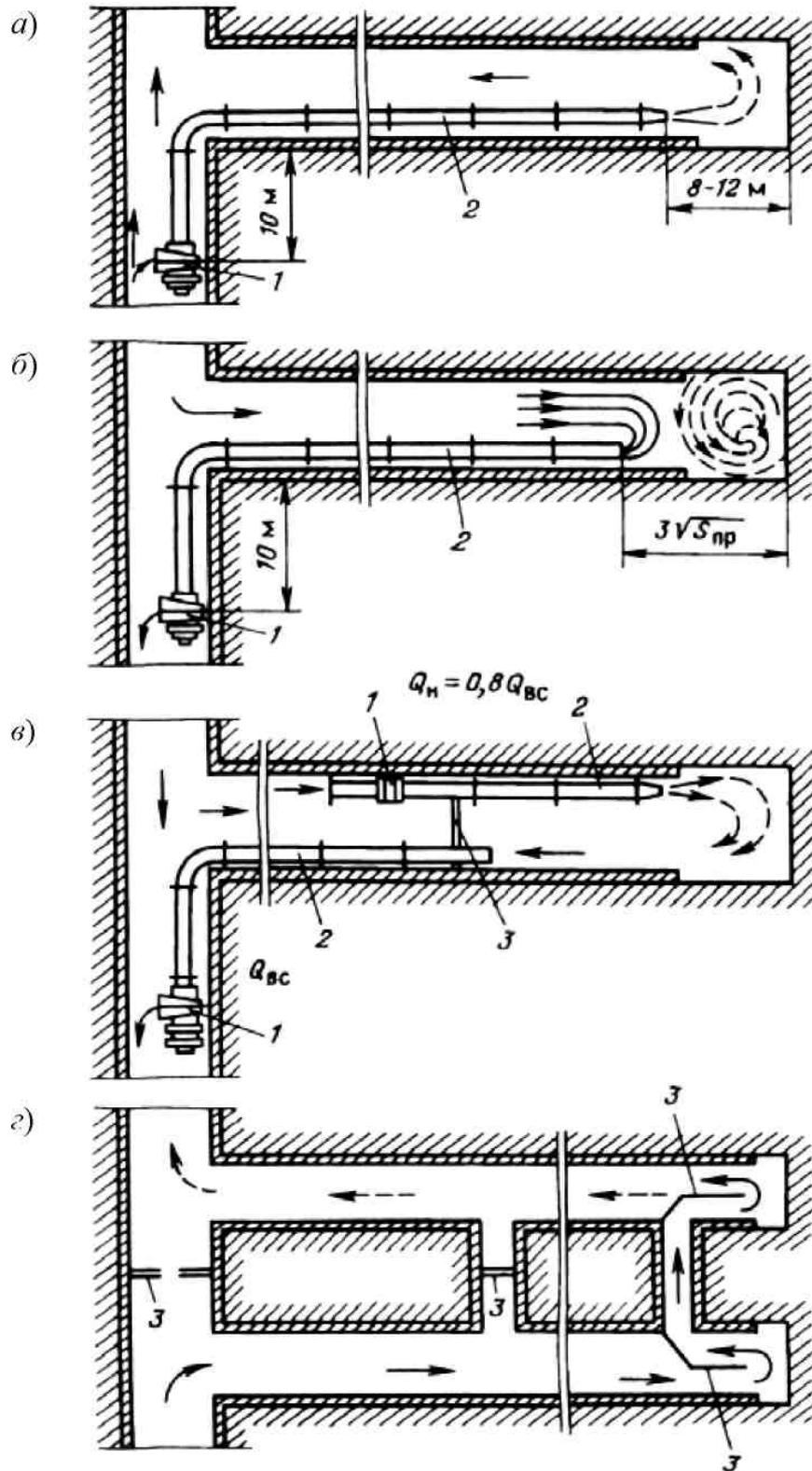


Рис. 2.6. Способы проветривания тупиковых выработок:  
 а) нагнетательный; б) всасывающий; в) комбинированный; г) с использованием параллельной выработки; 1 – вентилятор местного проветривания; 2 – вентиляционный трубопровод; 3 – вентиляционная перемычка

нескольких установленных параллельно вентиляторов, работающих на трубопровод большого диаметра или на два параллельных трубопровода, либо каскадной установкой нескольких вентиляторов в начале трубопровода. На шахтах, опасных по газу и пыли, применяется также рассредоточенная по длине трубопровода установка вентиляторов. При этом расстояния между вентиляторами применяются такими, чтобы каждый вентилятор располагался в зоне повышенного давления, т. е. работал с подпором от предыдущего вентилятора.

Для проветривания тупиковых выработок принимаются *жесткие* и *гибкие* вентиляционные трубы.

Жесткие трубы изготавливаются, как правило, из металла. Они достаточно прочные, выдерживают большое давление, могут служить длительное время, применяются при любом способе проветривания.

Для проветривания горизонтальных и наклонных выработок по нагнетательному способу наиболее часто применяют гибкие трубы, изготовленные из специальных воздухо непроницаемых тканей на хлопчатобумажной или лавсановой основе с резиновым или полихлорвиниловым покрытием. Они более легкие (масса 1 м трубы составляет 1,3–3,4 кг), но имеют меньший, чем металлические трубы, срок службы – 14 и 28 месяцев соответственно в обводненных и сухих выработках. Гибкие трубы выдерживают давление до 100 Па. Диаметр труб – 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,2 м. Длина основного рабочего звена 20 и 10 м. По специальному заказу могут поставляться звенья длиной 40 м и более, что позволяет уменьшить количество стыков и соответственно утечки воздуха из трубопровода. Соединяются звенья труб между собой с помощью металлических колец, закрепленных на концах звеньев и хомутов.

Для проветривания тупиковых выработок используются ВМП с электрическим и пневматическим приводами. Наибольшее применение нашли осевые электрические вентиляторы серии ВМ: ВМ-4, ВМ-5М, ВМ-6М, ВМ-8М, ВМ-12М.

### **2.3. Шахтные водоотливные установки**

Для откачивания шахтных вод применяются водоотливные установки, которые в зависимости от назначения разделяются на центральные, главные и вспомогательные (участковые).

Центральная водоотливная установка предназначена для откачивания воды из нескольких шахт; главная водоотливная установка – для

выдачи непосредственно на поверхность притока воды всей шахты или рудника; вспомогательная водоотливная установка – для откачивания воды с нижнего горизонта шахты на верхний и для перекачивания воды из отдельных участков шахты в водосборник главной водоотливной установки и др. Все указанные установки откачивают воду из водосборников и являются стационарными, обычно устанавливаются в камерах на фундаменте. При проведении и откачке затопленных выработок применяются передвижные водоотливные установки.

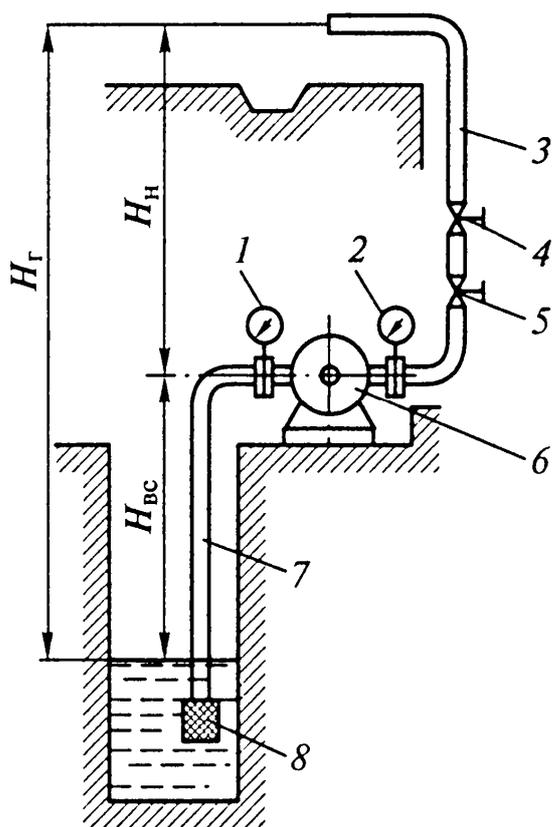


Рис. 2.7. Схема водоотливной установки

Водоотливные установки оборудуются в основном центробежными насосами (рис. 2.7.). Установка состоит из насоса 6 с двигателем, всасывающего трубопровода 7 с приемной сеткой 8, нагнетательного трубопровода 3 с задвижкой и обратным клапаном, трубки с вентилем 5 для заливки водой насоса перед его пуском. Давление во всасывающем и нагнетательном трубопроводе измеряется вакуумметром 1 и манометром 2.

Вертикальное расстояние от уровня воды в заборном резервуаре (колодце) до оси насоса называется геодезической (геометрической) высотой всасывания Нвс, а вертикальное расстояние от оси насоса до сливного отверстия трубопровода – геодезической (геометрической) высотой нагнетания Нн. Сумма геодезических

высот всасывания и нагнетания есть геодезическая (геометрическая) высота подачи Нг, которая по существу является полной геодезической высотой водоподъема. Манометрический напор НМ, создаваемый насосом, затрачивается на преодоление геодезической высоты подачи, сопротивлений в трубопроводе и на обеспечение скорости движения воды.

Водоотлив по схеме откачки воды на поверхность разделяется на прямой, когда откачка воды из главного водосборника производится сразу на поверхность, и ступенчатый, когда из нижних горизонтов через

стволы (реже скважины) вода перекачивается в промежуточные водосборники вышележащих горизонтов и затем на поверхность. Реже применяются другие схемы водоотлива, например с передачей воды в расположенную выше (у ствола) насосную камеру, с перепуском воды из вышележащего горизонта и др. (рис. 2.8).

Для шахтного водоотлива применяют горизонтальные секционные центробежные насосы. В настоящее время применяются насосы ЦНС, ЦНСГ, ЦНСМ (Ц – центробежный, Н – насос, С – секционный, Г – для горячей воды, М – для работы в масле, К – для кислотных вод. Цифры после букв – подача насоса в м<sup>3</sup>/час, цифра после подачи – напор насоса).

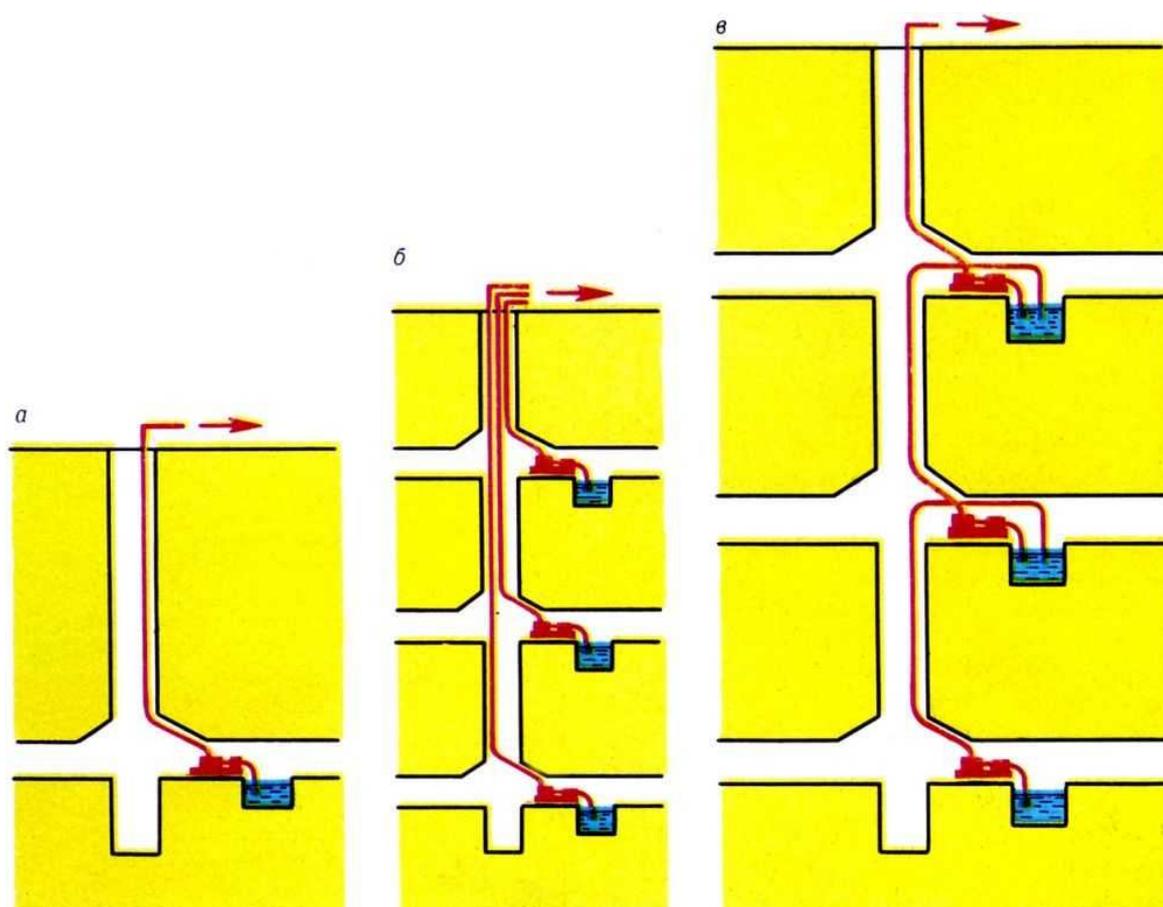
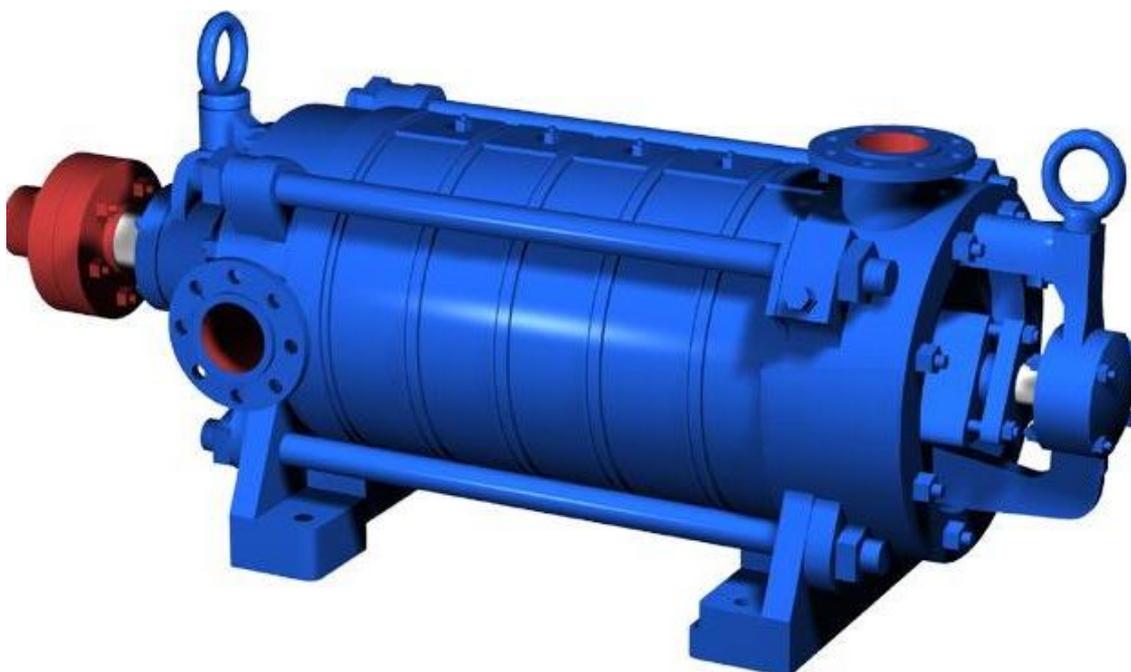


Рис. 2.8. Технологические схемы водоотлива: прямой при одном горизонте (а) и при нескольких (б), ступенчатый с насосными камерами вышележащих горизонтов (в)

Центробежные насосы разделяются: по конструкции корпуса – на цельнокорпусные, секционные (рис. 2.9.) и спиральные (с горизонтальным разъемом корпуса); по характеру соединения рабочих колес – на однопоточные и многопоточные; по числу ступеней – на одноступенча-

тые и многоступенчатые; по расположению насоса – на горизонтальные и вертикальные.

Перекачиваемая жидкость под действием центробежной силы от центра перемещается к внешнему выходу, а в освобождающееся пространство вновь поступает жидкость из всасывающего трубопровода. После первого рабочего колеса жидкость поступает в каналы направляющего аппарата, затем во второе колесо и т.д. После последнего рабочего колеса жидкость через направляющий аппарат проходит в крышку нагнетания и затем в напорный трубопровод.



*Рис. 2.9. Секционный центробежный насос ЦНСГ*

Путем увеличения числа секций можно увеличить напор насоса. Напор насоса определяет высоту подъема перекачиваемой жидкости.

#### **2.4. Шахтные пневматические установки**

Шахтные пневматические установки (компрессоры) предназначены для производства сжатого воздуха давлением до 9 ат, применяемого на шахтах и рудниках для питания горношахтного оборудования с пневматическим приводом: очистных и проходческих комбайнов, породопогрузочных, бурильных и закладочных машин, лебедок и др.

По принципу действия компрессоры разделяются на объемные и турбокомпрессоры.

В компрессорах объемного типа давление газа повышается за счет уменьшения его объема (сжатия воздуха в цилиндрах), в турбокомпрессорах – в связи с силовым взаимодействием лопаток вращающихся рабочих колес с потоком газа (преобразование скоростной энергии газа в давление).

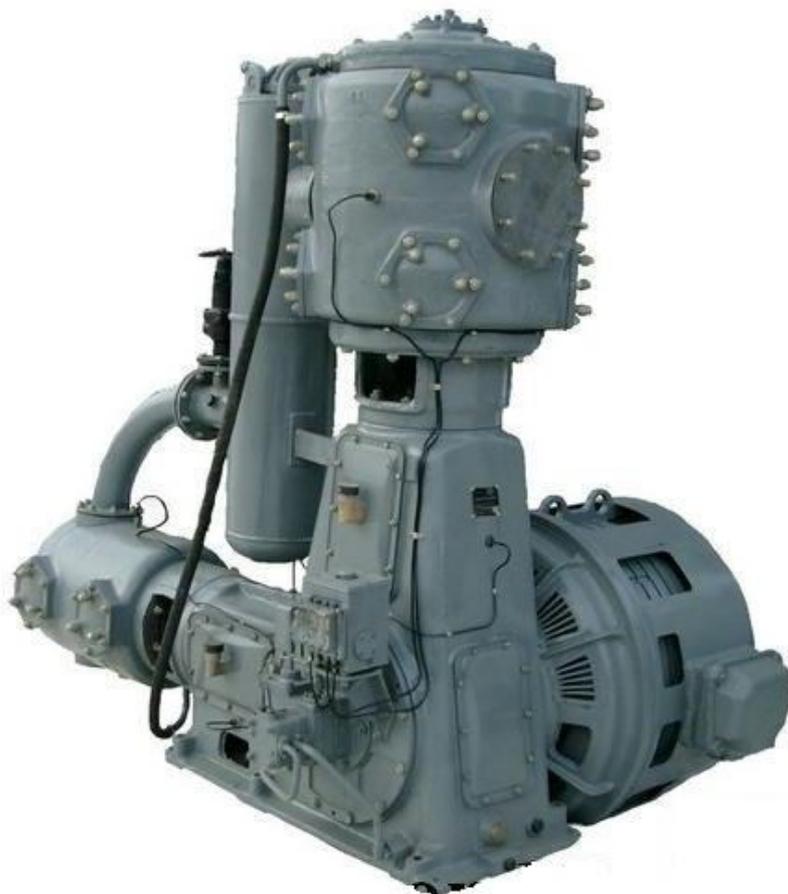
По конструктивному исполнению компрессоры объемного типа могут быть разделены на поршневые (с возвратно-поступательным движением рабочего органа); ротационные и винтовые (с вращающимися поршнями); турбокомпрессоры разделяются на центробежные и осевые. Наибольшее распространение в горной промышленности получили поршневые компрессоры и турбокомпрессоры центробежного типа. Выпускаются двухступенчатые поршневые компрессоры производительностью 10, 20, 30, 50, 100 м<sup>3</sup>/мин, турбокомпрессоры производительностью 115, 250, 500 м<sup>3</sup>/мин, освоено производство винтовых компрессоров производительностью 25 м<sup>3</sup>/мин.

Поршневые компрессоры по характеру процесса сжатия воздуха разделяются на одноступенчатые, двухступенчатые и многоступенчатые; по числу цилиндров – одноцилиндровые и многоцилиндровые; по степени действия – простого и двойного действия; по расположению цилиндров – вертикальные, горизонтальные, угловые.

В горной промышленности применяется большое число типов поршневых компрессоров. В настоящее время выпускаются и рекомендуются к применению в качестве стационарных воздушные угловые компрессоры типа П (302ВП-10/8, 202ВП-20/8, 305ВП-30/8) и воздушные многорядные компрессоры с горизонтальным расположением цилиндров типа М (4М10-100/8, 2М10-50/8). Условное обозначение компрессоров типа П: буквы ВП – воздушный прямоугольный, за буквами в числителе дроби – производительность (м<sup>3</sup>/мин), в знаменателе – избыточное давление нагнетания (кгс/см<sup>2</sup>), цифры перед буквами показывают номинальную нагрузку на шток (тс), цифра перед нулем – номер модификации компрессора.

В условном обозначении компрессоров типа М: М – многорядная база, 10 – величина поршневой силы (тс) одного ряда, числитель дроби – производительность компрессора (м<sup>3</sup>/мин), знаменатель дроби – избыточное давление нагнетания (кгс/см<sup>2</sup>), цифра перед буквой М – число цилиндров.

Центробежные турбокомпрессоры по принципу действия аналогичны центробежным вентиляторам и насосам. Сжатие воздуха (газа) осуществляется аэродинамическими силами, возникающими при взаимодействии лопаток вращающегося рабочего колеса с потоком воздуха (газа).



*Рис. 2.10. Общий вид поршневого компрессора типа П*



*Рис. 2.11. Общий вид поршневого компрессора типа М*

Поскольку в одной ступени центробежного турбокомпрессора степень повышения давления может составлять 1,5–2, то для получения конечного избыточного давления 6–8 ат. применяют многоступенчатые турбокомпрессоры, в которых несколько ступеней соединяются последовательно.

В горной промышленности нашли широкое применение турбокомпрессоры Хабаровского завода «Энергомаш» К-500-61 и К-250-61-2

(рис. 2.12.), а также турбокомпрессоры Казанского компрессорного завода ЦК-135/8 и ЦК-115/9.



*Рис. 2.11. Общий вид турбокомпрессора К-250-61-5*

Стационарные компрессорные станции (рис. 2.13.) устанавливаются на сравнительно небольшом расстоянии от стволов шахт и рудников. К потребителям сжатый воздух поступает по общей пневматической сети, представляющей собой разветвленную систему трубопроводов, проложенных по вертикальным, наклонным и горизонтальным выработкам. Компрессорная станция в сочетании с внешней воздухопроводной сетью образует пневматическую установку. Комплект оборудования, включающий рабочие машины-компрессоры, привод, аппаратуру энергоснабжения и автоматизации и различное вспомогательное оборудование, принято называть компрессорной установкой. В зависимости от потребности предприятия в сжатом воздухе в эксплуатации находится определенное число компрессорных установок, располагающихся обычно в основном здании станции.

Вспомогательное оборудование компрессорной установки состоит из следующих элементов: всасывающих фильтров, охладителей воздуха и масла, воздухоотделителей, шумозащитных устройств. Всасывающие фильтры очищают атмосферный воздух, поступающий в компрессоры, от различных механических примесей, включая пыль. Промежуточные

и концевые холодильники снижают температуру сжатого воздуха, выходящего из цилиндров компрессоров, достигающую значений 160–180 °С. Масловлагоотделители удаляют пары воды и масла, попадающие вместе с энергоносителем во внешнюю сеть. Воздухосборники, являясь аккумуляторами пневматической энергии, одновременно выполняют функции гасителей пульсации движущихся по трубопроводам потоков. Шумозащитные устройства обеспечивают уменьшение шума, создаваемого действующими установками.



*Рис. 2.13. Компрессорная станция: турбокомпрессор К-250; соединительная муфта и электродвигатель*

## **2.5. Установки для кондиционирования рудничного воздуха**

Проведение горнотехнических мероприятий (рациональные схемы вскрытия месторождений, интенсивная вентиляция и др.) может обеспечить необходимые атмосферные условия для нормальной работы шахтеров до глубины горных работ 700–800 м, при больших глубинах разработок допустимые условия в выработках шахт и рудников обеспечиваются только при использовании специальных установок для кондиционирования воздуха.

Холод на горных предприятиях в настоящее время вырабатывается стационарными холодильными машинами, устанавливаемыми на поверхности и под землей, и передвижными холодильными машинами, совмещенными с воздухоохладителями и называемыми кондиционерами. Кондиционеры размещаются под землей вблизи забоев. Стационарные холодильные машины характеризуются большой холодопроизводительностью и устанавливаются практически на весь срок службы горно-

го предприятия. Кондиционеры имеют относительно небольшую холодопроизводительность и перемещаются по мере подвигания забоя.

Стационарные холодильные установки имеют холодопроизводительность в среднем до 12 млн. ккал/год.

В практике кондиционирования воздуха глубоких шахт и рудников известно большое число схем холодильных установок, отличающихся в основном схемами охлаждения воздуха, местом расположения холодильного оборудования, решениями по отводу тепла хладагентов и типом холодильного оборудования.

На шахтах и рудниках получили распространение две основные схемы холодильных установок в зависимости от расположения холодильного оборудования: 1 – холодильная станция на поверхности воздухоохладители под землей, где охлаждается весь проходящий воздух или только его часть; 2 – холодильная станция и воздухоохладители под землей с отводом тепла конденсации хладагента на поверхности или на глубоком горизонте.

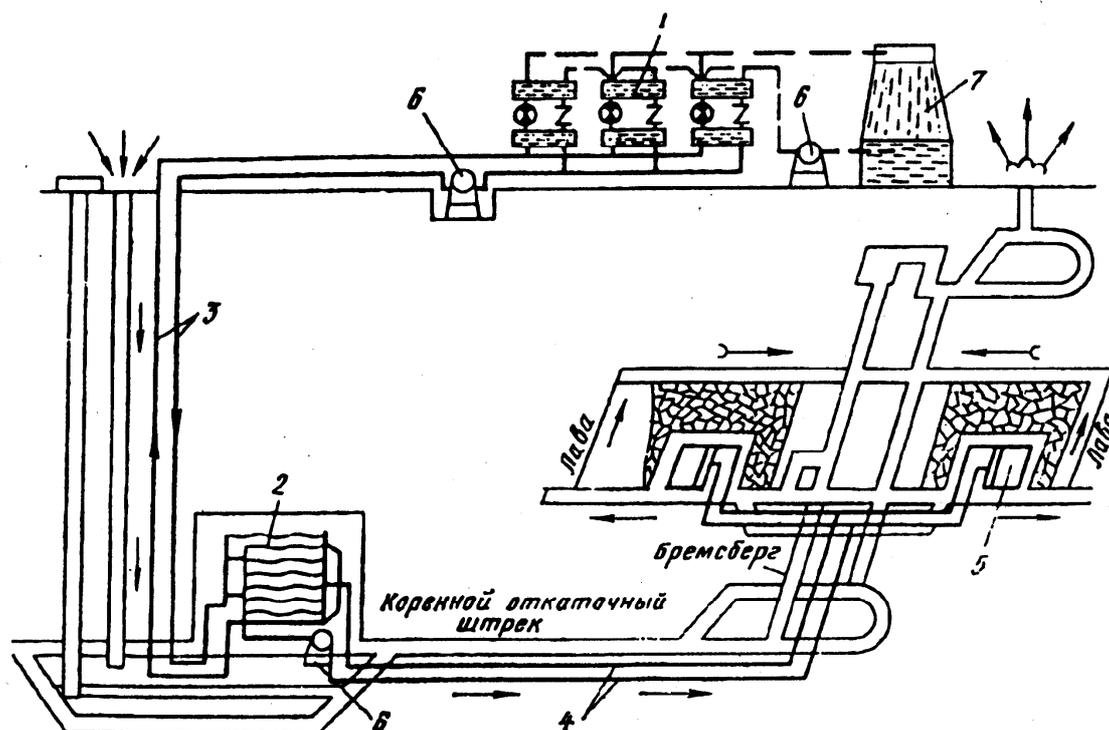
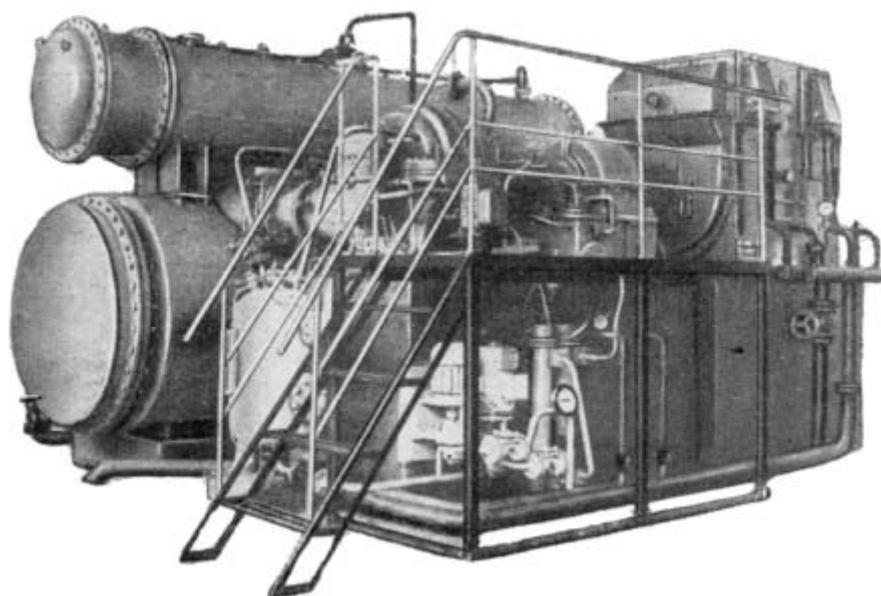


Рис. 2.14. Схема холодильной установки с размещением холодильных машин на поверхности: 1 – станция холодильных машин, 2 – жидкостный теплообменник высокого давления, 3 и 4 – трубопроводы системы циркуляции хладагента соответственно высокого и низкого давления, 5 – воздухоохладители, 6 – насос, 7 – градирня

При первой схеме применяют холодильные машины, например, ХТМФ-3-1-4000 (рис. 2.15.), при второй – ШХТМ-1300.



*Рис. 2.15. Холодильная турбокомпрессорная машина  
ХТМ 3-1-4000 образца 1959 г.*



*Рис. 2.16. Компрессорный агрегат турбохолодильной машины 10TXMB-2000-  
2 с вертикальным разъемом корпуса образца 1985 г.*

При расположении холодильных машин на поверхности (рис. 2.14.) и воздухоохладителей в шахте требуется подача хладоносителя с поверхности на глубокий горизонт шахты или рудника по замкнутому трубопроводному контуру через теплообменник. Поэтому при расположении холодильных машин на поверхности холодильные установки имеют, как правило, два контура: высокого давления, по которому циркулирует хладоноситель-рассол, и низкого давления, по которому движется хладоноситель, как правило, вода. Контуров связаны между собой жидкостным теплообменником, в котором осуществляется передача холода хладоносителю, циркулирующему по контуру низкого давления. Высоконапорный хладоноситель, отдав свой холод, возвращается на поверхность.

## 2.6. Подъемные установки

Подъемные установки шахт и рудников служат для выдачи на поверхность полезного ископаемого, породы, а также для спуска и подъема людей, оборудования, материалов.

В связи с отработкой наиболее доступных месторождений полезных ископаемых шахты и рудники вынуждены переходить на все более глубокие горизонты. При этом для сохранения производительности подъемные установки должны иметь все большую скорость движения подъемных сосудов и большую их грузоподъемность.

Известны шахтные подъемные установки, высота подъема которых достигает 2000 м, грузоподъемность сосудов до – 75 т, а максимальная скорость движения – 16 м/с. В зарубежной практике максимальная скорость подъема достигает 30 м/с. Имеются подъемные установки, клетки которых одновременно перевозят 150 человек. Мощность электроприводов составляет до 5–10 тыс. кВт. Масса подъемных канатов может достигать 30 т. При этом значительно увеличиваются динамические нагрузки при разгоне и торможении, особенно в режиме предохранительного торможения.

Основные элементы подъемной установки (рис. 2.17.): подъемная машина; подъемные сосуды (клетки, скипы, бадьи); стальные канаты; загрузочные и разгрузочные устройства (при скиповом подъеме); приемные площадки (при клетевом подъеме); копер с направляющими шкивами и проводники.

Подъемные сосуды перемещаются в стволе канатами, которые навиваются и свиваются с органов навивки подъемных машин и установок. Сосуды движутся по проводникам, представляющим собой направляющие, уложенные по всей длине ствола.

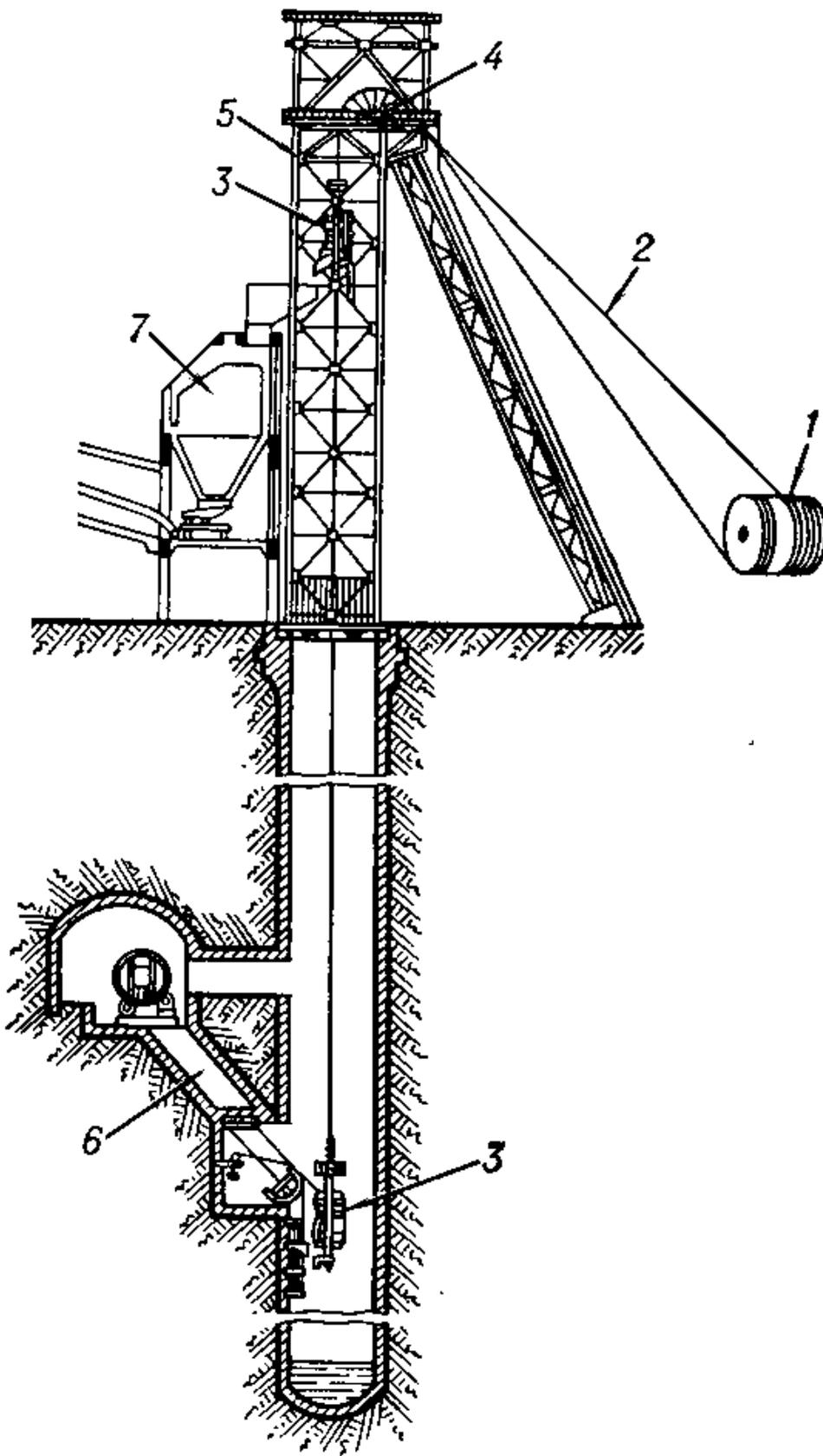
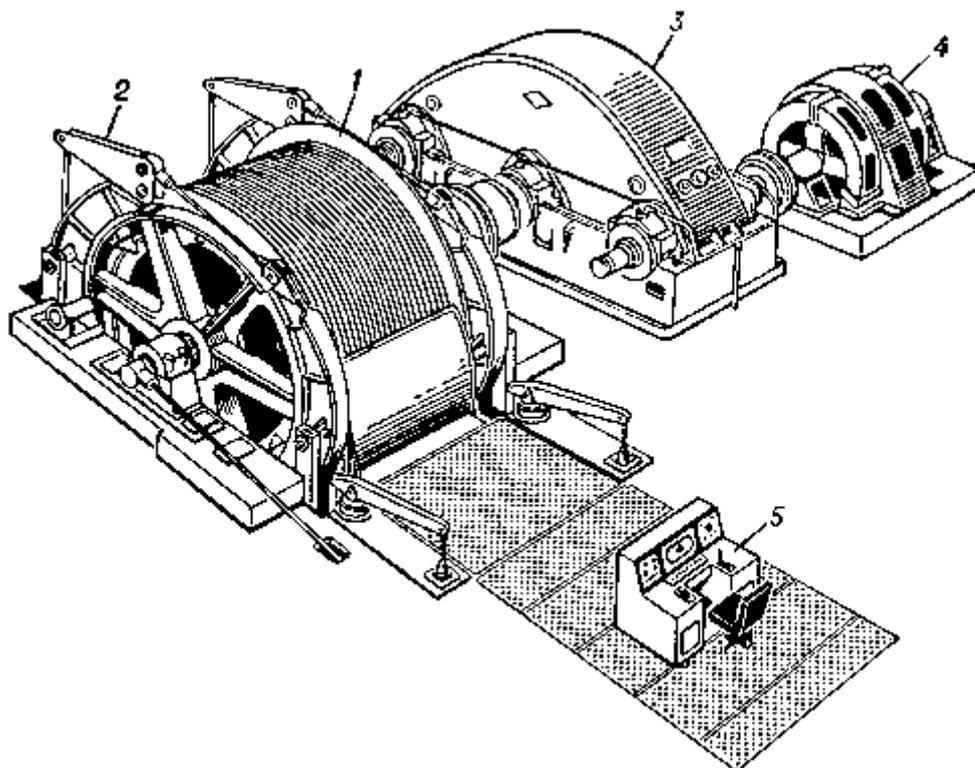


Рис. 2.17. Схема шахтного подъёма: 1 – подъёмная машина; 2 – подъёмные канаты; 3 – скипы; 4 – направляющие шкивы; 5 – копёр; 6 – загрузочное устройство; 7 – бункер.

Подъемные установки различают: по назначению – главные, вспомогательные и проходческие; по углу наклона трассы перемещения грузов – вертикальные и наклонные; по расположению относительно поверхности – подземные и поверхностные; по типу подъемных сосудов – скиповые, клетевые, скипо-клетевые и бадьевые; по числу сосудов – однососудные и многососудные; по количеству головных несущих канатов – одноканатные и многоканатные; по типу органов навивки подъемных канатов – с переменным и постоянным радиусом навивки и со шкивами трения; то степени уравновешенности системы – неуравновешенные, статически и динамически уравновешенные.

В зависимости от назначения различные подъемные установки функционально обеспечивают следующие основные операции: главные – транспортировку грузопотоков полезного ископаемого; вспомогательные – спуск и подъем людей, материалов, оборудования и пустых пород, не содержащих ценных компонентов; проходческие – перемещение разнообразных грузов и людей при сооружении новых и углубке действующих стволов шахт и рудников. Главные подъемные установки принято определять как грузовые, а вспомогательные – как людские или грузолудские.



*Рис. 2.18. Схема подъемной машины: 1 – аппарат навивки, 2 – тормозное устройство, 3 – редуктор, 4 – электродвигатель, 5 – пульт управления*

Подъемные машины, механически связанные с головными канатами, обеспечивают перемещение сосудов по стволам. В горной промышленности успешно эксплуатируются однобарабанные (Ц), однобарабанные с разрезным барабаном (ЦР), двухбарабанные (2Ц), бицилиндроконические (БЦК), многоканатные (МК, ЦШ) подъемные машины. Конструктивные схемы рассматриваемых систем содержат следующие основные элементы: орган навивки, двигатель, редуктор, тормозное устройство, аппаратуру управления. Машины типа Ц, ЦР, 2Ц характеризуются постоянным радиусом навивки тяговых канатов, жестко закрепленных на рабочих барабанах. Бицилиндроконические органы навивки имеют переменную геометрическую форму поверхности. В процессе эксплуатации происходят периодические переходы канатов с цилиндрической части барабанов на коническую, что обуславливает изменение радиуса их навивки. Многоканатные машины типа, МК, ЦШ оборудованы многожелобчатыми шкивами с навешенными на них подъемными канатами. Передача движения последним реализуется вследствие наличия сил трения между канатами и поверхностью шкивов.

### *Транспортные сосуды*

**Скип шахтный** – подъемный сосуд, предназначенный для транспортирования полезного ископаемого и породы с нижних горизонтов шахт на поверхность по вертикальным или наклонным стволам. Скипы (рис. 2.18.) для вертикальных стволов состоят из кузова и рамы; подразделяются на опрокидные, с отклоняющимся кузовом и с неподвижным кузовом в зависимости от положения кузова по отношению к раме во время разгрузки; по форме кузова – на призматические, цилиндрические и бокалообразные. Рама скипа всегда занимает вертикальное положение.

Скип опрокидной (рис. 2.19, а) наиболее прост по конструкции, имеет кузов призматической формы с плоским днищем, соединённый шарнирно с рамой в нижней части и опирающийся на нижнюю балку рамы. Рама состоит из вертикальных стоек и горизонтальных верхней и нижней балок. К верхней балке рамы крепится подвесное устройство, соединяющее скип с канатом подъемной машины. Загрузка скипа производится через верх кузова, разгрузка также через верх при повороте кузова на 135–145° при взаимодействии разгрузочных роликов кузова с разгрузочными кривыми на копре. Опрокидные скипы благодаря максимальному разгрузочному окну преимущественно применяются для крупнокусковых и мелких слипающихся материалов.

Отклоняющийся кузов (рис. 2.19, б) в скипе шарнирно подвешен к верхней части рамы и имеет откидное днище в виде затвора с бортовыми стенками. Разгрузка скипа происходит при отклонении кузова на  $15^\circ$  от взаимодействия разгрузочных роликов кузова с разгрузочными кривыми. При этом затвор катится по наклонным направляющим на раме и устанавливается под углом  $45\text{--}55^\circ$ , открывая разгрузочное отверстие и направляя в бункер разгружаемый материал.

Скип с неподвижным кузовом (рис. 2.19, в) отличается жёстким соединением кузова с рамой. Дно кузова наклонено в сторону разгрузки на  $45\text{--}55^\circ$ , в нижней его части имеется разгрузочное отверстие, закрываемое секторным затвором (рис. 2.20.).

При разгрузке скипа секторный затвор от взаимодействия разгрузочных роликов с разгрузочными кривыми вращается вокруг своей оси и поднимается вверх, открывая разгрузочное отверстие. При этом шарнирно связанный с затвором рештак катится вниз по наклонным направляющим на раме скипа и устанавливается под углом  $45\text{--}55^\circ$ . Типы затворов скипа с неподвижным кузовом: секторный, шиберный, клапанный, рычажный, крюковый и др. Первые три – наиболее надёжны в эксплуата-

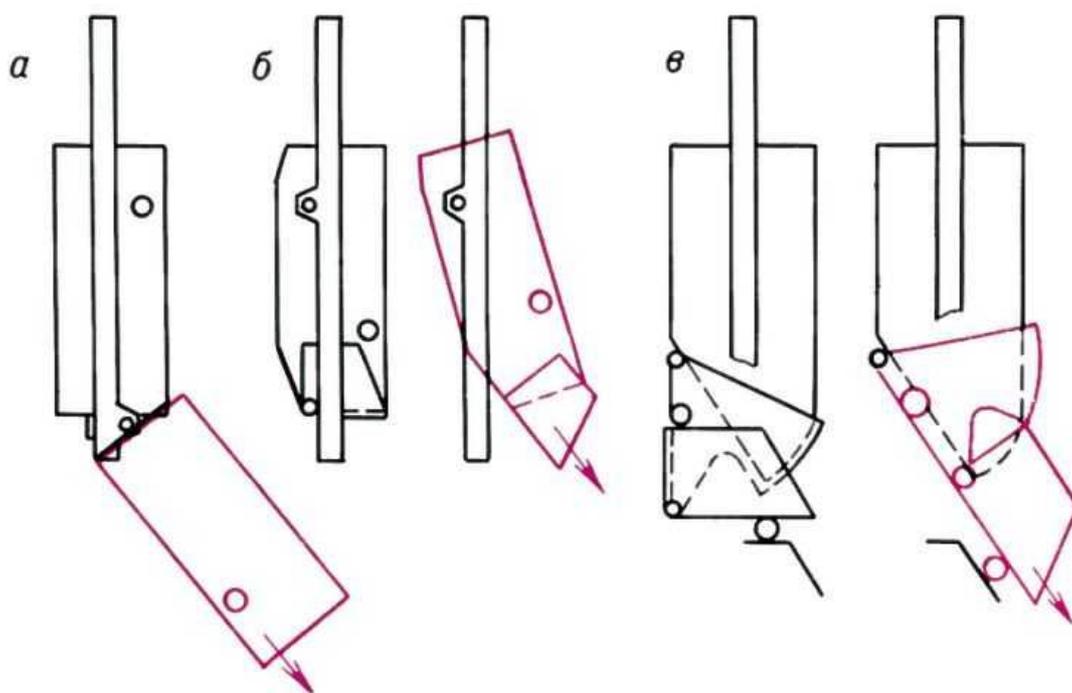


Рис. 2.19. Принципиальные схемы конструкции скипов: а) опрокидного, б) с отклоняющимся кузовом, в) с неподвижным кузовом и секторным затвором

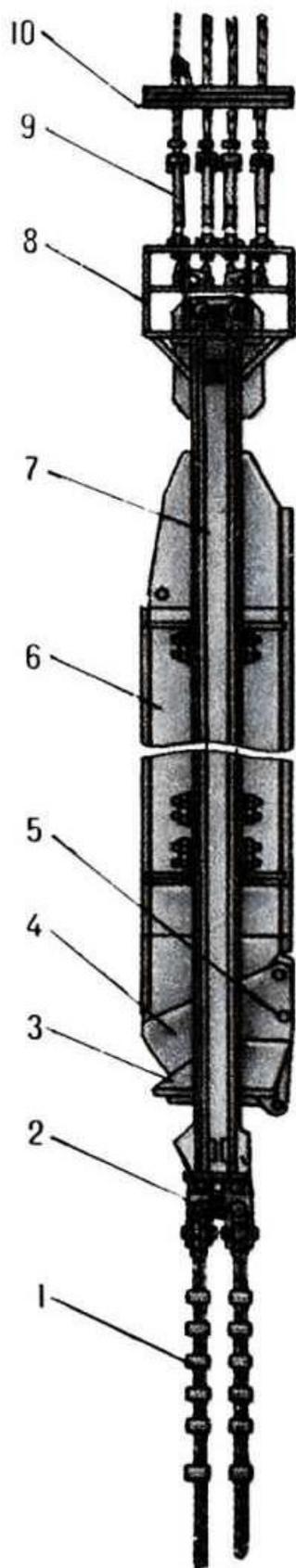


Рис. 2.20. Конструкция шахтного скипа: 1 – прицепное устройство, 2 – направляющие ролики, 3 – решетка, 4 – секторный затвор, 5 – разгрузочные ролики, 6 – кузов, 7 – рама, 8 – площадка для осмотра ствола, 9 – подвесное устройство, 10 – зонт для защиты от капежа

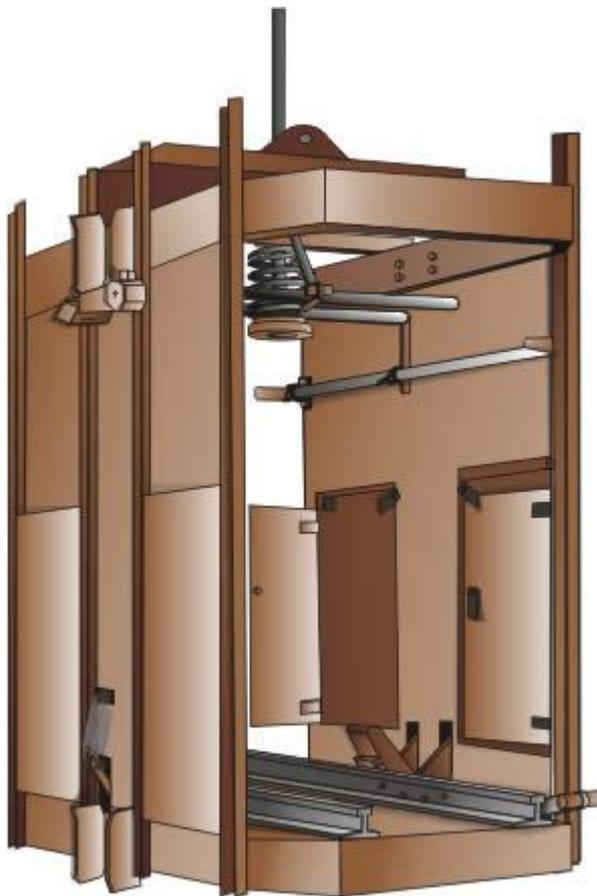
Опрокидным и с отклоняющимся кузовом скипам присущи недостатки, ограничивающие их использование: неуравновешенность подъёма из-за передачи части веса скипа на разгрузочные кривые, повышенная мощность привода подъёмной машины, высота копра, его прочность, увеличенное время на разгрузку.

На действующих шахтах эксплуатируются скипы вместимостью от 2 до 35 м<sup>3</sup>. Наибольшая грузоподъёмность скипов 55–60 т (на шахте «Первомайская-1», в Швеции на руднике «Кируна»).

Скипы для наклонных стволов подразделяются на опрокидные, с откидной задней стенкой и с донной разгрузкой, оснащены колёсами и передвигаются по рельсовой колее, применяются в стволах с углом наклона 25–70°. Опрокидной скип для наклонных стволов состоит из кузова, поворачивающегося на оси относительно рамы с двумя парами колёс. На месте разгрузки передние колеса скипа катятся по изогнутым рельсам той же колеи, а задние продолжают движение по прямым вспомогательным.

**Клеть шахтная** – транспортный сосуд для подъёма по стволу полезного ископаемого и породы в вагонетках, спуска и подъёма людей, материалов и оборудования. Начало применения клетей относится к концу 18 века, когда они заменили на шахтном подъёме бабды.

Клети используются на одноканатных и многоканатных подъёмных установках, двухклетевых и одноклетевых (с противовесом) подъёмах главных и вспомогательных стволов. По транспортному назначению клетки разделяют на грузовые, грузо-людские и людские. В качестве основных подъёмных сосудов они, как правило, применяются на неглубоких, ограниченной производственной мощности и старых шахтах.



*Рис. 2.21. Неопрокидная одноэтажная грузовая клеть*

Клетки вертикальных стволов бывают неопрокидными и опрокидными. Неопрокидные клетки наиболее распространены, имеют один этаж и более, вмещают по несколько вагонеток. На шахтах в основном применяют стандартные одно- и двухэтажные неопрокидные клетки с одной вагонеткой в этаже. Конструктивно неопрокидная клетка (рис. 2.21.) для одноканатного подъёма представляет собой несущий стальной каркас, обшитый по длинным сторонам перфорированной листовой сталью; снабжается направляющими стопорным, подвесным и парашютным устройствами, а также рельсовой колеёй для вагонетки. На коротких сторонах клетки навешены дверцы, запирающиеся снаружи. Недостаток неопрокидных клеток – ограниченная возможность повышения полез-

ной нагрузки, определяемая типоразмером вагонетки, а при увеличении их числа – количеством этажей клетки, сечением ствола.



*Рис. 2.22. Опрокидная клеть*

Опрокидные клетки позволяют осуществлять подъем полезного ископаемого в шахтных вагонетках без выкатывания их из клетки. Клетки этого типа применяют в основном на вспомогательных подъемных установках вертикальных стволов. Основные элементы такой клетки – вертикально перемещающаяся по проводникам рама и подвижная платформа, соединённые осью вращения. К раме присоединяются прицепное устройство, парашюты и крыша (зонт). На раме платформы установлены рельсовые пути и стопоры, удерживающие вагонетку при движении клетки и во время опрокидывания платформы. В верхней части платформы закреплены разгрузочные ролики. Используются клетки двух конструкций – с поворотом платформы на 45 и 135°. Наибольшее распространение получили клетки со вторым параметром. Клеть загружается на нижней приёмной площадке с помощью толкателей, разгружается на поверхности автоматически. Ролики входят в разгрузочные кривые копра, рама клетки движется вверх по направляющим, а платформа поворачивается вокруг оси, и находящаяся в ней вагонетка, удерживаемая стопорами за колёса и кузов, разгружается. Преимущество опрокидных клеток – автоматическая разгрузка вагонеток, что упрощает поверхностное хозяйство шахты и организацию откатки. Недостатки: масса, более чем в 1,5 раза превышающая соответствующий показатель неопрокидной клетки той же грузоподъёмности; большие динамические нагрузки на копёр; меньшая безопасность транспортирования людей и др.

## 3. ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

### 3.1. Общие сведения и основные понятия

**Обогащением полезных ископаемых** называют совокупность процессов первичной обработки минерального сырья, добытого из недр, в результате которых происходит отделение полезных минералов (а при необходимости и их взаимное разделение) от пустой породы.

При обогащении возможно получение как конечных товарных продуктов (известняк, асбест, графит и др.), так и концентратов, пригодных для дальнейшей химической или металлургической переработки. Так как большая часть ценного компонента переходит в один продукт (концентрат), другой продукт, получаемый в процессе обогащения и называемый **отходами**, обедняется. В отходах обогащения содержатся главным образом минералы пустой породы и незначительная доля ценных компонентов. **Промежуточным продуктом (промпродуктом)** называется продукт переработки, содержание полезного компонента в котором больше, чем в отходах, но меньше, чем в концентрате. Обогащение – наиважнейшее промежуточное звено между добычей полезных ископаемых и использованием извлекаемых веществ. В основе теории обогащения лежит анализ свойств минералов и их взаимодействия в процессах разделения – минералургия.

**Полезным или ценным компонентом** называют тот элемент или природный минерал, с целью получения которого добывается данное полезное ископаемое.

**Вредными примесями** называют элементы или природные соединения, присутствие которых в полезном ископаемом ухудшает его качество (например, присутствие серы и фосфора в железных рудах и коксующихся углях резко снижает их качество).

**Обогатительными фабриками** называют промышленные предприятия, на которых перерабатывают полезные ископаемые и выделяют из них один или несколько товарных продуктов с повышенным содержанием ценных компонентов и пониженным содержанием вредных примесей.

Фабрики по территориальному расположению подразделяются:

- на индивидуальные обогатительные фабрики (ОФ), предназначенные для обогащения углей одной шахты и расположенные на ее территории;
- на групповые фабрики (ГОФ), предназначенные для обогащения углей группы шахт и расположенные на территории одной из шахт;

- на центральные обогатительные фабрики (ЦОФ), предназначенные для обогащения углей группы шахт и территориально не связанные ни с одной из шахт.

Обогащение позволяет существенно увеличить концентрацию ценных компонентов. Содержание важных цветных металлов (меди, свинца, цинка) в рудах составляет 0,3–2 %, а в их концентратах – 20–70 %. Концентрация молибдена увеличивается от 0,1–0,05 % до 47–50 %, вольфрама – от 0,1–0,2 % до 45–65 %, зольность угля снижается от 25–35 % до 2–15 %. В задачу обогащения входит также удаление вредных примесей минералов (мышьяк, сера, кремний и т. д.). Извлечение ценных компонентов в концентрат в процессах обогащения составляет от 60 до 95 %.

### *Технологические показатели обогащения*

К основным показателям относят: **содержание компонента** в исходном сырье и продуктах обогащения; **выход** продуктов обогащения; **извлечение** компонентов в продукты обогащения.

**Содержанием компонента** называется отношение массы компонента к массе продукта, в котором он находится. Содержание компонентов обычно определяется химическими анализами и выражается в процентах, долях единицы или для драгоценных металлов в граммах на тонну (г/т). Содержание компонентов принято обозначать греческими буквами:  $\alpha$  – содержание в исходной руде;  $\beta$  – содержание в концентрате, промпродукте или отходах ( $\beta_k$ ,  $\beta_{пш}$ ,  $\beta_{отх}$ ) соответственно.

**Выходом** продукта обогащения называется отношение массы полученного продукта к массе переработанного исходного сырья. Выход выражается в процентах или долях единицы и обозначается греческой буквой  $\gamma$ .

**Извлечением** компонента в продукт обогащения называется отношение массы компонента в продукте к массе того же компонента в исходном полезном ископаемом. Извлечение выражается обычно в процентах или долях единицы и обозначается греческой буквой  $\varepsilon$ . Извлечение полезного компонента в концентрат характеризует полноту его перехода в этот продукт в процессе обогащения.

Все технологические показатели обогащения взаимосвязаны. Поэтому, зная значения одних, можно расчетным путем получить значения других.

### 3.2. Методы и процессы обогащения полезных ископаемых, область их применения

Переработка полезных ископаемых на обогатительных фабриках включает ряд последовательных операций, в результате которых достигается отделение полезных компонентов от примесей. По своему назначению процессы переработки полезных ископаемых разделяют на подготовительные, основные (обогатительные) и вспомогательные (заключительные).

**Подготовительные процессы** предназначены для раскрытия или открытия зёрен полезных компонентов (минералов), входящих в состав полезного ископаемого, и деления его на классы крупности, удовлетворяющие технологическим требованиям последующих процессов обогащения. К подготовительным относят процессы дробления, измельчения, грохочения и классификации.

**Дробление и измельчение** – технологическая операция и процесс разрушения и уменьшения размеров кусков минерального сырья (полезного ископаемого) под действием внешних механических, тепловых, электрических сил, направленных на преодоления внутренних сил сцепления, связывающих между собой частички твёрдого тела.

По физике процесса между дроблением и измельчением нет принципиальной разницы. Условно принято считать, что при дроблении получают частицы крупнее 5 мм, а при измельчении – мельче 5 мм. Размер наиболее крупных зёрен, до которого необходимо раздробить или измельчить полезное ископаемое при его подготовке к обогащению, зависит от размера включений основных компонентов, входящих в состав полезного ископаемого, и от технических возможностей оборудования, на котором предполагается проводить следующую операцию переработки раздробленного (измельчённого) продукта.

Дробление проводят на специальных дробильных установках. Дроблением называется процесс разрушения твердых тел с уменьшением размеров кусков до заданной крупности, путем действия внешних сил, преодолевающих внутренние силы сцепления, связывающие между собой частицы твердого вещества.

**Основные (обогатительные) процессы** предназначены для разделения исходного минерального сырья с раскрытыми или открытыми зёрнами полезного компонента на соответствующие продукты. В результате основных процессов полезные компоненты выделяют в виде концентратов, а породные минералы удаляют в виде отходов, которые направляют в отвал. В процессах обогащения используют отличия минералов полезного компонента и пустой породы в плотности, магнитной

восприимчивости, смачиваемости, электропроводности, крупности, форме зёрен, химических свойствах и др.

Различия в плотности минеральных зёрен используются при обогащении полезных ископаемых **гравитационным методом**. Его широко применяют при обогащении угля, руд и нерудного сырья.

**Магнитное обогащение** полезных ископаемых основывается на неодинаковом воздействии магнитного поля на минеральные частички с разной магнитной восприимчивостью и на действии коэрцитивной силы. Магнитным способом, используя магнитные сепараторы, обогащают железные, марганцевые, титановые, вольфрамовые и другие руды. Кроме того, этим способом выделяют железистые примеси из графитовых, тальковых и других полезных ископаемых, применяют для регенерации магнетитовых суспензий.

Различия в смачиваемости компонентов водой используется при обогащении полезных ископаемых **флотационным способом**. Особенностью флотационного способа является возможность штучного регулирования смоченности и разделения очень тонких минеральных зёрен. Благодаря этим особенностям флотационный способ является одним из наиболее универсальных, он используется для обогащения разнообразных тонковкрапленных полезных ископаемых.

Полезные ископаемые, компоненты которых имеют различия в электропроводности или имеют способность под действием тех или иных факторов приобретать разные по величине и знаку электрические заряды, могут обогащаться способом **электрической сепарации**. К таким полезным ископаемым относятся апатитовые, вольфрамовые, оловянные и другие руды.

**Обогащение по крупности** используется в тех случаях, когда полезные компоненты представлены более крупными или, наоборот, более мелкими зёрнами в сравнении с зёрнами пустой породы. В россыпях полезные компоненты находятся в виде мелких частичек, поэтому выделение крупных классов позволяет избавиться от значительной части породных примесей.

**Различия в форме зёрен и коэффициенте трения** позволяет отделять плоские чешуйчатые частички слюды или волокнистые агрегаты асбеста от частичек породы, которые имеют округлую форму. При движении по наклонной плоскости волокнистые и плоские частички скользят, а округлые зёрна скатываются вниз. Коэффициент трения качения всегда меньше коэффициента трения скольжения, поэтому плоские и округлые частички движутся по наклонной плоскости с разными скоростями и по разным траекториям, что создаёт условия для их разделения.

Различия в оптических свойствах компонентов используется при обогащении полезных ископаемых способом **фотометрической сепарации**. Этим способом осуществляется механическое рудоразделение зёрен, имеющих разный цвет и блеск (например, отделение зёрен алмазов от зёрен пустой породы).

Отличия в адгезионных и сорбционных свойствах минералов полезного компонента и пустой породы лежит в основе **адгезионного и сорбционного способов** обогащения золота и адгезионного обогащения алмазов (способы принадлежат к специальным способам обогащения).

Разные свойства компонентов полезного ископаемого взаимодействовать с химическими реагентами, бактериями и (или) их метаболитами обуславливает принцип действия химического и бактериального **выщелачивания** ряда полезных ископаемых (золото, медь, никель).

Использование того или иного метода обогащения зависит от минерального состава полезных ископаемых, физических и химических свойств разделяемых компонентов.

**Вспомогательные (заключительные) операции** в схемах переработки полезных ископаемых предназначены, как правило, для снижения влажности до кондиционного уровня, а также для регенерации оборотных вод обогатительной фабрики.

Основные заключительные операции – сгущение пульпы, обезвоживание и сушка продуктов обогащения. Выбор метода обезвоживания зависит от характеристик материала, который обезвоживается, (начальной влажности, гранулометрического и минералогического составов) и требований к конечной влажности. Часто необходимой конечной влажности трудно достичь за одну стадию, поэтому на практике для некоторых продуктов обогащения используют операции обезвоживания разными способами в несколько стадий.

Для обезвоживания продуктов обогащения используют способы дренирования (грохоты, элеваторы), центрифугирования (фильтрующие, отсаживающие и комбинированные центрифуги), сгущения (сгустители, гидроциклоны), фильтрования (вакуум-фильтры, фильтр-прессы) и термической сушки.

Кроме технологических процессов, для нормального функционирования обогатительной фабрики должны быть предусмотрены процессы производственного обслуживания: внутрицеховой транспорт полезного ископаемого и продуктов его переработки, снабжения фабрики водой, электроэнергией, теплом, технологический контроль качества сырья и продуктов переработки.

### 3.3. Оборудование для обогащения полезных ископаемых

В общей стоимости оборудования обогатительных фабрик стоимость подготовительного оборудования дробильно-измельчительных отделений составляет около 60 %.

Основными задачами подготовительного оборудования являются:

- придание исходному материалу заданной крупности;
- разрушение рудных сростков до обособленных мономинеральных частиц (раскрытие);
- классификация исходных продуктов по крупности;
- разрушение негабаритных кусков руды в исходном продукте и удаление из последнего кусков металлолома.

Все эти задачи соответствуют названию этих машин и сводятся к подготовке исходного материала перед основными процессами обогащения, в которых происходит разделение минералов по их физическим и физико-химическим признакам с получением продуктов заданного качества.

#### *Грохоты и их классификация*

Все типы грохотов предназначены для разделения кусковых руд на продукты различных классов крупности просеиванием через отверстия стандартного размера. Просеивающая поверхность (сито) является основным рабочим элементом любого грохота и может быть составной (колосниковой), плетеной, наборной, состоять из металлических листов с отверстиями (решета) и др.

По характеру движения рабочего органа или способу перемещения материала различают:

- неподвижные грохоты (с неподвижной просеивающей поверхностью – колосниковые, дуговые, конические);
- частично подвижные грохоты (с движением отдельных элементов просеивающей поверхности – валковые, цепные, с возбуждением колебаний гибкого сита и др.);
- вращающиеся грохоты (с вращательным движением просеивающейся поверхности – барабанные);
- плоские подвижные грохоты (с колебательным движением всей просеивающей поверхности – гирационные и вибрационные);
- гидравлические грохоты (грохоты с перемещением материала в струе воды или пульпы – гидроциклоны).

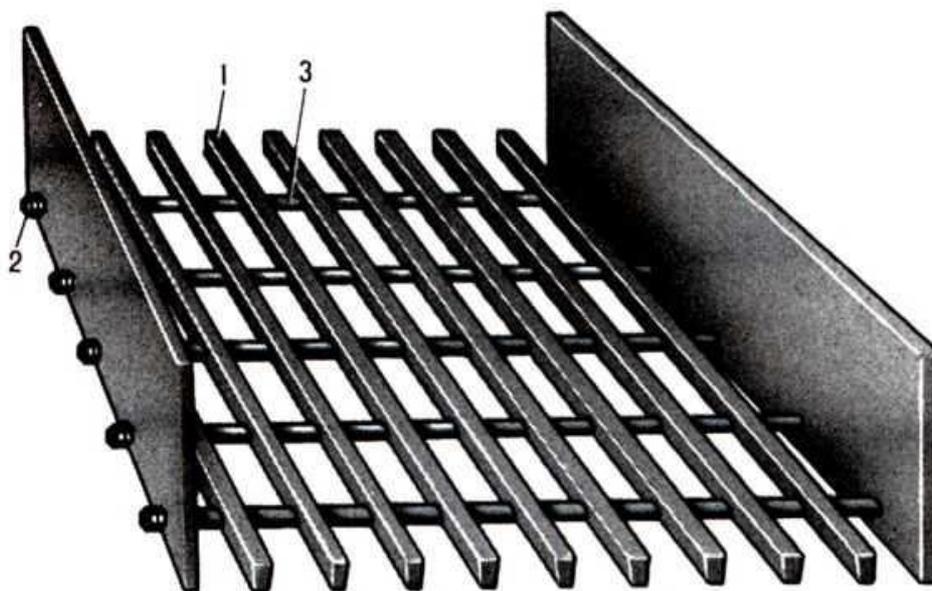
По форме рабочей поверхности различают:

- плоские грохоты (неподвижные грохоты, частично подвижные грохоты, плоские подвижные грохоты, гидравлические грохоты);
- барабанные грохоты (вращающиеся грохоты);
- дуговые грохоты (гидравлические грохоты).

По расположению просеивающей поверхности различают:

- наклонные грохоты (в некоторых случаях вертикальные);
- горизонтальные грохоты (или слабонаклонные).

Колосниковый грохот – машина или устройство для разделения (сортировки) сыпучих материалов крупностью до 1200 мм. Колосниковые грохоты используют при предварительном грохочении, как правило, перед дроблением для выделения из горной массы кусков крупностью до 200 мм, не требующих дробления. Различают колосниковые грохоты неподвижные (рис. 3.1) и подвижные. Подвижные колосниковые грохоты бывают двух типов – консольный вибрирующий и вибрационный грохот. Колосниковые грохоты отличаются чрезвычайно простой конструкцией, допускают разгрузку автомашин, шахтных скипов и железнодорожных вагонов непосредственно на колосниковую решётку. Изготавливают колосниковые грохоты обычно на предприятиях из старых рельсов, металлических балок и др.



*Рис. 3.1. Колосниковый грохот: 1 – колосник; 2 – стяжной болт; 3 – распорная труба*

Подвижные (консольные вибрирующие) колосниковые грохоты (рис. 3.2) собирают из отдельных колосников, один конец которых жёстко закрепляют на балках несущей конструкции. Куски крупного материала, падая на решётку, создают вибрации консольных концов колосников, поэтому колосники меньше забиваются липким материалом.

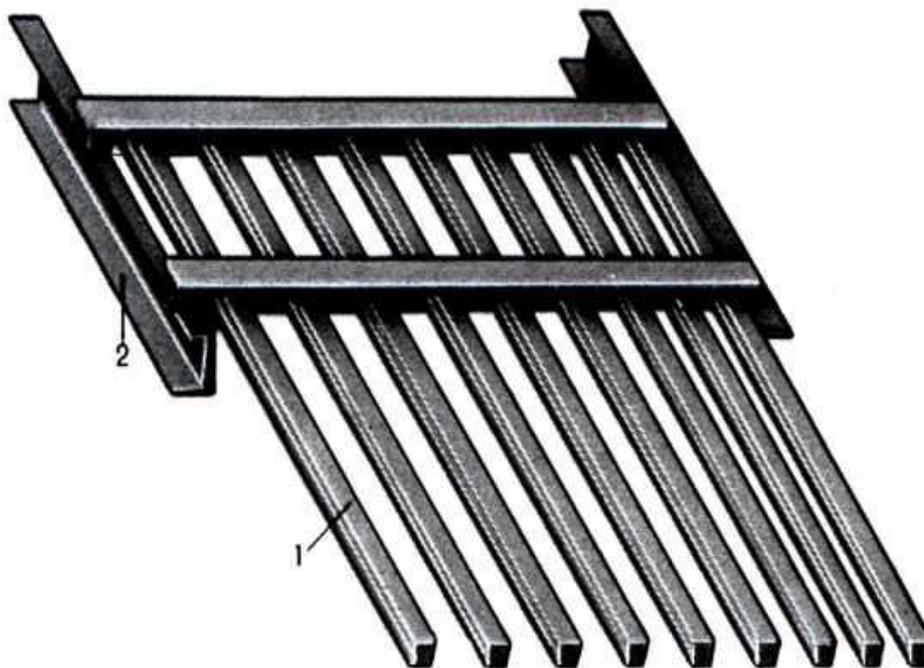


Рис. 3.2. Консольный вибрирующий грохот: 1 – колосник; 2 – крепление

Вибрационный грохот – машина с вибрационным приводом, предназначенная для сортировки (грохочения) сыпучих материалов путём их просеивания через сита (или решёта).

Грохочение на частично подвижных грохотах с движением отдельных элементов просеивающей поверхности осуществляют в валковых грохотах, просеивающая поверхность которых образована дисками, насаженными на ряд валков, вращающихся в направлении подачи материала. Валковые грохоты применяют при предварительном грохочении углей для выделения самых крупных классов, а также при грохочении известняка и других неметаллических полезных ископаемых перед первичным дроблением. Производительность валковых грохотов несколько выше, чем неподвижных колосниковых, однако забиваемость рабочих отверстий делает их эксплуатационно ненадежными.

Валковые грохоты (рис. 3.3) состоят из набора параллельных, расположенных на некотором расстоянии друг от друга валков 1, установленных на наклонной раме 2 и вращающихся в направлении движения материала. На валки насажены или отлиты заодно с ними круглые или фигурные диски. При сортировке каменных материалов применяются

круглые диски, причем каждый последующий валок с дисками должен вращаться быстрее предыдущего. Диски насажены на валок эксцентрично для разрыхления материала и его продвижения по грохоту. Привод грохота осуществляется от электродвигателя через ременную передачу, ведомый шкив 3 которой насажен на главный вал 4. От главного вала движение передается через звездочки 5 и цепную передачу 6 на каждый валок.

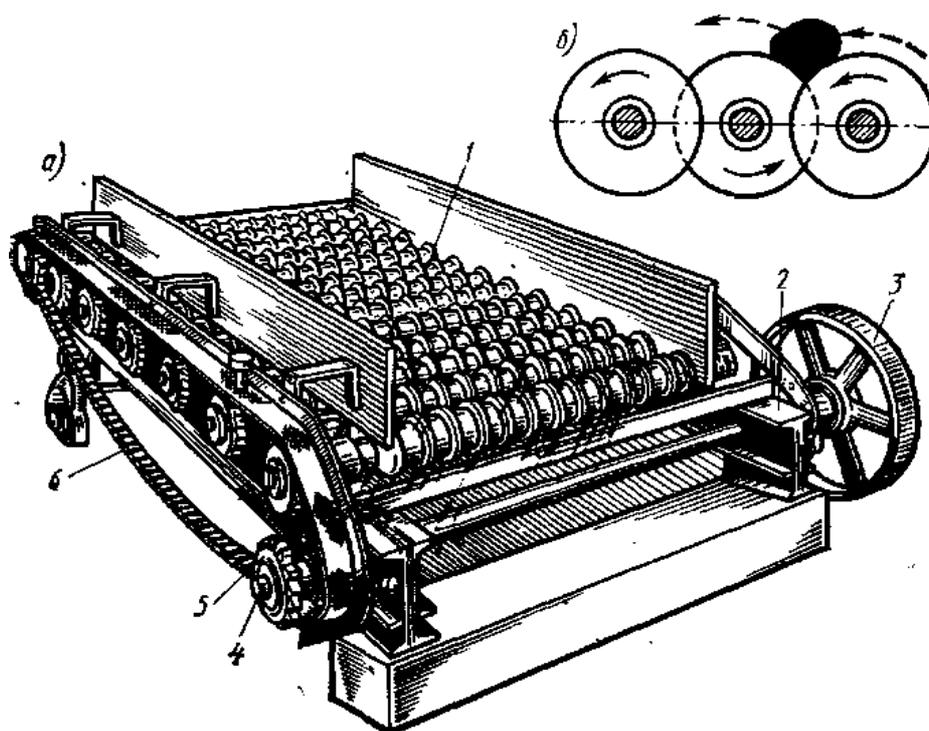


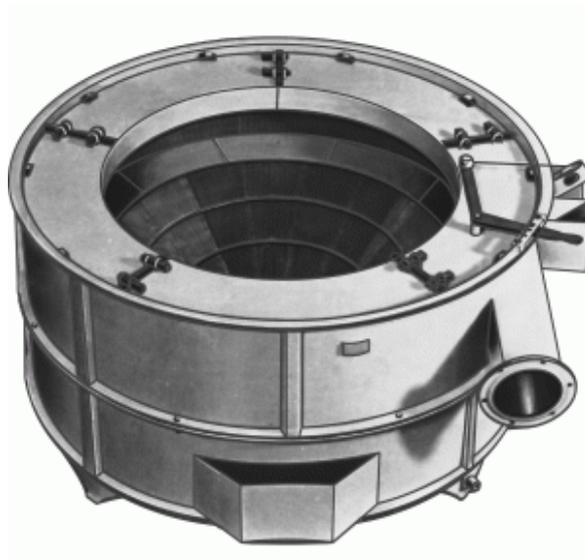
Рис. 3.3. Валковый грохот: а) общий вид 1 – валки, 2 – рама, 3 – шкив главного привода, 4 – приводной вал, 5 – звездочка, 6 – цепь;  
б) схема движения материала

Вращающиеся грохоты – барабанные вращающиеся слабонаклонные аппараты с цилиндрическим, реже коническим барабаном, выполненным в виде просеивающей поверхности для промывки глинистых руд (в этом случае такие грохоты называются барабанными промывочными или скрубберами), для промывки и сортировки щебня, гравия и песка (гравиемойки, гравиесортировки), для сортировки асбестового волокна, графитового материала (в последнем случае барабан имеет многогранную призматическую поверхность, состоящую из плоских сит), для улавливания скрапа и крупных кусков руды, разгружающихся из мельниц вместе с пульпой, для сортировки изношенных шаров при перефутеровке шаровых мельниц. Эффективность грохочения барабан-

ных грохотов в пределах от 60 до 70 %, качающихся – от 70 до 80 %, вибрационных – от 90 до 98 %.



*Рис. 3.4. Барабанный грохот SYTM на шасси*

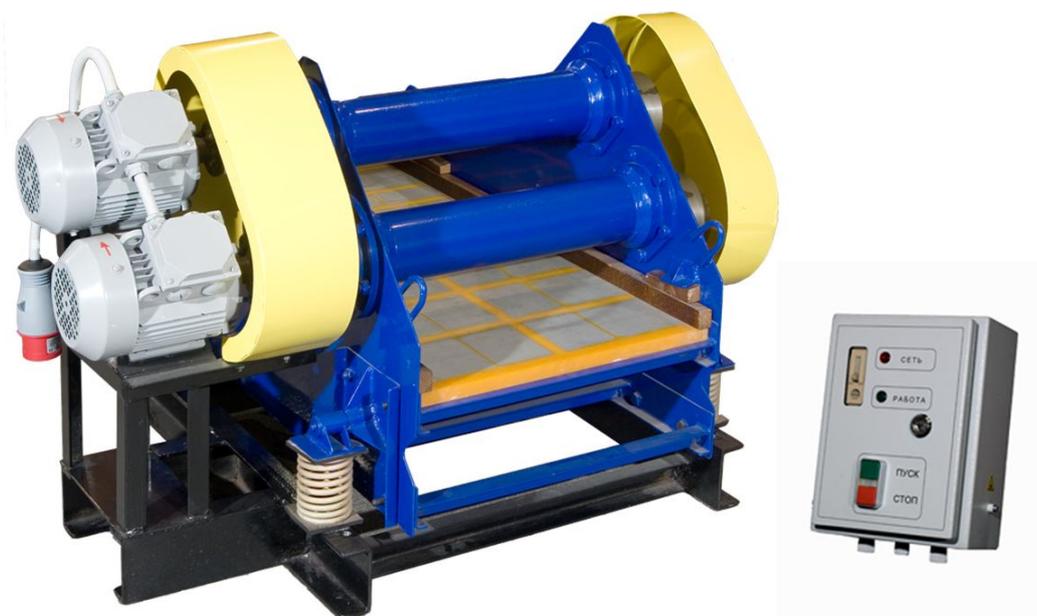


*Рис. 3.5. Конусный грохот*

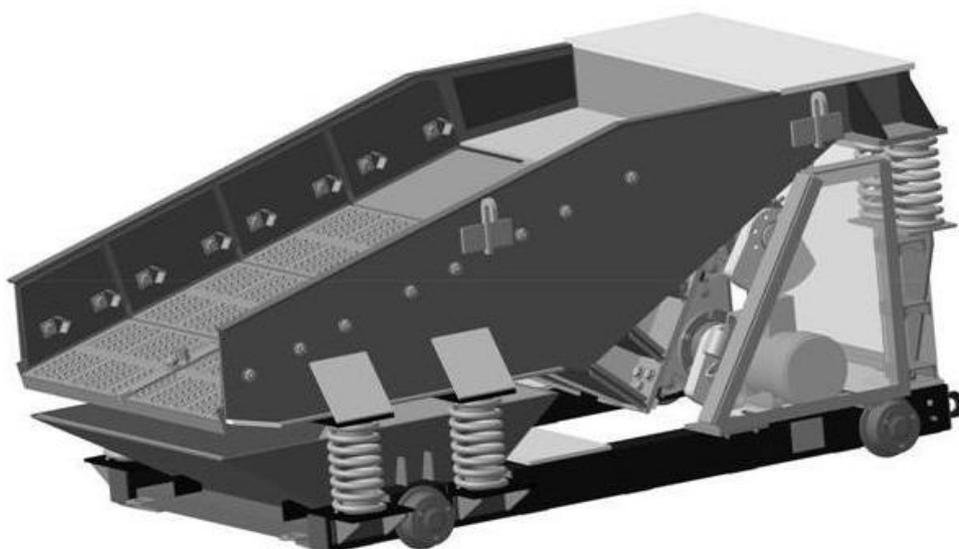


*Рис. 3.6. Инерционный грохот ГИЛ 42*

Подвижные грохоты представлены плоскими аппаратами, совершающими симметрично продольные колебания – наклонные ( $15\text{--}26^\circ$ ), слабонаклонные ( $5\text{--}6^\circ$ ) и горизонтальные. Исторически в 80-е гг. XX века на обогатительных фабриках получили распространение три конструктивно-кинематических типа грохотов: инерционные наклонные, самобалансные (вибрационные с прямолинейными колебаниями) и с самосинхронизирующимися вибровозбудителями (рис. 3.6. – рис. 3.8.).



*Рис. 3.7. Грохот самобалансный легкого типа ГСЛ 52*



*Рис. 3.8. Грохот с самосинхронизирующимися вибровозбудителями ГА-41*

Буква **Г** обозначает грохот, **И** – инерционный, **С** – самобаланс- ный, **Р** – резонансный, **А** – для агломерата, **Л** – легкого типа, **С** – сред- него типа, **Т** – тяжелого типа. Первая цифра за буквами указывает ши- рину грохота (3 – 1250 мм; 4 – 1500 мм; 5 – 1750 мм; 6 – 2000 мм; 7 – 2500 мм) вторая цифра – число сит. Например, ГИТ71 означает грохот инерционный тяжелого типа шириной сита 2500 мм, односитный.

### *Оборудование для дробления и измельчения*

Машины, с помощью которых производятся эти процессы назы- ваются дробилками и мельницами. Так как получить необходимую сте- пень дробления в одной дробилке обычно невозможно, то дробление осуществляется в несколько стадий. Дробление горных пород обычно производится сухим способом, а измельчение – мокрым, кроме специ- альных случаев.

Основные механизмы разрушения при дроблении и измельчении:

- раздавливание (дробилка);
- раскалывание (дробилка);
- истирание (мельница);
- удар (мельница).

Таблица 3.1.

### *Конструктивные исполнения дробилок и мельниц*

Основные типы конструкции	
<i>дробилок</i>	<i>мельниц</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• щековые;</li> <li>• конусные;</li> <li>• валковые;</li> <li>• молотковые.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• барабанные;</li> <li>• роликовые;</li> <li>• ударно-центробежные;</li> <li>• жерновые;</li> <li>• вибрационные;</li> <li>• струйные.</li> </ul>

Принцип работы щековой дробилки основан на сжатии рабочими поверхностями (щеками) материала, что приводит к возникновению больших напряжений сжатия и сдвига, разрушающих материал. На рис. 3.9., *a* показан принцип работы щековой дробилки. Одна из щек дробилки делается неподвижной. Вторая щека крепится на шатуне, обеспечивающем перемещение верхнего края щеки так, что щека совершает качающееся движение. Вал шатуна приводится во вращение через кли- норременную передачу от двигателя (электрический, дизельный).

На этом же валу крепится второй шкив, играющий роль маховика и противовеса для основного шкива. Нижний край подвижной щеки имеет возможность регулировки положения в горизонтальном направлении (механический привод или гидравлический привод), которое влияет на ширину минимальной щели, определяющую максимальную крупность материала на выходе из дробилки. Щеки образуют клинообразную форму камеры дробления, в которой материал под действием силы тяжести и после разрушения продвигается от верхней части, куда загружаются крупные куски, до выходной (разгрузочной) щели. Боковые стенки в процессе дробления не участвуют. Сейчас применяют щековые дробилки простого и сложного качения щеки. В последних дробилках достигается более высокая степень нагрузки на материал (большие напряжения сдвига).

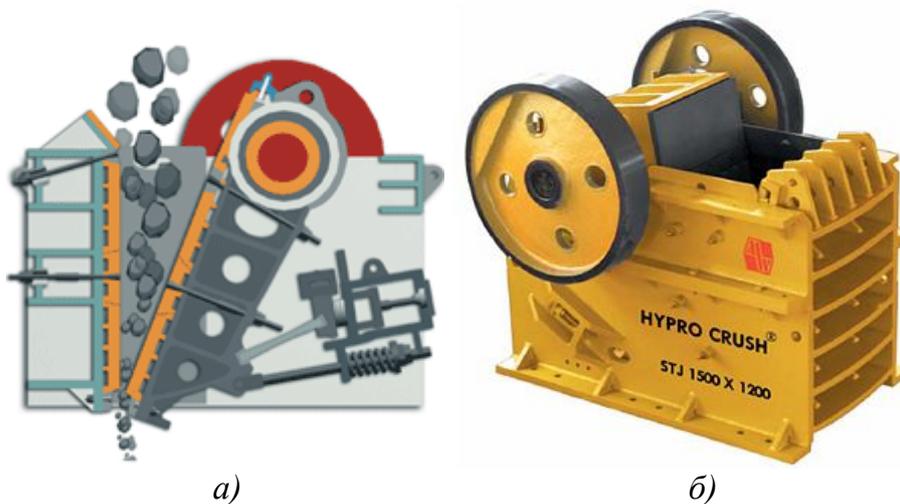


Рис. 3.9. Дробилка щековая: а) принцип работы; б) общий вид

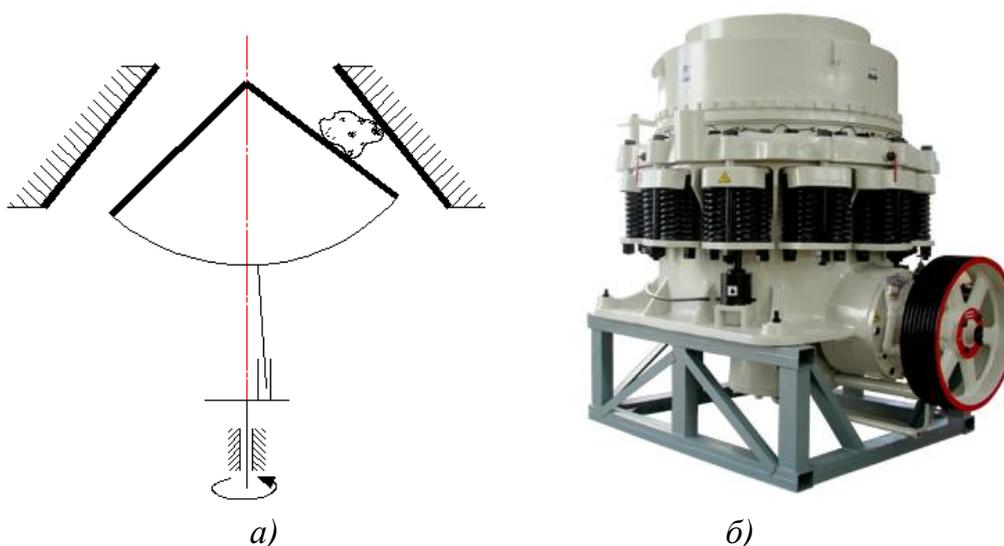


Рис. 3.10. Дробилка конусная: а) принцип работы; б) общий вид

Дробилка конусная – машина непрерывного действия (процесс дробления и разгрузки происходит непрерывно, холостой ход отсутствует), предназначенная для дробления рудных и нерудных полезных ископаемых (кроме пластических) путем дробления материала внутри неподвижной конусной чаши конусом, совершающим круговое качание (гирационное движение).

Дробилка молотковая (роторная) – механическая дробильная машина, применяемая для разрушения кусков, зёрен и частиц минерального сырья и аналогичных материалов, путём дробления породы ударами молотков, шарнирно закреплённых на быстро вращающемся роторе, а также методом разрушения кусков при ударах о плиты корпуса дробилки.

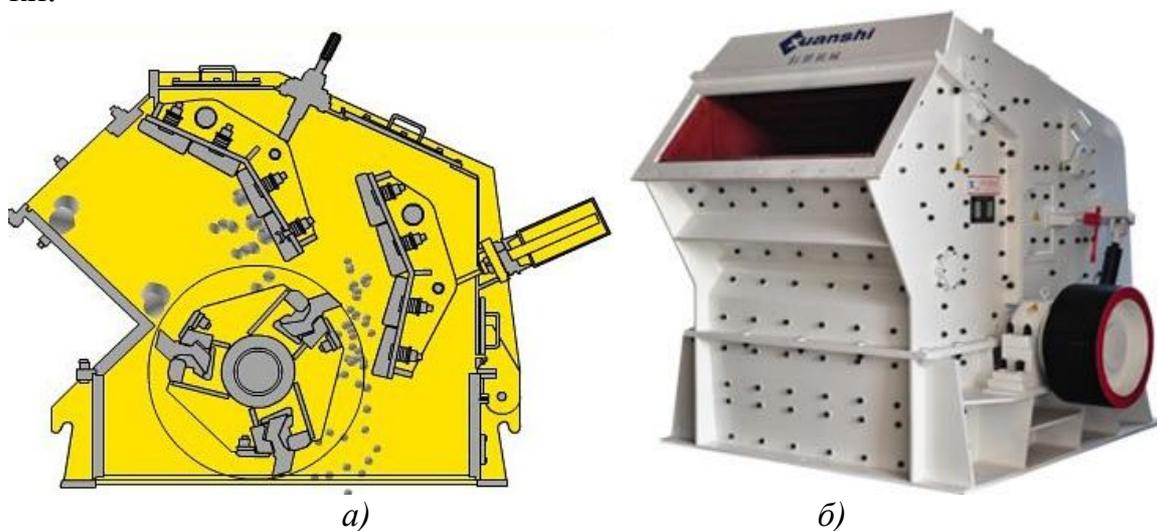


Рис. 3.11. Дробилка молотковая: а) принцип работы; б) общий вид

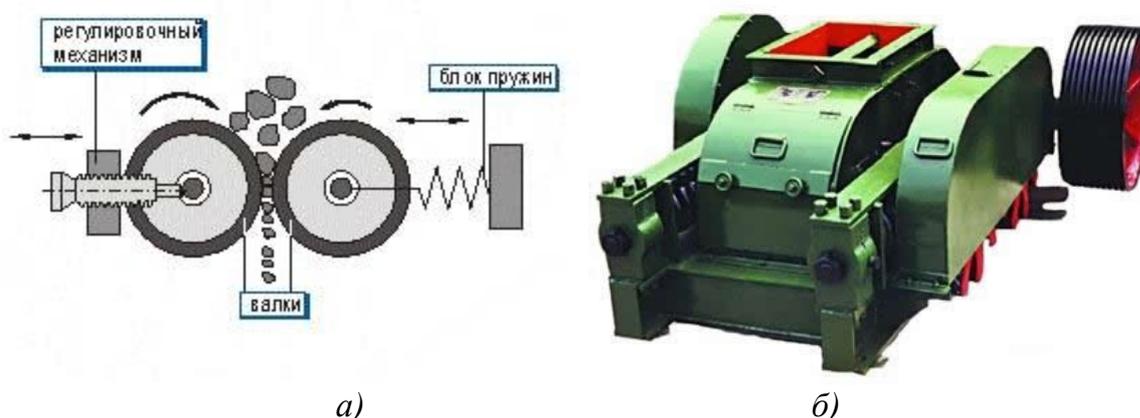


Рис. 3.12. Дробилка валковая: а) принцип работы; б) общий вид

Дробилка валковая – обогатительное дробильное оборудование, оснащённое валками с закреплёнными на них зубчатыми сегментами,

имеющими форму многогранника, жестко насаженного на вал. Предназначена для дробления горных пород путем затягивания материала силами трения и раздавливания между двумя параллельными цилиндрическими валками, вращающимися с одинаковой скоростью навстречу друг другу и отсеивания негабаритных кусков горной породы.

Мельница – машина или аппарат для измельчения сыпучих материалов. Применяют при рудоподготовке, обогащении полезных ископаемых, в металлургии, теплоэнергетике, химической и др. отраслях промышленности.

В механических мельницах измельчающие органы при работе под нагрузкой отделяются друг от друга небольшим переменным слоем измельченного материала, а на холостом ходу, как правило, соприкасаются. Измельчающими органами механических мельниц являются рабочий корпус и находящиеся в нём мелющие тела, которые могут быть как закреплёнными (бегуны, ролики, молотки, била), так и свободно перемещающимися (шары, стержни, галька, куски самого измельчаемого материала).

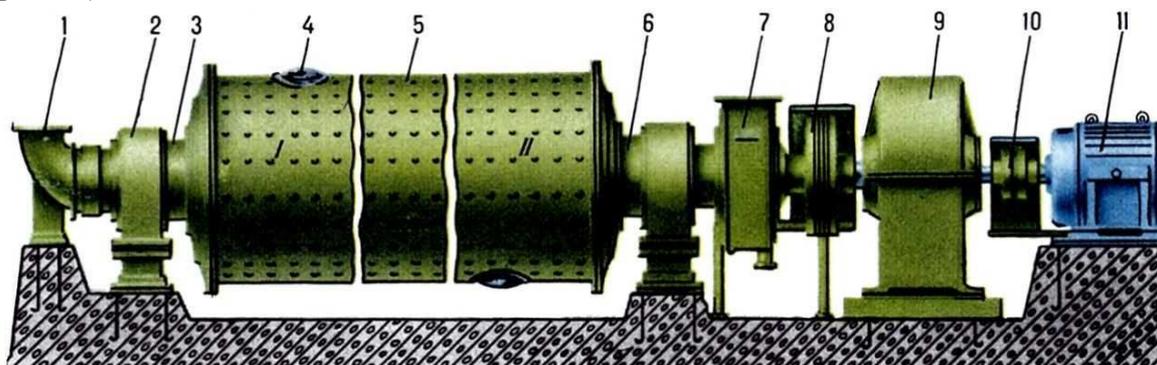


Рис. 3.13. Мельница барабанная: I-II – камеры помола; 1 – загрузочная воронка; 2 – роликовая опора; 3 – загрузочная часть; 4 – люк; 5 – барабан мельницы; 6 – разгрузочная часть; 7 – кожух разгрузки; 8 – эластичная муфта; 9 – редуктор; 10 – пальцевая муфта; 11 – электродвигатель

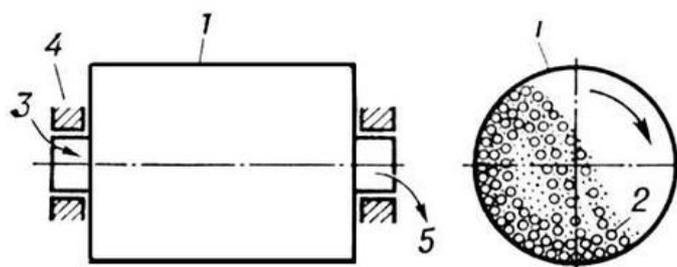


Рис. 3.14. Схема барабанной мельницы: 1 – барабан; 2 – дробящие тела (шары); 3 – загрузка исходного материала; 4 – подшипники; 5 – разгрузка измельченного материала

Барабанные мельницы (рис. 3.13., рис. 3.14.) наиболее распространены в промышленности. Они сравнительно просты по конструкции, удобны и надёжны в эксплуатации, обеспечивают высокую степень измельчения и легко автоматизируются.

Роликовые мельницы относятся к измельчителям раздавливающего и истирающего действия со средними скоростями (100–300 об/мин) движения закреплённых измельчающих органов. Применяют для грубого и среднего измельчения сухим способом мягких и средней твёрдости материалов (углей, цементного сырья, фосфоритов, графита, серы, минеральных красок и др.).

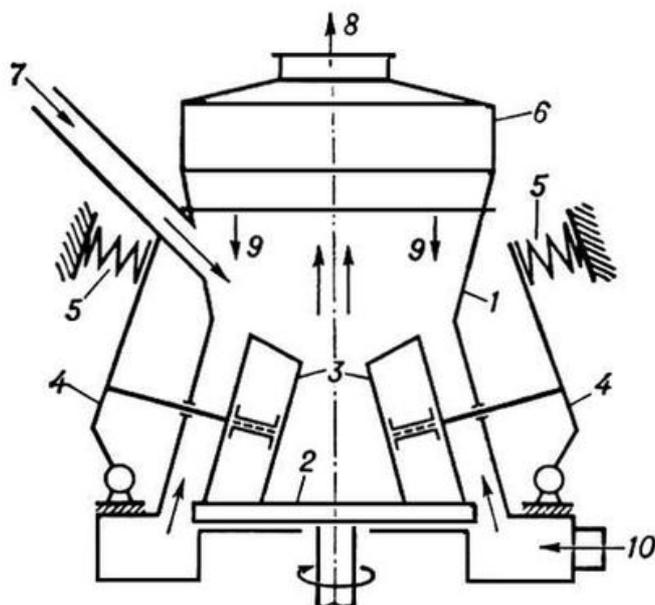


Рис. 3.15. Схема конусной мельницы: 1 – корпус; 2 – мелющее кольцо; 3 – ролик; 4 – нажимной рычаг; 5 – нажимная пружина; 6 – воздушный классификатор; 7 – подача измельчаемого материала; 8 – измельченный продукт; 9 – крупный продукт классификатора; 10 – подача воздуха

Для приготовления пылевидного топлива из угля, сланца, торфа, а также для тонкого помола гипса, мела, охры, каолина, графита и др. хрупких, мягких, вязких и волокнистых материалов используют ударно-центробежные мельницы, применяемые и как дробилки. В молотковых ударно-центробежных мельницах вращается ротор (750–1500 об/мин) с закрепленными на нём шарнирно или жёстко молотками – билами. Исходный материал подаётся на ротор и измельчается ударами бил. Степень измельчения при этом весьма высока и может изменяться от 20 до 500 в зависимости от свойств материала, конструкции мельницы и режима её работы. Основной недостаток молотковых мельниц – быстрый

износ бил и ротора, снижающий производительность и надёжность их работы.

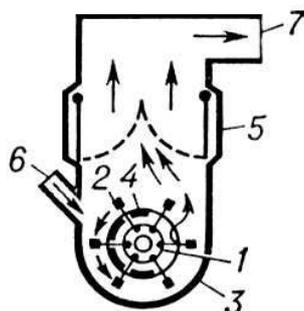


Рис. 3.16. Схема молотковой мельницы: 1 – ротор; 2 – било; 3 – кожух; 4 – отверстие для горячего воздуха; 5 – шахта; 6 – загрузка исходного угля; 7 – подача пыли в точку

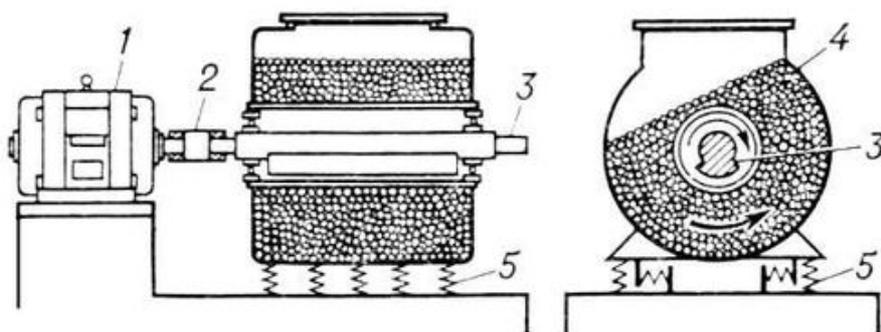


Рис. 3.17. Схема вибрационной мельницы: 1 – электродвигатель; 2 – эластичная муфта; 3 – вал с дебалансом; 4 – барабан; 5 – пружины

Вибрационные мельницы используют для тонкого измельчения при небольшой производительности (до 1 т/ч) сухим и мокрым способом различных материалов (минеральных красителей, цемента и др. местных вяжущих) главным образом с целью улучшения их качества. Барабан мельницы, заполненный шарами на 80 % объёма, установлен на пружинах или резиновых опорах и под действием механического вибратора, дебаланса, вибрирует вместе с шарами с частотой до 3000 колебаний в мин при амплитуде 2–5 мм.

В струйных мельницах для тонкого и сверхтонкого (менее 40 мкм) сухого помола используется принцип самоизмельчения материала без мелющих тел с помощью кинетической энергии потока сжатого воздуха или перегретого пара, инжeksiрующего частицы материала с высокой скоростью (до 500 м/с) под давлением до 0,8 МПа в помольную камеру. Различают поточные и противоточные струйные мельницы, отличающиеся тем, что в одних материал разрушается при ударе и истирании в плоской или трубчатой помольной камере, а в других – при встречном

соударении потоков смесей. Струйные мельницы работают в комплексе с воздушным сепаратором и применяются для измельчения различных материалов (угля, руд, известняка, серы, красителей, асбеста, цемента, пластмасс, слюды и др.); производительность до 30 т/ч. Преимущество струйных мельницы – возможность сверхтонкого (1–5 мкм до 95 %) помола с высокой чистотой продукта; недостаток – высокая энергоёмкость измельчения.

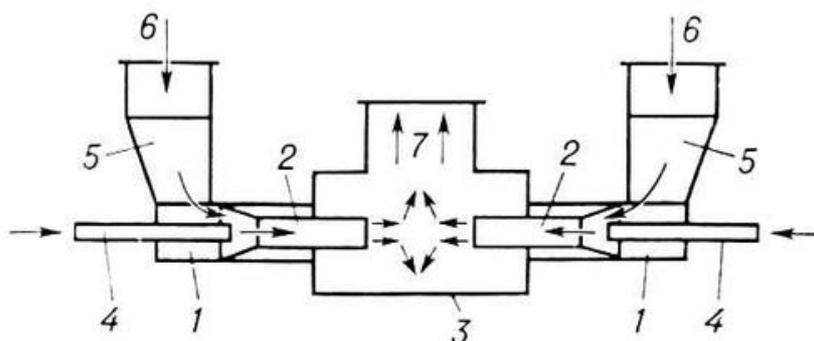


Рис. 3.17. Схема струйной мельницы: 1 – эжекторы; 2 – разгонные трубы; 3 – размольная камера; 4 – трубы сжатого воздуха или пара; 5 – загрузочные воронки; 6 – подача измельчаемого материала; 7 – измельченный продукт

### Оборудование для основных процессов обогащения

**Оборудование для гравитационного обогащения.** Гравитационные процессы и оборудование имеют значительное распространение в практике обогащения всех видов твердых полезных ископаемых и углей. Средой, в которой происходят гравитационные процессы обогащения различных материалов, может быть вода, воздух, тяжелая суспензия или жидкость, или аэросуспензия.

К гравитационным процессам относятся отсадка, обогащение в тяжелых средах (главным образом в минеральных суспензиях), концентрация на столах, обогащение в шлюзах, желобах, струйных концентраторах, конусных, винтовых и противоточных сепараторах, пневматическое обогащение.

По принципу действия гравитационные процессы обогащения разделяются на **гравитационные линейные**, в которых процесс обогащения происходит под действием силы тяжести и сил сопротивления среды, и **центробежные**, в которых сила тяжести усиливается наложением центробежной силы.

## Отсадка

**Отсадкой** называют процесс разделения смеси минеральных зерен по плотности в водной или воздушной среде, колеблющейся (пульсирующей) относительно разделяемой смеси в вертикальном направлении.

По принципу работы привода, обеспечивающего пульсацию воды в отделении концентрации, машины делятся на поршневые, беспоршневые, диафрагмовые с неподвижным решетом и подвижным решетом.

Поршневые и беспоршневые машины конструктивно похожи между собой, разница заключается в принципе создания пульсаций.

В поршневых машинах пульсация воды обеспечивается возвратно-поступательным движением поршня. Поршневые машины применяют для обогащения марганцевых, оловянных, вольфрамовых руд с крупностью материала 2–40 мм.

В беспоршневых машинах пульсации создаются периодическим впуском сжатого воздуха, поступающего в воздушное отделение периодически через пульсатор 3; также периодически пульсатором осуществляется выпуск воздуха из воздушного отделения в атмосферу. При впуске воздуха уровень воды в отсадочном отделении повышается. Применяются в основном для обогащения углей. Крупность материала 0,5–13(25) мм.

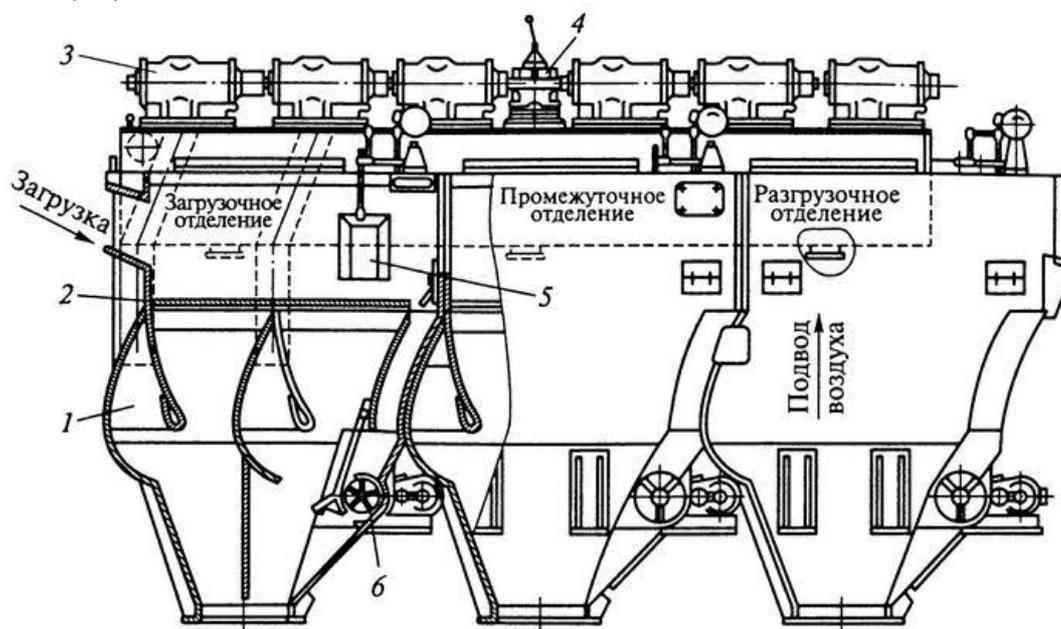
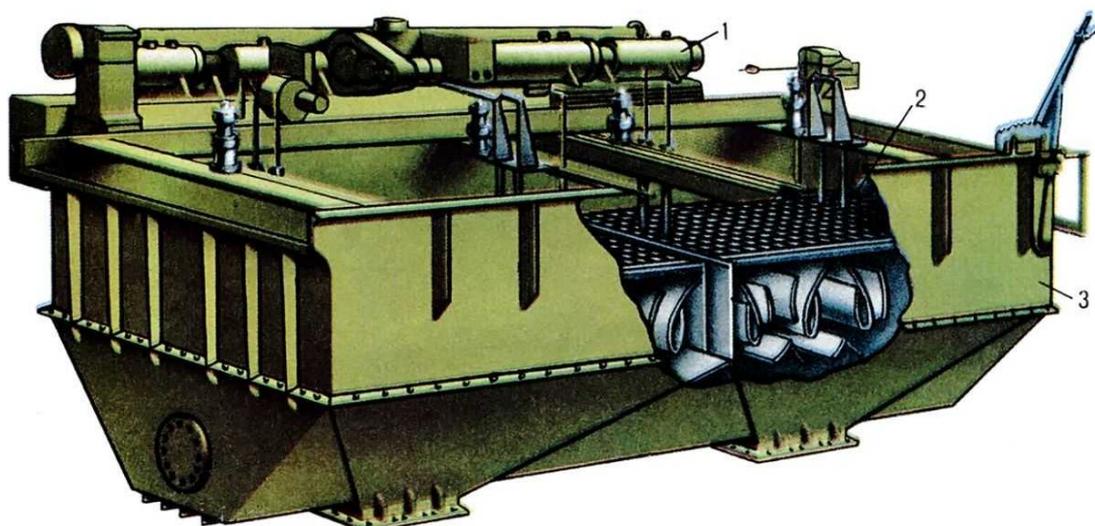


Рис. 3.18. Схема беспоршневой отсадочной машины ОМ-12: 1 – воздушная камера; 2 – отсадочная решетка; 3 – пульсатор; 4 – коробка скоростей; 5 – поплавок; 6 – роторный разгрузчик



*Рис. 3.19. Внешний вид отсадочной машины: 1 – привод; 2 – решето; 3 – корпус*

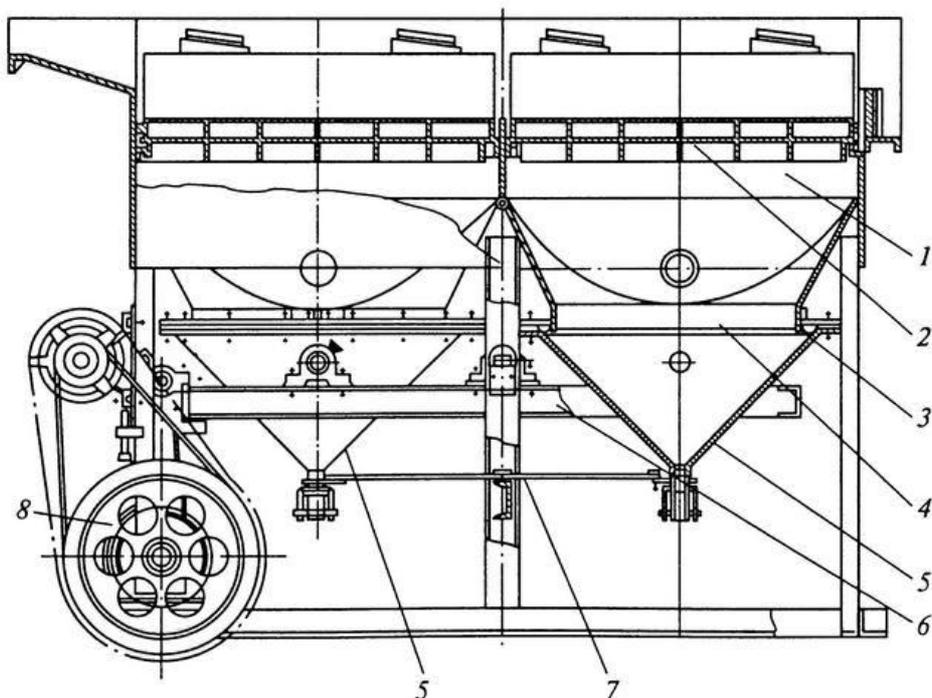
В отсадочном отделении материал расслаивается по скорости осаждения в пульсирующем потоке среды, рабочее – предназначено для создания вертикального восходящего и нисходящего потоков с помощью специального механизма или сжатого воздуха. Материал, подвергаемый расслоению и осевший на отсадочном решете, называется естественной постелью. При обогащении мелкозернистого материала на решето укладывают слой искусственной постели из другого материала, который по плотности меньше тяжёлого, но больше лёгкого минерала разделяемой смеси, а по крупности в 2–2,5 раза больше самого крупного зерна разделяемой смеси. В качестве искусственной постели используются гематит, магнетит, ферросилиций, металлическую дробь и др. Слой искусственной постели предотвращает прохождение мелких лёгких зёрен под решето машины и тем самым препятствует засорению тяжёлого продукта лёгкими зёрнами. Тяжёлый продукт из отсадочной машины разгружается через шибберные устройства и решето, лёгкий – потоком разделительной среды через сливной порог.

В диафрагмовых машинах пульсации среды создаются движением конических днищ или диафрагмой. Машины применяют для обогащения руд черных, редких металлов и золотосодержащих россыпей. Крупность материала 0,5–15(30) мм.

В машинах с подвижным решетом колебания создаются движением решета. Машины применяются очень редко для обогащения железных и марганцевых руд крупностью 3–40 мм.

**Обогащение в тяжелых средах.** Процесс обогащения в тяжелых средах основан на разделении смеси зерен по плотности в гравитационном или центробежном полях в среде, плотность которой – промежу-

точная между плотностями разделяемых частиц. Минералы меньшей плотности, чем среда, всплывают, а более тяжелые – тонут. Происходит разделение на легкие (всплывшие) и тяжелые (потонувшие) продукты.



*Рис. 3.20. Схема диафрагмовой отсадочной машины МОД-2: 1 – корпус; 2 – сито; 3 – манжета; 4 – обечайка; 5 – конические днища; 6 – рама-коромысло; 7 – пружина; 8 – кривошипно-шатунный механизм*

В качестве тяжелых сред применяют однородные органические жидкости, растворы солей и суспензии.

Для обогащения в тяжелых средах используются сепараторы.

Сепараторы разделяются по количеству выходных продуктов:

- двухпродуктовые;
- трехпродуктовые;
- по принципу действия:
- гравитационные: барабанные спиральные и элеваторные; конусные; колесные.
- центробежные: центрифуги.

Барабанные сепараторы (рис. 3.21.) предназначены для обогащения руд цветных и черных металлов и неметаллических ПИ крупностью 4–150 мм (спиральные) и 4–300 мм (элеваторные).

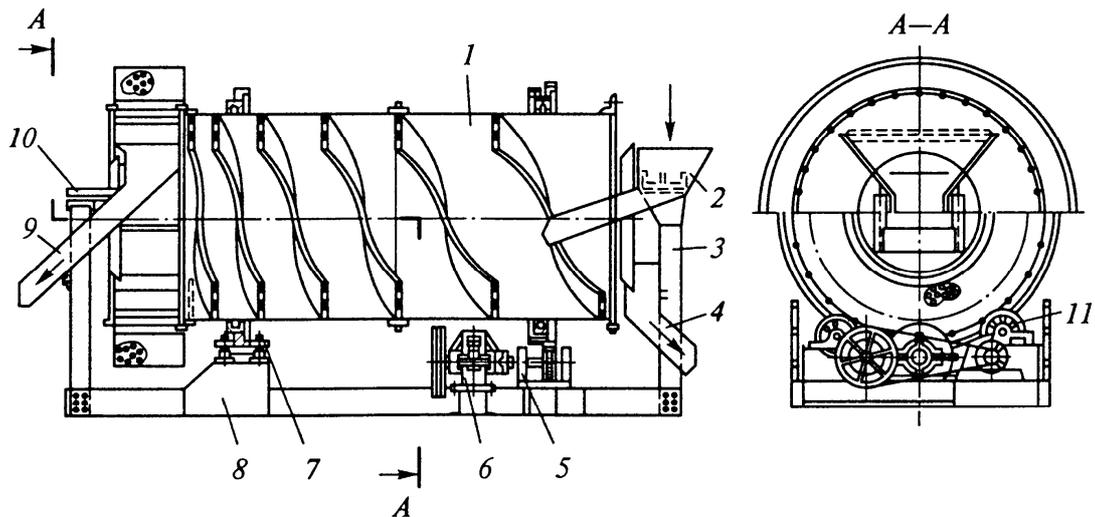


Рис. 3.21. Схема спирального барабанного сепаратора: 1 – барабан; 2 – загрузочный желоб; 3, 10 – соответственно правая и левая стойки разгрузочных желобов; 4 – легкий продукт; 5 – малая шестерня; 6 – привод; 7 – упорный ролик; 8 – рама; 9 – тяжелый продукт; 11 – опорный ролик

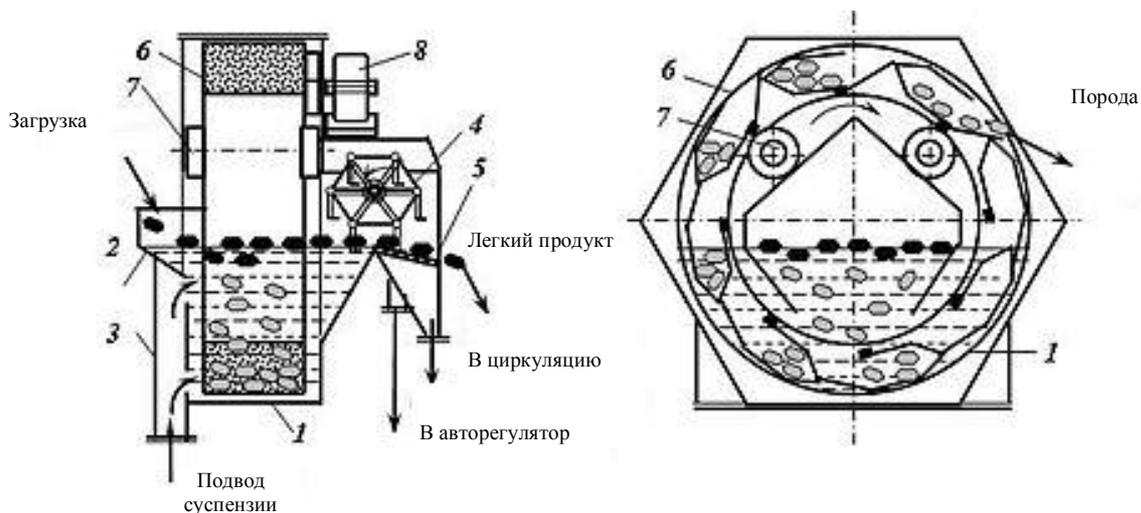


Рис. 3.22. Схема двухпродуктового сепаратора СКВ с вертикальным элеваторным колесом: 1 – корпус; 2 – загрузочный желоб; 3 – суспензионный патрубок; 4 – гребковое устройство; 5 – сито; 6 – элеваторное колесо; 7 – катки; 8 – привод гребкового механизма

Колесные сепараторы (рис. 3.22.) предназначены для обогащения углей и антрацитов в магнетитовой суспензии крупностью 1–300 мм с получением двух продуктов.

Конусные сепараторы предназначены для обогащения углей, руд и неметаллических ПИ крупностью 2–100 мм.

Центрифуги – машины, использующие центробежную силу для разделения твердой и жидкой фаз. Применяются для обогащения в тя-

желей жидкости зернистых материалов и труднообогащаемых углей крупностью менее 3 мм. Наименьший размер обогащаемых зерен составляет 0,01–0,02 мм. Две наиболее типичные центрифуги, осадительно-фильтрующая и осадительная, приводятся в движение планетарными редукторами, которые имеют входной и выходной валы для регулирования скорости вращения шнека в зависимости от скорости вращения ротора.

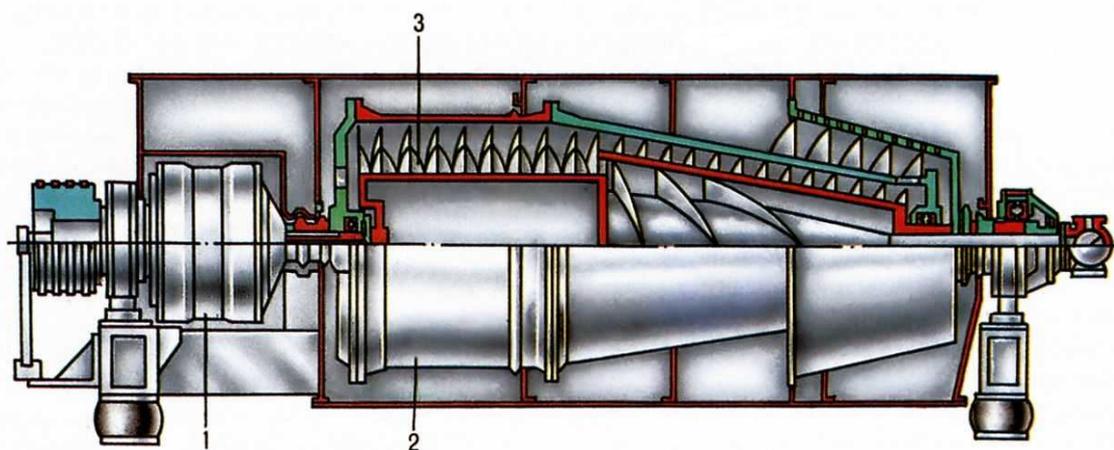


Рис. 3.23. Осадительно-фильтрующая центрифуга: 1 – электропривод; 2 – ротор центрифуги; 3 – шнек для выгрузки осадка

Осадительно-фильтрующие центрифуги (рис. 3.23.) используют, главным образом, для отделения твердых частиц от жидкости (в угольной, химической и нефтеперерабатывающей промышленности, при обработке промышленных стоков и др.)

Осадительные центрифуги часто применяют для обработки химических и пищевых продуктов, на бумажных заводах, для регенерации бурового раствора и в установках по очистке сточных вод.

### *Магнитная сепарация*

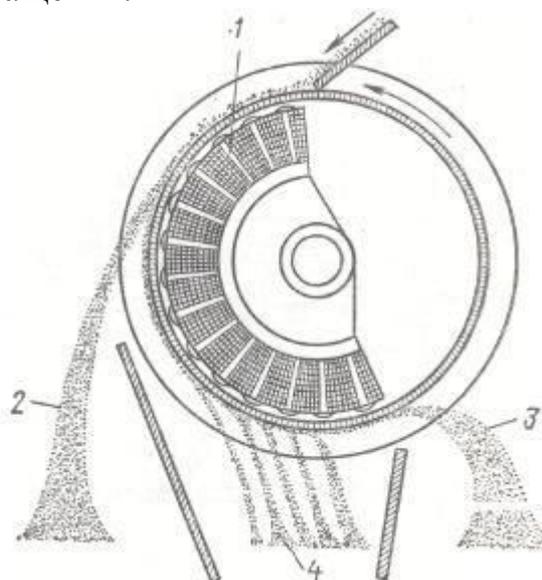
Магнитные методы нашли широкое применение для обогащения руд цветных металлов, при доводке концентратов редких и цветных металлов, для регенерации сильномагнитных утяжелителей при тяжело-среднем обогащении, для удаления железных примесей из фосфоритовых руд, кварцевых песков и других материалов.

При магнитном обогащении используются только неоднородные магнитные поля. Такие поля создаются соответствующей формой и расположением полюсов магнитной системы сепаратора. Магнитные системы разделяются на открытые и замкнутые.

Промышленностью выпускаются сепараторы со слабым и сильным магнитным полем для сухого и мокрого обогащения. Сухая магнитная сепарация обычно применяется для материала крупностью более 6 (3) мм, мокрая – для материала менее 6 (3) мм.

В сепараторах с сильным магнитным полем, применяемых для обогащения слабомагнитных руд, обычно используют замкнутые магнитные системы, а в сепараторах со слабым магнитным полем, применяемых для обогащения сильномагнитных руд, – открытые многополюсные магнитные системы. Системы могут состоять или из электромагнитов, и тогда сепараторы называются электромагнитными, или из постоянных магнитов – сепараторы называются магнитными.

На рис. 3.24 показан простейший барабанный сепаратор для сухого магнитного обогащения.



*Рис. 3.24. Схема барабанного электромагнитного сепаратора.*

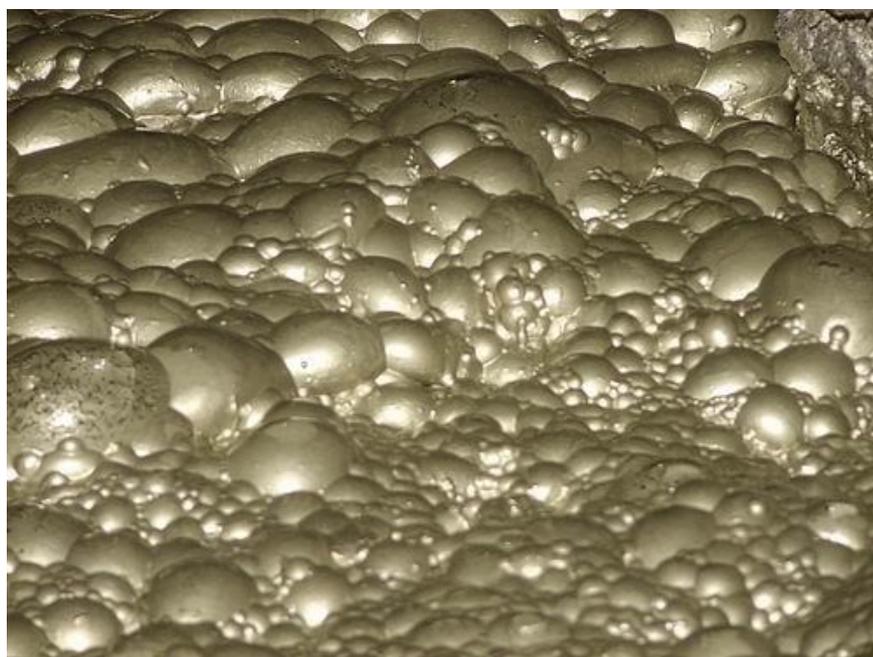
Во вращающемся барабане размещается неподвижный электромагнит 1. Куски немагнитного материала, попав на поверхность барабана, падают с него в первой четверти оборота 2, а магнитные минералы задерживаются до выхода их из поля магнитного сердечника 3. Материал, упавший в промежутке 4, обычно подвергают переочистке.

### *Флотация и флотационные машины*

**Флотацией** называется процесс разделения тонкоизмельченных полезных ископаемых, осуществляемый в водной среде и основанный на различии их способности, естественной или искусственно создавае-

мой, смачиваться водой, что определяет избирательное прилипание частиц минералов к поверхности раздела двух фаз.

Флотационный процесс осуществляется чаще всего в трехфазной системе, включающей твердую (Т), жидкую (Ж) и газообразную (Г) фазы. Из всех разновидностей флотационного метода обогащения наиболее широкое распространение получила пенная флотация. Она основана на способности несмачиваемых (гидрофобных) минералов прилипать к пузырькам воздуха, образующимся в результате аэрации пульпы, и всплывать вместе с ними на поверхность пульпы, образуя пенный продукт. Смачиваемые (гидрофильные) минералы остаются взвешенными в пульпе, образуя камерный продукт.



*Рис. 3.25. Пена на поверхности пульпы*

Минеральные частицы, закрепившиеся на поверхности воздушных пузырьков, называются флотирующимися, не закрепившиеся – нефлотирующимися. Крупность флотируемых частиц в процессе пенной флотации обычно не превышает 0,15 мм для руд, содержащих тяжелые минералы, и 0,5 мм – для углей.

Для увеличения естественного различия в смачиваемости поверхности минералов или для искусственного создания такого различия минеральную поверхность обрабатывают особыми веществами, называемыми **флотационными реагентами**. С помощью подбора флотационных реагентов можно достигнуть условий, при которых одни минералы

будут флотироваться, а другие нет, т.е. создать условия для их селективного разделения.

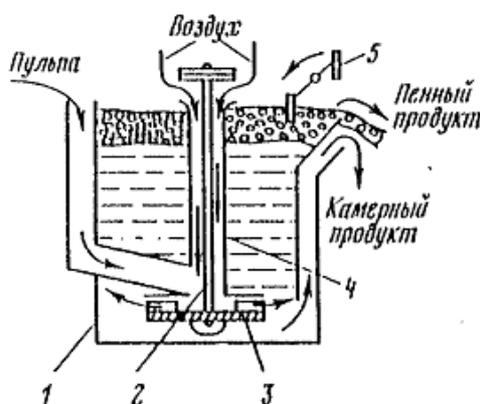


Рис. 3.25. Принципиальная схема флотационной машины: 1 – флотационная камера; 2 – блок аэрации; 3 – импеллер; 4 – труба; 5 – пеногон

Обычно в пенный продукт флотации извлекают полезный минерал, а в камерный – минерал пустой породы. Такой процесс носит название **прямой флотации**. В отдельных случаях целесообразнее бывает извлекать в пенный продукт минералы пустой породы, а полезные минералы концентрировать в камерном продукте. Такой процесс называется **обратной флотацией**.

Если в процессе флотации получают концентрат, содержащий два или более ценных компонента, такую флотацию называют **коллективной**. Если в процессе флотации последовательно получают несколько концентратов при содержании в каждом отдельном концентрате только одного ценного компонента (например, меди, цинка, свинца и других), такую флотацию называют **селективной**. Если в процессе флотации в начале получают коллективный концентрат, а затем из него выделяют последовательно ценные компоненты в самостоятельные концентраты, такую флотацию называют **коллективно-селективной**.

### *Окускование полезных ископаемых*

Получаемые в результате обогащения полезных ископаемых мелкие и тонкие концентраты (и другие продукты обогащения) часто бывают непригодными из-за своей крупности для дальнейшей переработки или прямого использования. В ряде случаев это относится к мелким и тонким фракциям, получаемым в процессе добычи полезных ископаемых. Поэтому для возможности дальнейшей переработки или повышения эффективности использования применяются операции окускования.

Окускованию подвергаются торф, бурые угли, мелкие классы каменных углей и антрацитов, полукоксовая и коксовая мелочь. Окускованное топливо, по сравнению с обычным, обладает более высокими теплотехническими показателями, большей устойчивостью при хранении и транспортировании.

В металлургии применяют три способа окускования: агломерацию для мелких руд и концентратов крупностью менее 8(6) мм; окомкование для тонкоизмельченных руд и концентратов крупностью 80–90 % содержания класса -0,06 мм и брикетирование для мелких и тонких руд и концентратов.

При окусковании торфа и углей применяется брикетирование, при окусковании фосфоритовых удобрений – окомкование.

Агломерация является термохимическим способом обработки мелких руд и концентратов с целью их окускования, получаемого за счет спекания.

Агломерация для тонких материалов не применяется, так как в этом случае спекание происходит медленно и агломерат получается пониженного качества.

Окомкование – процесс окускования тонкоизмельченных (85–95 % класса -0,06 мм) влажных материалов (главным образом железных концентратов) за счет их способности образовывать при перекачивании агрегаты округлой формы – окатыши. Полученные в процессе окатывания сырые окатыши подвергаются упрочению обжиговым или безобжиговым методом. Упроченные окатыши однородны по химическому составу и крупности, обладают хорошей восстановимостью и прочностью. В тех случаях, когда в шихту вводятся флюсы (известняк, доломит, известь), получают офлюсованные окатыши, без флюсов – нефлюсованные.

Брикетирование – процесс окускования мелкозернистых материалов за счет прессования под давлением с целью получения из них брикетов – кусков геометрически правильной формы и одинаковых размеров.

## 4. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ДОБЫЧЕ ЖИДКИХ И ГАЗООБРАЗНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ (НЕФТИ И ГАЗА)

### 4.1. Физико-химические свойства нефти, природного газа и пластовой воды

#### *Свойства нефти*

Нефть – горючая маслянистая жидкость, преимущественно темного цвета, представляет собой смесь различных углеводородов.

Цвет нефти варьирует от светло-коричневого до темно-бурого и черного.

В нефти встречаются следующие группы углеводородов:

- метановые (парафиновые) с общей формулой  $C_nH_{2n+2}$ ;
- нафтеновые –  $C_nH_{2ni}$ ;
- ароматические –  $C_nH_{2n-6}$ .

Преобладают углеводороды метанового ряда.

Таблица 4.1

#### *Углеводороды метанового ряда*

Наименование	Формула	Примечание
Метан	$CH_4$	При атмосферном давлении и нормальной температуре в газообразном состоянии
Этан	$C_2H_6$	
Пропан	$C_3H_8$	
Бутан	$C_4H_{10}$	
Пентан	$C_5H_{12}$	Неустойчивы, легко переходят из газообразного состояния в жидкое и обратно
Гексан	$C_6H_{14}$	
Гептан	$C_7H_{16}$	
Октан	$C_8H_{18}$	Жидкие вещества
	... $C_{17}H_{36}$	
	$C_{18}H_{38}$ и т.д.	Твердые вещества (парафины)

Химический состав нефти: 82–87 % углеводороды; 11–14 % Водород; 0,1–5 % кислород, азот, сера, хлор, йод, фосфор, мышьяк и. т.п.

Основные физические свойства нефти:

1. **Плотность ( $\rho$ )** – отношение массы к объему. Единица измерения плотности в системе СИ, выражаемая в  $\text{кг}/\text{м}^3$ . Плотность нефти варьируется от 730 до 980,1050  $\text{кг}/\text{м}^3$  (плотность менее 800  $\text{кг}/\text{м}^3$  имеют газовые конденсаты). По плотности нефти делятся на 3 группы:

- тяжелые (плотность свыше 970  $\text{кг}/\text{м}^3$ );
- средние (плотность 871–970  $\text{кг}/\text{м}^3$ );
- легкие (плотность до 870  $\text{кг}/\text{м}^3$ ).

По плотности судят о качестве нефти. Легкие нефти наиболее ценные.

2. **Вязкость** – свойство жидкости или газа оказывать сопротивление перемещению одних ее частиц относительно других. Она зависит от силы взаимодействия между молекулами жидкости. Для характеристики этих сил используется **коэффициент динамической вязкости ( $\mu$ )**.

За единицу динамической вязкости принят паскаль-секунда ( $\text{Па}\cdot\text{с}$ ). Вязкость жидкости характеризуется также **коэффициентом кинематической вязкости**, т.е. отношением динамической вязкости к плотности жидкости. За единицу в этом случае принят  $\text{м}^2/\text{с}$ .

В нефтяном деле так же, как и в гидрогеологии и ряде других областей науки и техники, для удобства принято пользоваться единицей вязкости в 1000 раз меньшей –  $\text{мПа}\cdot\text{с}$ . Так, пресная вода при температуре 20 °С имеет вязкость 1  $\text{мПа}\cdot\text{с}$ , а большинство нефтей, добываемых в России, – от 1 до 10  $\text{мПа}\cdot\text{с}$ , но встречаются нефти с вязкостью менее 1  $\text{мПа}\cdot\text{с}$  и несколько тысяч  $\text{мПа}\cdot\text{с}$ . С увеличением содержания в нефти растворенного газа ее вязкость заметно уменьшается. Для большинства нефтей, добываемых в России, вязкость при полном выделении из них газа (при постоянной температуре) увеличивается в 2–4 раза, а с повышением температуры резко уменьшается.

Вязкость изменяется в широких пределах (при температуре 50 °С  $1,2\cdot 10^{-6} \dots 55\cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ) и зависит от химического и фракционного состава нефти и смолистости (содержания в ней асфальтеново-смолистых веществ).

3. **Испаряемость**. Нефть теряет легкие фракции, поэтому она должна храниться в герметичных сосудах.

В пластовых условиях свойства нефти существенно отличаются от атмосферных условий.

Движение нефти в пласте зависит от пластовых условий: высокие давления, повышенные температуры, наличие растворенного газа в нефти и др. Наиболее характерной чертой пластовой нефти является содержание в ней значительного количества растворенного газа, который при

снижении пластового давления выделяется из нефти (нефть становится более вязкой и уменьшается ее объем).

В пластовых условиях изменяется плотность нефти, она всегда меньше плотности нефти на поверхности.

4. **Сжимаемость** – способность нефти (газа, пластовой воды) изменять свой объем под действием давления. При увеличении давления нефть сжимается. Для пластовых нефтей коэффициенты сжимаемости нефти  $\beta_{и}$  колеблются в пределах  $0,4 \dots 14,0 \text{ ГПа}^{-1}$ , коэффициент  $\beta_{и}$  определяют пересчетом по формулам, более точно получают его путем лабораторного анализа пластовой пробы нефти.

Из-за наличия растворенного газа в пластовой нефти она увеличивается в объеме (иногда на  $50 \dots 60 \%$ ). Отношение объема жидкости в пластовых условиях к объему ее в стандартных условиях называют **объемным коэффициентом**  $\Theta$ . Величина, обратная объемному коэффициенту, называется **пересчетным коэффициентом**.

$$\Theta = \frac{1}{\hat{a}}. \quad (4.1)$$

Этот коэффициент служит для приведения объема пластовой нефти к объему нефти при стандартных условиях.

Используя объемный коэффициент, можно определить усадку нефти  $\hat{E}$ , т.е. на сколько изменяется ее объем на поверхности по сравнению с глубинными условиями:

$$\hat{E} = \frac{\hat{a} - 1}{\hat{a}} \cdot 100 \%$$

5. **Газосодержание** – важная характеристика нефти в пластовых условиях. Это количество газа, содержащееся в одном кубическом метре нефти.

6. **Газовый фактор** – отношение полученного из месторождения через скважину количества газа (в  $\text{м}^3$ ), приведённого к атмосферному давлению и температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , к количеству добытой за то же время нефти (в т или  $\text{м}^3$ ) при том же давлении и температуре; показатель расхода пластовой энергии и определения газовых ресурсов месторождения. Для нефтяных месторождений России газовый фактор изменяется от 20 до  $1000 \text{ м}^3/\text{т}$ . По закону Генри растворимость газа в жидкости при данной температуре прямо пропорциональна давлению. Давление, при котором газ находится в термодинамическом равновесии с нефтью, называется **давлением насыщения**. Если давление ниже давления насыщения, из нефти начинает выделяться растворенный в ней газ. Нефти и пластовые воды с давлением насыщения, равным пластовому, называются **насыщенными**. Нефти в присутствии газовой шапки, как прави-

ло, насыщенные.

### *Свойства природного газа*

Природные углеводородные газы находятся в недрах земли или в виде самостоятельных залежей, образуя чисто газовые месторождения, либо в растворенном виде содержится в нефтяных залежах. Такие газы называются нефтяными или попутными, так как их добывают попутно с нефтью.

Углеводородные газы нефтяных и газовых месторождений представляют собой газовые смеси, состоящие главным образом из предельных углеводородов метанового ряда, описанных выше, причем содержание метана в газовых залежах преобладает и составляет до 98...99 %.

Кроме углеводородных газов, газы нефтяных и газовых месторождений содержат углекислый газ, азот, а в ряде случаев сероводород и в небольших количествах редкий газ, такой, как гелий, аргон и др.

Основные физические свойства природного газа.

1. **Плотность** газов существенно зависит от давления и температуры. Она может измеряться в абсолютных единицах ( $\text{г/см}^3$ ,  $\text{кг/м}^3$ ) и в относительных. При давлении 0,1 МПа и температуре 0 °С плотность газов примерно в 1000 раз меньше плотности жидкости и изменяется для углеводородных газов от 0,7 до 1,5  $\text{кг/м}^3$  (в зависимости от содержания в газе легких и тяжелых углеводородов).

Относительной плотностью газа называют отношение плотности газа при атмосферном давлении (0,1 МПа) и стандартной температуре (обычно 0 °С) к плотности воздуха при тех же значениях давления и температуры. Для углеводородных газов относительная плотность по воздуху изменяется в пределах 0,6...1,1.

2. **Растворимость** углеводородных газов в жидкости при неизменной температуре определяют по формуле

$$S = \alpha P^b, \quad (4.2)$$

где  $S$  – объем газа, растворенного в единице объема жидкости, приведенной к стандартным условиям;

$P$  – давление газа над жидкостью;

$\alpha$  – коэффициент растворимости газа в жидкости, характеризующий объем газа (приведенный к стандартным условиям), растворенный в единице объема жидкости при увеличении давления на 1 МПа;

$b$  – показатель, характеризующий степень отклонения растворимости реального газа от идеального.

Значение  $\alpha$  и  $b$  зависят от состава газа и жидкости.

Коэффициент растворимости  $\alpha$  для нефтей и газов основных месторождений России изменяется в пределах  $5...11 \text{ м}^3/\text{м}^3$  на 1 МПа. Показатель  $b$  изменяется в пределах  $0,8...0,95$ .

На многих месторождениях природный газ первоначально существует в растворенном состоянии в нефти и выделяется из раствора только при снижении давления. Чем больше снижается давление, тем больше выделяется газа из раствора.

3. **Вязкость** нефтяного газа при давлении 0,1 МПа и температуре 0 °С обычно не превышает 0,01 мПа·с. С повышением давления и температуры она незначительно увеличивается. Однако при давлениях выше 3 МПа увеличение температуры вызывает понижение вязкости газа, причем газы, содержащие более тяжелые углеводороды, как правило, имеют большую вязкость.

4. **Теплоемкость газа** – количество тепла, необходимое для нагревания единицы веса или объема этого вещества на 1°С. Весовая теплоемкость газа измеряется в кДж/кг, а объемная – в кДж/м<sup>3</sup>.

Теплота сгорания газа какого-либо вещества определяется количеством тепла, выделяющимся при сжигании единицы веса или единицы объема данного вещества. Теплота сгорания газов выражается в кДж/кг и кДж/м<sup>3</sup> и является основным показателем, характеризующим газ или топливо.

Если при постоянной температуре повышать давление какого-либо газа, то после достижения определенного значения давления этот газ сконденсируется, т.е. перейдет в жидкость. Для каждого газа существует определенная предельная температура, выше которой ни при каком давлении газ нельзя перевести в жидкое состояние. Наибольшая температура, при которой газ не переходит в жидкое состояние, как бы велико ни было давление, называется критической температурой.

Давление, соответствующее критической температуре, называется **критическим давлением**. Таким образом, **критическое давление** – это предельное давление, при котором и менее которого газ не переходит в жидкое состояние, как бы ни низка была температура. Так, например, критическое давление для метана приблизительно равно 4,7 МПа, а критическая температура – 82,5 °С.

Природные газы могут **воспламеняться** или **взрываться**, если они смешаны в определенных соотношениях с воздухом и нагреты до температуры их воспламенения при наличии открытого огня.

Минимальные и максимальные содержания газа в газовоздушных смесях, при которых может произойти их воспламенение, называются **верхним и нижним пределом взрываемости**. Для метана эти пределы

составляют от 5 до 15 %. Эта смесь называется **гремучей** и давление при взрыве достигает 0,8 МПа.

**Влагосодержание и гидраты природных газов. Состав гидратов природных газов.** Гидратами углеводородных газов называются кристаллические вещества, образованные ассоциированными молекулами углеводородов и воды; они имеют различную кристаллическую структуру.

Свойство гидратов газов позволяет рассматривать их как твердые растворы. Исследования показывают, что содержание водяного пара в газообразной фазе в системе газ–гидрат меньше, чем в системе газ–вода.

Возникновение гидрата обусловлено определенными давлением и температурой при насыщении газа парами воды. Гидраты распадаются после того, как упругость паров воды будет ниже парциальной упругости паров исследуемого гидрата.

Углеводородные и некоторые другие газы, контактирующие с водой при определенных давлении и температуре, также могут образовывать кристаллогидраты. Кристаллогидраты природных газов внешне похожи на мокрый спрессованный снег, переходящий в лед. Плотность гидратов несколько меньше плотности воды – 980 кг/м<sup>3</sup>. Образование их сопровождается выделением тепла, разложение – поглощением. Существует мнение ученых-геологов, что значительные запасы природного газа связаны с газогидратными залежами, расположенными в зонах вечномерзлых пород и на дне океанов, где, как известно, температура составляет 2...3 °С.

### *Свойства пластовой воды*

Пластовые воды являются обычным спутником нефти.

Вода обладает способностью смачивать породу, и потому она обволакивает тончайшей пленкой отдельные зерна ее, а также занимает наиболее мелкие поровые пространства. Вода, залегающая в одном и том же пласте вместе с нефтью или газом, называется пластовой. В нефтегазоносных залежах распределение жидкостей и газов соответствует их плотностям: верхнюю часть пласта занимает свободный газ, ниже залегают нефть, которая подпирается пластовой водой. Однако пластовая вода в нефтяных и газовых залежах может находиться не только в чисто водяной зоне, но и в нефтяной и газовой, насыщая вместе с нефтью и газом продуктивные породы залежей. Эту воду называют **связанной** или **погребенной**.

Осадочные породы, являющиеся нефтяными коллекторами, формировались, в основном, в водных бассейнах. Поэтому еще до проникновения в них нефти поровое пространство между зернами породы было заполнено водой. В процессе тектонических вертикальных перемещений горных пород (коллекторов нефти и газа) углеводороды мигрировали в повышенные части пластов, где происходило распределение жидкостей и газов в зависимости от плотности. При этом вода вытеснялась нефтью и газом не полностью, так как основные минералы, входящие в состав нефтесодержащих пород, гидрофильные, т. е. лучше смачиваются водой, чем нефтью. Поэтому вода при вытеснении ее нефтью в процессе образования нефтяных залежей частично удерживалась в пластах в виде тончайших пленок на поверхности зерен песка или кальцита и в виде мельчайших капелек в точках контакта между отдельными зернами и в субкапиллярных каналах. Эта вода находится под действием капиллярных сил, которые значительно превосходят наибольшие перепады давлений, возникающие в пласте при его эксплуатации, и поэтому остается неподвижной при разработке нефтегазовой залежи.

В состав вод нефтяных месторождений входят, главным образом, хлориды, бикарбонаты и карбонаты металлов натрия, кальция, калия и магния. Содержание хлористого натрия может достигать до 90 % от общего содержания солей. Иногда встречается сероводород и в виде коллоидов окислы железа, алюминия и кремния. Часто присутствует йод и бром, иногда в таком количестве, что вода может быть объектом их промышленной добычи.

Воды нефтяных месторождений отличаются от поверхностных или отсутствием сульфатов (соединений  $SO_4$ ), или их слабой концентрацией. Помимо минеральных веществ, в водах нефтяных месторождений содержатся некоторые минеральные вещества, углекислота, легкие углеводороды, нафтеновые и некоторые жирные кислоты.

Воды нефтяных месторождений могут содержать бактерии органических веществ, которые придают различную окраску (розовую, красную, молочную).

Отношение объема воды, содержащейся в породе, к объему пор этой же породы называется **коэффициентом водонасыщенности**

$$\eta_B = \frac{V_B}{V_I}, \quad (4.3)$$

где  $\eta_B$  – коэффициент водонасыщенности;

$V_B$  – объем воды в породе;

$V_I$  – объем пор.

Отношение объема нефти, содержащейся в породе, к общему объему пор называется **коэффициентом нефтенасыщенности**

$$\eta_H = \frac{V_H}{V_I}, \quad (4.3)$$

где  $\eta_H$  – коэффициент водонасыщенности;

$V_H$  – объем воды в породе;

$V_I$  – объем пор.

Содержание связанной воды в породах нефтяных залежей колеблется от долей процента до 70 % объема пор и в большинстве коллекторов составляет 20...30 % этого объема.

Исследованиями установлено, что при содержании в пласте воды до 35...40 % и небольшой проницаемости пород пласта из скважин может добываться безводная нефть, так как связанная вода в этом случае в пласте не перемещается.

Основные физические свойства пластовых вод:

1. **Минерализация** воды характеризуется количеством растворенных в ней минеральных солей. Степень минерализации вод часто выражается их соленостью, т.е. содержанием растворенных в воде солей, отнесенных к 100 г раствора.

Пластовые воды обычно сильно минерализованы. Степень их минерализации колеблется от нескольких сот граммов на 1 м<sup>3</sup> в пресной воде до 80 кг/м<sup>3</sup> в сильноминерализованных водах и до 300 кг/м<sup>3</sup> – в рапах.

Воды нефтяных месторождений делятся на два основных типа: **жесткие** и **щелочные**.

На практике для классификации вод принимают **классификацию Пальмера**, который рассматривает воду как раствор солей. Каждая соль, растворяясь в воде, придает ей определенные свойства. Например, раствор поваренной соли делает воду нейтральной. Жесткость придают воде сульфаты кальция и магния, образующие «вторичную соленость».

2. **Плотность** воды зависит от степени ее минерализации и от температуры и составляет примерно от 1010 до 1080 кг/м<sup>3</sup> и более.

3. **Сжимаемость. Коэффициент сжимаемости воды**, т.е. изменение единицы объема ее при изменении давления на 0,1 МПа в пластовых условиях, находится в пределах  $3,7 \cdot 10^{-5} \dots 5 \cdot 10^{-5}$  на 0,1 МПа в зависимости от температуры и абсолютного давления. Содержание в воде растворенного газа повышает ее сжимаемость.

4. **Растворимость газов в воде** значительно ниже растворимости их в нефтях. Рост минерализации воды способствует уменьшению растворимости в ней газа.

5. **Электропроводность** находится в прямой зависимости от минерализации вод. Пластовые воды являются электролитом.

6. **Вязкость** пластовой воды при 20 °С составляет 1 мПа·с, а при 100 °С – 0,284 мПа·с.

#### 4.2. Основные сведения о нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождениях

Аккумулятором или вместилищем для воды, нефти и газа в недрах земной коры служит пласт-коллектор, называемый природным резервуаром, в кровле и подошве которого залегают покрывки, сложенные плохо проницаемыми породами.

Хорошими коллекторами являются осадочные породы: пески, песчаники, конгломераты, трещиноватые и кавернозные известняки и доломиты.

Иногда нефть может быть в трещинах и порах изверженных пород, но эти скопления, как правило, не имеют промышленного значения.

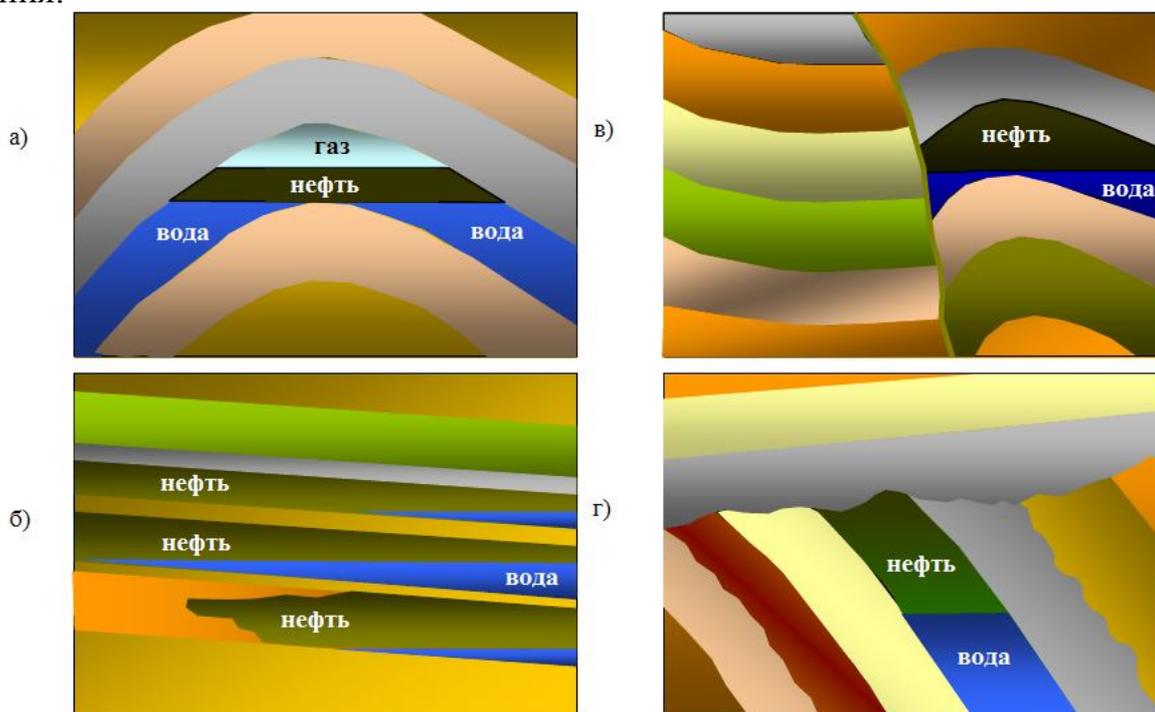


Рис. 4.1. Виды ловушек:

- а) сводовая ловушка; б) литологически экранированная ловушка;  
в) тектонически экранированная ловушка; г) стратиграфически экранированная ловушка

Образовавшиеся при определенных условиях нефть и газ, попав в природный резервуар, заполненный водой, перемещаются к его кровле, скапливаются там и попадают в ловушку.

В природе существуют самые разнообразные виды ловушек (рис. 4.1), наиболее распространенными из которых являются **сводовые ловушки** (рис. 4.1, а).

В ловушке любой формы при благоприятных условиях может произойти значительное скопление нефти и газа, называемое **залежью**. Совокупность залежей одной и той же группы (например, сводовых), находящихся в недрах земной коры единой площади, называется **месторождением нефти и газа**.

Месторождения могут быть **нефтяными, газоконденсатными, газонефтяными**.

Существование в земной коре двух основных геологических структур – **геосинклиналей** (т.е. в виде складок) и **платформ** (горизонтальное залегание пластов) предопределило разделение месторождений нефти и газа на два основных класса:

- **1 класс** – месторождения, сформировавшиеся в геосинклинальных (складчатых) областях;
- **2 класс** – месторождения, сформировавшиеся в платформенных областях.

Для выявления месторождений нефти и газа, оценки запасов прибегают к поисково-разведочным работам, сущность которых практически ничем не отличается от процессов и работ (описанных нами ранее в первой части учебного пособия) при разведке месторождений твердых полезных ископаемых. В ходе поисково-разведочных работ применяются геологические, геофизические, методы, а также бурение скважин и их исследование.

### *Этапы поисково-разведочных работ*

Поисковый этап. Поисковые работы направлены на обеспечение необходимых условий для прироста разведанных запасов нефти и газа. Он разделяется на стадию выявления и подготовки объектов для поискового бурения и стадию поиска месторождений (залежей) нефти и газа.

1. Стадия выявления и подготовки объектов для поискового бурения. На этой стадии создается фонд перспективных локальных объектов и определяется очередность их ввода в глубокое бурение.

Геофизическими методами (чаще всего сейсморазведкой) ведутся работы на отдельных площадях в пределах нефтегазоперспективных зон и зон нефтегазонакопления с целью

- выявления условий залегания и других геолого-геофизических свойств нефтегазоносных и нефтегазоперспективных комплексов;
- выделения перспективных ловушек;
- выбора, объектов и определения очередности их подготовки к поисковому бурению;
- выбора мест заложения поисковых скважин на подготовленных объектах.

2. Стадия поиска месторождений (залежей). Объектами работ на этой стадии являются ловушки, подготовленные для поискового бурения. Основанием для постановки поискового бурения служит наличие подготовленной к нему структуры (ловушки).

Задачи на этой стадии сводятся:

- к выявлению в разрезе нефтегазоносных и нефтегазоперспективных комплексов залежей нефти и газа;
- к определению геолого-геофизических свойств (параметров) горизонтов и пластов;
- к выделению, опробованию и испытанию нефтегазонасыщенных пластов и горизонтов, получению промышленных притоков нефти и газа, установлению свойств флюидов и фильтрационно-емкостных характеристик пластов;
- подсчету запасов открытых залежей.

**Разведочный этап.** На этом этапе решается общая задача подготовки промышленных месторождений (залежей) к разработке.

**Промышленная ценность месторождения** определяется не только его размерами, но в значительной степени и физическими свойствами коллекторов, пластовых жидкостей и газов, а также видом и запасом пластовой энергии.

### 4.3. Бурение нефтяных и газовых скважин

Бурение скважин – сложный технологический процесс строительства ствола буровых скважин, состоящий из следующих основных операций:

- углубление скважин посредством разрушения горных пород буровым инструментом;
- удаление выбуренной породы из скважины;
- крепление ствола скважины в процессе ее углубления обсадными колоннами;

- проведение комплекса геолого-геофизических работ по исследованию горных пород и выявлению продуктивных горизонтов;
- спуск на проектную глубину и цементирование последней (эксплуатационной) колонны.

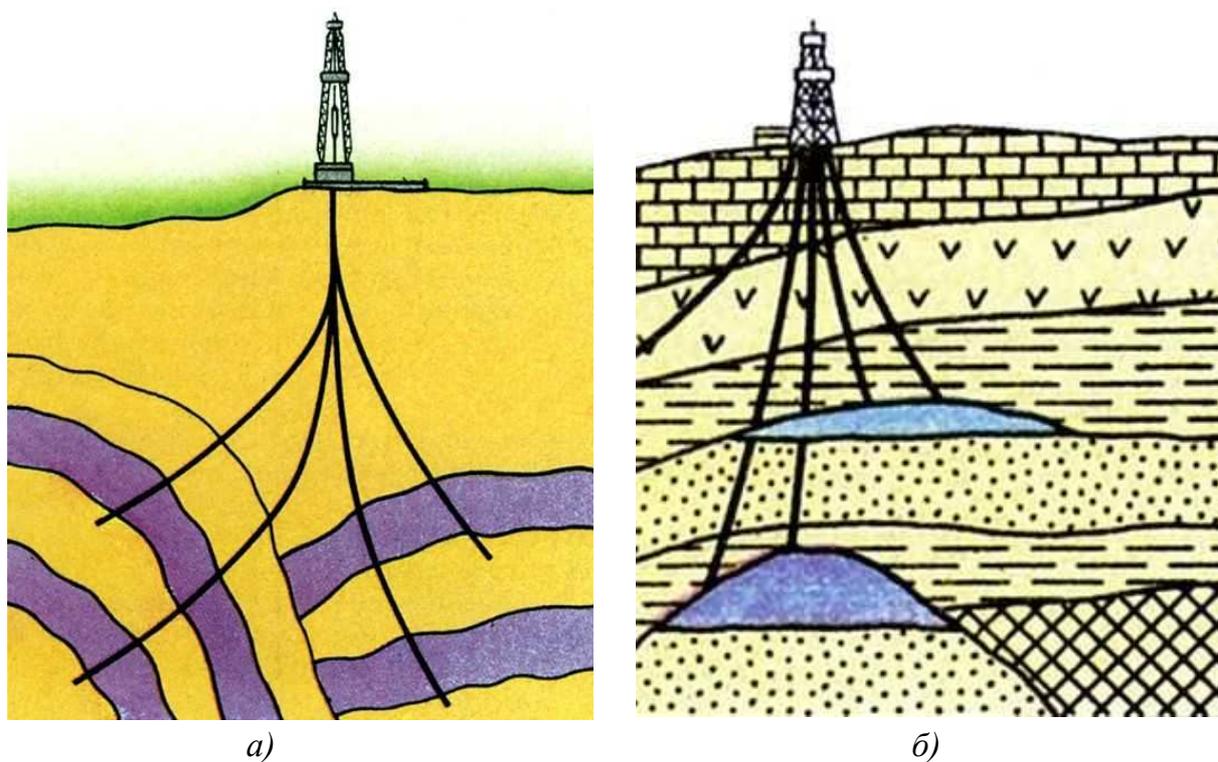
Максимальный начальный диаметр нефтяных и газовых скважин обычно не превышает 900 мм, а конечный редко бывает меньше 165 мм.

Виды бурения по глубине:

- мелкое (до 1500 м);
- на средние глубины (до 4500 м);
- глубокое (до 6000 м);
- сверхглубокое (свыше 6000 м).

Способы и процессы бурения те же, что при бурении на твердые полезные ископаемые, наиболее распространенный способ – вращательное бурение.

Скважины бурятся вертикально (отклонение до 2–3°). При необходимости применяют наклонное бурение: наклонно-направленное, кустовое, много-забойное, двуствольное). На месторождениях Западной Сибири распространено кустовое бурение.



а) многозабойное бурение; б) кустовое бурение

Рис. 4.2. Схемы бурения скважин:

а) многозабойное бурение; б) кустовое бурение

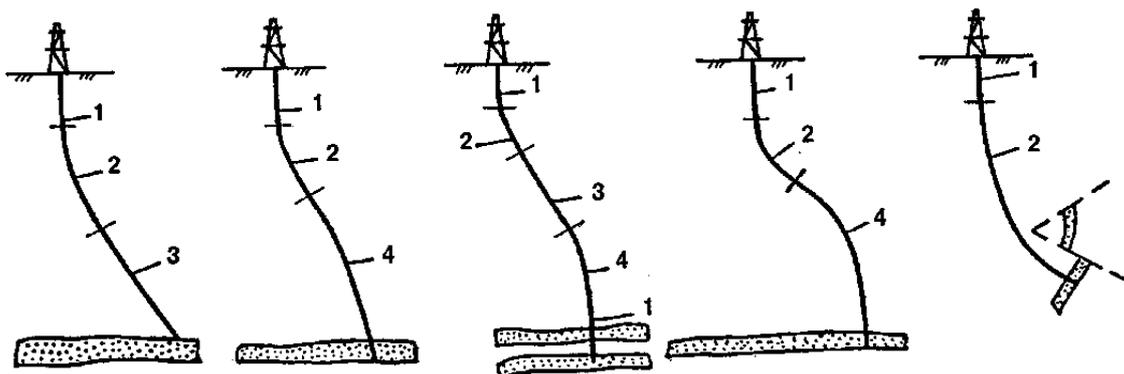


Рис. 4.3. Типы профилей наклонно-направленных скважин.  
 1 – вертикальный участок; 2 – участок набора угла наклона  
 ствола; 3 – прямолинейный наклонный участок; 4 – участок снижения угла  
 наклона ствола

Скважины, для которых проектом предусматривается определенное отклонение забоя от вертикали, а ствол проводится по заранее заданной траектории, называются наклонно направленными.

Наклонные скважины бурят, когда продуктивные пласты залегают под акваториями морей, озер, рек, под территориями населенных пунктов, промышленных объектов, в заболоченной местности, а также для удешевления строительства буровых сооружений.

Разработанные в настоящее время виды профилей для наклонно направленных скважин делятся на две группы: профили обычного типа (представляющие собой кривую линию, лежащую в вертикальной плоскости) и профили пространственного типа (в виде пространственных кривых).

Типы профилей наклонно направленных скважин обычного типа приведены на рис. 4.3.

Как видно из рис. 4.3, все типы профилей в начале имеют вертикальный участок. Его глубина должна быть не менее 40–50 м. Окончание вертикального участка приурочивают к устойчивым породам, где можно за один рейс набрать зенитный угол 5–6 °.

Для отклонения скважины от вертикали применяют специальные отклоняющие приспособления: кривую бурильную трубу, кривой переводник, эксцентричный ниппель и отклонители различных типов.

В последние годы все большее распространение получают вертикальные и наклонные скважины, имеющие горизонтальные окончания большой протяженности. Это делается для того, чтобы увеличить площадь поверхности, через которую в скважину поступает нефть и соответственно увеличить дебит. Одновременно стало возможным извлекать в промышленных масштабах нефть, считавшуюся ранее неизвлекаемой

вследствие малой мощности и низкой проницаемости продуктивного пласта. Кроме того, горизонтальное окончание скважин располагают в пласте выше подошвенной воды, что позволяет продлить период безводной эксплуатации

Скважины углубляют, разрушая забой по всей площади (без отбора керна) или периферийной части (с отбором керна). В последнем случае в центре скважины остается колонка породы (кern), которую периодически поднимают на поверхность для изучения пройденного разреза пород.

Скважины бурят на суше и на море при помощи буровых установок, которые реализуют обычную технологию вращательного бурения с применением бурильных труб, соединяемых при помощи резьбовых муфтово-замковых соединений, а также с применением гибких непрерывных труб, наматываемых на барабан (до 5 тыс. метров и более) – так называемая «колтюбинговая технология» (установки M20 и др.).

Цели и назначение буровых скважин различные. Эксплуатационные скважины закладывают на полностью разведанном и подготовленном к разработке месторождении. В категорию эксплуатационных входят не только скважины, с помощью которых добывают нефть и газ (добывающие скважины), но и скважины, позволяющие организовать эффективную разработку месторождения (оценочные, нагнетательные, наблюдательные скважины).

**Оценочные скважины** предназначены для уточнения режима работы пласта и степени выработки участков месторождения, уточнения схемы его разработки.

**Нагнетательные скважины** служат для организации законтурного и внутриконтурного нагнетания в эксплуатационный пласт воды, газа или воздуха в целях поддержания пластового давления.

**Наблюдательные скважины** сооружают для систематического контроля за режимом разработки месторождения.

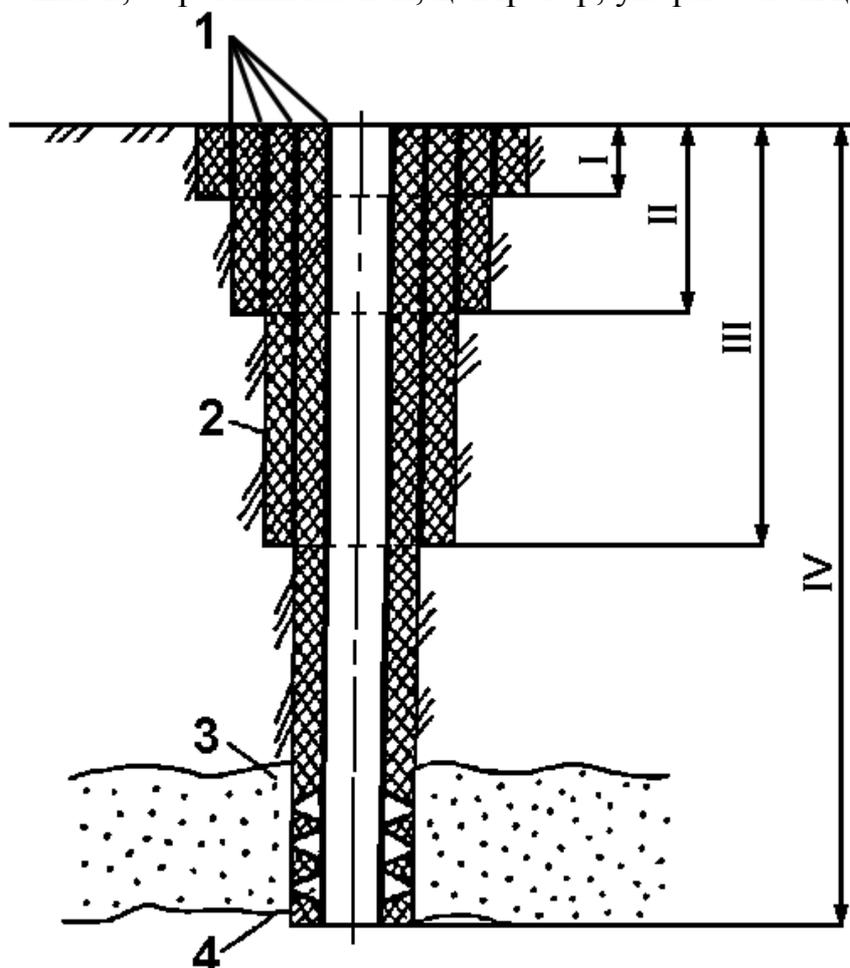
Конструкция эксплуатационной скважины определяется числом рядов труб, спускаемых в скважину и цементируемых в процессе бурения для успешной проводки скважин, а также оборудованием ее забоя.

В скважину спускают следующие ряды обсадных труб:

1. *Направление* – для предотвращения размыва устья.
2. *Кондуктор* – для крепления верхних неустойчивых интервалов разреза, изоляции горизонтов с грунтовыми водами, установки на устье противовыбросового оборудования.
3. *Промежуточная обсадная колонна* (одна или несколько) – для предотвращения возможных осложнений при бурении более глубоких интервалов (при бурении однотипного разреза прочных пород обсадная

колонна может отсутствовать).

4. *Эксплуатационная колонна* – для изоляции горизонтов и извлечения нефти и газа из пласта на поверхность. Эксплуатационную колонну оборудуют элементами колонной и заколонной оснастки (пакеры, башмак, обратный клапан, центратор, упорное кольцо и т. п.).



*Рис. 4.4. Конструкция скважины: 1 – обсадные трубы; 2 – цементный камень; 3 – пласт; 4 – перфорация в обсадной трубе и цементном камне; I – направление; II – кондуктор; III – промежуточная колонна; IV – эксплуатационная колонна*

Устье скважины оснащено *колонной головкой* (колонная обвязка). Колонная головка предназначена для разобщения межколонных пространств и контроля за давлением в них. Ее устанавливают на резьбе или посредством сварки на кондукторе. Промежуточные и эксплуатационные колонны подвешивают на клиньях или муфте. Основные технические характеристики колонных головок отражены в их шифрах.

Бурение скважин осуществляется с помощью буровых установок, оборудования и инструмента.

**Буровые установки.** Буровая установка – это комплекс наземного

оборудования, необходимый для выполнения операций по проводке скважины. В состав буровой установки входят (рис. 4.5):

- буровая вышка;
- оборудование для механизации спуско-подъемных операций;
- наземное оборудование, непосредственно используемое при бурении;
- силовой привод;
- циркуляционная система бурового раствора;
- привышечные сооружения.

Буровая вышка – это сооружение над скважиной для спуска и подъема бурового инструмента, забойных двигателей, бурильных и обсадных труб, размещения бурильных свечей (соединение двух-трех бурильных труб между собой длиной 25...36 м) после подъема их из скважины и защиты буровой бригады от ветра и атмосферных осадков.

Различают два типа вышек: башенные и мачтовые. Их изготавливают из труб или прокатной стали. Башенная вышка представляет собой правильную усеченную четырехгранную пирамиду решетчатой конструкции. Ее основными элементами являются ноги, ворота, балкон верхнего рабочего, подкронблочная площадка, козлы, поперечные пояса, стяжки, маршевая лестница. Вышки мачтового типа бывают одноопорные и двухопорные. Последние наиболее распространены

Основные параметры вышки – грузоподъемность, высота, емкость «магазинов» (хранилищ для свечей бурильных труб), размеры верхнего и нижнего оснований; длина свечи, масса.

Грузоподъемность вышки – это предельно допустимая вертикальная статическая нагрузка, которая не должна быть превышена в процессе всего цикла проводки скважины.

Высота вышки определяет длину свечи, которую можно извлечь из скважины и от величины которой зависит продолжительность спуско-подъемных операций. Чем больше длина свечи, тем на меньшее число частей необходимо разбирать колонну бурильных труб при смене бурового инструмента. Сокращается и время последующей сборки колонны. Поэтому с ростом глубины бурения высота и грузоподъемность вышек увеличиваются. Так, для бурения скважин на глубину 300–500 м используется вышка высотой 16–18 м, на глубину 2000–3000 м – высотой 42 м и на глубину 4000–6500 м – 53 м.

Оборудование для механизации спуско-подъемных операций включает талевую систему и лебедку. Талевая система состоит из неподвижного кронблока 22, установленного в верхней части буровой вышки, талевого блока 20, соединенного с кронблоком талевым канатом, один конец которого крепится к барабану лебедки 24, а другой закреплен неподвиж-

но, и бурового крюка 19. Иногда применяют крюкоблоки — совмещенную конструкцию талевого блока и бурового крюка.

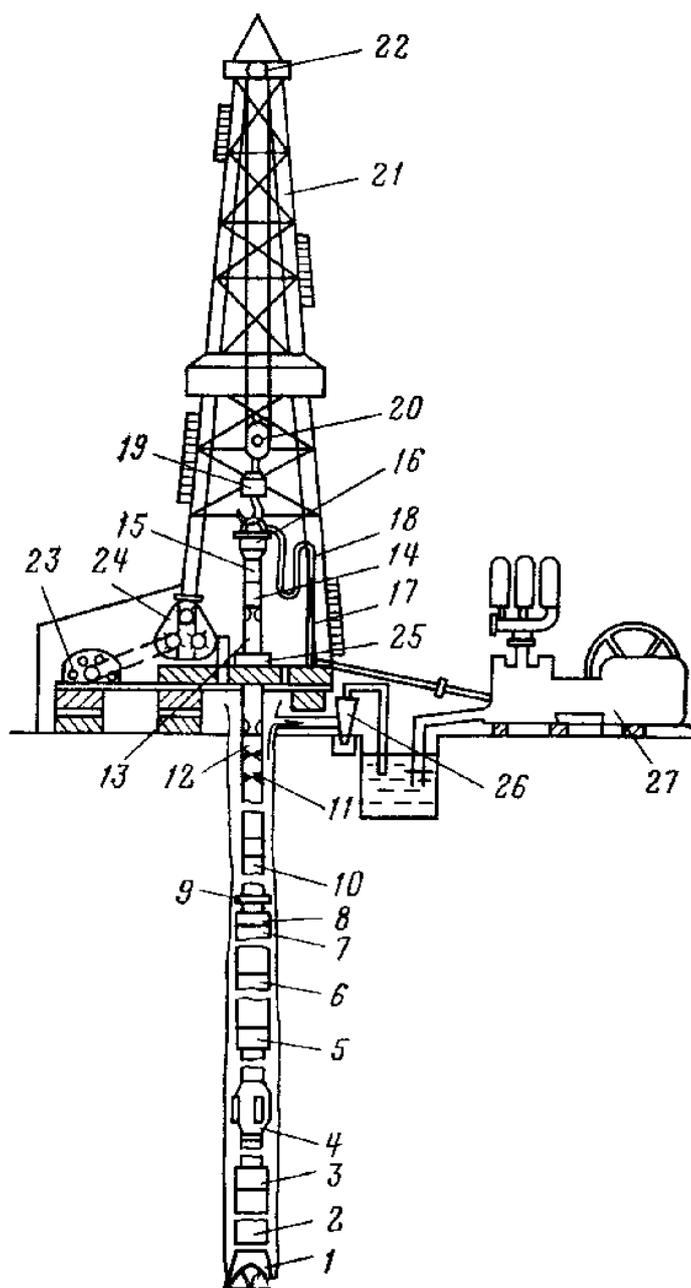


Рис. 4.5. Схема буровой установки: 1 – долото; 2 – наддолотная утяжеленная буровая труба; 3 – переводник; 4 – центратор; 5 – муфтовый переводник; 6, 7 – утяжеленные буровые трубы; 8 – переводник; 9 – предохранительное кольцо; 10 – буровые трубы; 11 – предохранительный переводник; 12, 14 – переводники штанговые нижний и верхний; 13 – ведущая труба; 15 – переводник вертлюга; 16 – вертлюг; 17 – стояк; 18 – шланг; 19 – крюк; 20 – талевый блок; 21 – вышка; 22 – кронблок; 23 – редуктор; 24 – лебедка; 25 – ротор; 26 – шламоотделитель; 27 – буровой насос

Буровая лебедка предназначена для выполнения следующих операций:

- спуска и подъема бурильных и обсадных труб;
- удержания на весу бурильного инструмента;
- подтаскивания различных грузов, подъема оборудования и вышек в процессе монтажа установок и т. п.

Буровая установка комплектуется буровой лебедкой соответствующей грузоподъемности.

Наземное оборудование, непосредственно используемое при бурении, включает вертлюг 16, буровые насосы 27, напорный рукав и ротор. Вертлюг – это механизм, соединяющий невращающиеся талевую систему и буровой крюк с вращающимися бурильными трубами, а также обеспечивающий ввод в них промывочной жидкости под давлением. Корпус вертлюга подвешивается на буровом крюке (или крюкоблоке) с помощью штропа. В центре корпуса проходит напорная труба, переходящая в ствол, соединенный с бурильными трубами. Именно к напорной трубе присоединяется напорный рукав для подачи промывочной жидкости в скважину. Напорная труба и ствол жестко не связаны, а последний установлен в корпусе на подшипниках, чем обеспечивается неподвижное положение штропа, корпуса и напорной трубы при вращении бурильных труб вместе со стволом. Для герметизации имеющихся зазоров между неподвижной и подвижной частями вертлюга служат сальники.

Буровые насосы служат для нагнетания бурового раствора в скважину. При глубоком бурении их роль, как правило, выполняют поршневые двухцилиндровые насосы двойного действия. Напорный рукав (буровой шланг) предназначен для подачи промывочной жидкости под давлением от неподвижного стояка к перемещающемуся вертлюгу.

Ротор передает вращательное движение бурильному инструменту, поддерживает на весу колонну бурильных или обсадных труб и воспринимает реактивный крутящий момент колонны, создаваемый забойным двигателем. Во время работы вращательное движение от лебедки с помощью цепной передачи сообщается валу и преобразуется в поступательное вертикальное движение ведущей трубы, зажатой в роторном столе зажимами.

Силовой привод обеспечивает функционирование всей буровой установки – он снабжает энергией лебедку, буровые насосы и ротор.

Привод буровой установки может быть дизельным, электрическим, дизель-электрическим и дизель-гидравлическим. Дизельный привод применяют в районах, не обеспеченных электроэнергией необходимой мощности. Электрический привод от электродвигателей перемен-

ного и постоянного тока отличается простотой в монтаже и эксплуатации, высокой надежностью и экономичностью, но применим только в электрифицированных районах. Дизель-электрический привод – из дизеля, который вращает генератор, питающий, в свою очередь, электродвигатель. Дизель-гидравлический привод состоит из двигателя внутреннего сгорания и турбопередачи. Последние два типа привода автономны, но в отличие от дизельного не содержат громоздких коробок перемены передач и сложных соединительных частей, имеют удобное управление, позволяют плавно изменять режим работы лебедки или ротора в широком диапазоне. Суммарная мощность силового привода буровых установок составляет от 1000 до 4500 кВт.

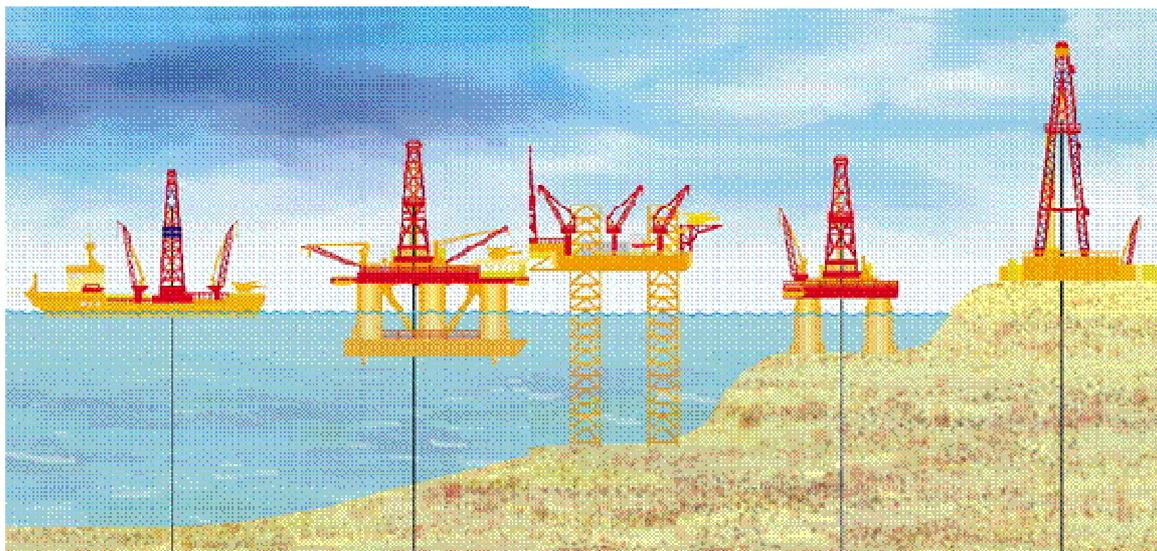
К вышеперечисленным сооружениям относятся:

- помещение для размещения двигателей и передаточных механизмов лебедки;
- насосное помещение для размещения буровых насосов и их двигателей;
- приемные мостки, предназначенные для транспортировки бурового технологического оборудования, инструмента, материалов и запасных частей;
- запасные резервуары для хранения бурового раствора;
- трансформаторная площадка для установки трансформатора;
- площадка для размещения механизмов по приготовлению бурового раствора и хранения сухих материалов для него;
- стеллажи для размещения труб.

### *Бурение скважин на море*

Конструкции буровых установок, сооружаемые на морских территориях, зависят от их глубины. Варианты их сооружения показаны на рис. 4.6.

Одно из решений – на мелководье забивают сваи, на которых устанавливают платформу, а на ней размещают буровую вышку и необходимое оборудование.



*Рис. 4.6. Конструкции буровых установок для бурения на море*

Другой способ – «продлить» берег, засыпав мелководье грунтом.

При бурении нефтяных и газовых скважин в глубоководных районах морей и океанов использовать стационарные платформы технически сложно и экономически невыгодно. Для этого случая созданы плавучие буровые установки, способные самостоятельно или с помощью буксиров менять районы бурения.

Различают самоподъемные буровые платформы, полупогружные буровые платформы и буровые платформы гравитационного типа.

**Самоподъемная буровая платформа** представляет собой плавучий понтон с вырезом, над которым расположена буровая вышка. Понтон имеет трех-, четырех- или многоугольную форму. На ней размещаются буровое и вспомогательное оборудование, многоэтажная рубка с каютами для экипажа и рабочих, электростанция и склады. По углам платформы установлены многометровые колонны-опоры.

В точке бурения с помощью гидравлических домкратов колонны опускаются, достигают дна, опираются на грунт и заглубляются в него, а платформа поднимается над поверхностью воды. После окончания бурения в одном месте платформу переводят в другое.

Надежность установки самоподъемных буровых платформ зависит от прочности грунта, образующего дно в месте бурения.

**Полупогружные буровые платформы** применяют при глубинах 300...600 м, где неприменимы самоподъемные платформы. Они не опираются на морское дно, а плавают над местом бурения на огромных понтонах. От перемещений такие платформы удерживаются якорями массой 15 т и более. Стальные канаты связывают их с автоматическими ле-

бедками, ограничивающими горизонтальные смещения относительно точки бурения.

Первые полупогружные платформы были несамоходными, и их доставляли в район работ с помощью буксиров. Впоследствии платформы были оборудованы гребными винтами с приводом от электромоторов суммарной мощностью 4,5 тысяч кВт.

Недостатком полупогружных платформ является возможность их перемещения относительно точки бурения под воздействием волн.

Более устойчивыми являются **буровые платформы гравитационного типа**. Они снабжены мощным бетонным основанием, опирающимся на морское дно. В этом основании размещаются не только направляющие колонны для бурения, но также ячейки-резервуары для хранения добытой нефти и дизельного топлива, используемого в качестве энергоносителя, многочисленные трубопроводы.

Морское дно в месте установки гравитационных платформ должно быть тщательно подготовлено. Даже небольшой уклон дна грозит превратить буровую в Пизанскую башню, а наличие выступов на дне может вызвать раскол основания. Поэтому перед постановкой буровой «на точку» все выступающие камни убирают, а трещины и впадины на дне заделывают бетоном.

Все типы буровых платформ должны выдерживать напор волн высотой до 30 м, хотя такие волны и встречаются раз в 100 лет.

#### 4.4. Понятие о разработке нефтяных месторождений

Разработка нефтяных и газовых месторождений осуществляется с помощью буровых скважин. Иногда применяется шахтная добыча нефти (Ярегское нефтяное месторождение, Республика Коми).

Под *системой разработки* нефтяных месторождений и залежей понимают форму организации движения нефти в пластах к добывающим скважинам.

Систему разработки нефтяных месторождений определяют:

- порядок ввода эксплуатационных объектов многопластового месторождения в разработку;
- сетки размещения скважин на объектах, темп и порядок ввода их в работу;
- способы регулирования баланса и использования пластовой энергии.

Следует различать системы разработки многопластовых месторождений и отдельных залежей (однопластовых месторождений).

*Объект разработки* – один или несколько продуктивных пластов месторождения, выделенных по геолого-техническим условиям и экономическим соображениям для разбуривания и эксплуатации единой системой скважин.

При выделении объектов следует учитывать:

- геолого-физические свойства пород-коллекторов;
- физико-химические свойства нефти, воды и газа;
- фазовое состояние углеводородов и режим пластов;
- технику и технологию эксплуатации скважин.

*Объекты разработки* подразделяют на самостоятельные и возвратные. Возвратные объекты, в отличие от самостоятельных, предполагается разрабатывать скважинами, эксплуатирующими в первую очередь какой-то другой объект.

### *Сетка размещения скважин*

Сетка скважин – характер взаимного расположения добывающих и нагнетательных скважин на эксплуатационном объекте с указанием расстояний между ними (плотность сетки). Скважины располагают по равномерной сетке и неравномерной сетке (преимущественно рядами). Сетки по форме бывают квадратными, треугольными и многоугольными. При треугольной сетке на площади размещается скважин больше на 15,5 %, чем при квадратной в случае одинаковых расстояний между скважинами.

Под *плотностью сетки* скважин подразумевают отношение площади нефтеносности к числу добывающих скважин. Вместе с тем это понятие очень сложное. Плотность сетки определяется с учетом конкретных условий. С конца 50-х годов месторождения эксплуатируются с плотностью сетки  $(30 \dots 60) \cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{скв.}$

### *Стадии разработки месторождений*

Стадия – это период процесса разработки, характеризующийся определенным закономерным изменением технологических и технико-экономических показателей. Под технологическими и технико-экономическими показателями процесса разработки залежи понимают текущую (среднегодовую) и суммарную (накопленную) добычу нефти, текущую и суммарную добычу жидкости (нефти и воды), обводненность добываемой жидкости  $n_v$  (отношение текущей добычи воды к текущей добыче жидкости), текущий и накопленный водонефтяной фактор (отношение добычи воды к добыче нефти), текущую и накопленную

закачку воды, компенсацию отбора закачкой (отношение закачанного объема к отобранному при пластовых условиях), коэффициент нефтеотдачи, число скважин (добывающих, нагнетательных), пластовое и забойное давления, текущий газовый фактор, средние дебит добывающих и приемистость нагнетательных скважин, себестоимость продукции, производительность труда, капитальные вложения, эксплуатационные расходы, приведенные затраты и др.

По динамике добычи нефти выделяют четыре стадии процесса разработки залежей пластового типа в гранулярных коллекторах при водонапорном режиме (рис. 4.7). Графики построены в зависимости от безразмерного времени  $\tau$ , представляющего собой отношение накопленной добычи жидкости к балансовым запасам нефти.

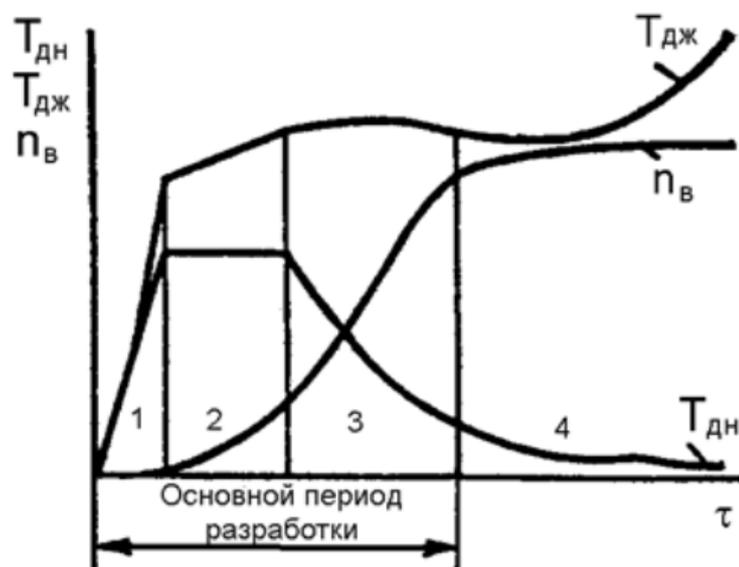


Рис. 4.7. Типовая динамика темпа добычи нефти  $T_{ДН}$ , жидкости  $T_{ДЖ}$  и обводненности продукции  $n_v$  при водонапорном режиме с выделением стадий разработки: 1 — освоение эксплуатационного объекта; 2 — поддержание высокого уровня добычи нефти; 3 — значительное снижение добычи нефти; 4 — завершающая

**Первая стадия** — освоение эксплуатационного объекта — характеризуется:

- интенсивным ростом добычи нефти до максимально заданного уровня (прирост составляет примерно 1–2 % в год от балансовых запасов);
- быстрым увеличением действующего фонда скважин до 0,6–0,8 от максимального;

- резким снижением пластового давления;
- небольшой обводненностью продукции  $n_B$  (обводненность продукции достигает 3–4 % при вязкости нефти не более 5 мПа·с и 35 % при повышенной вязкости);
- достигнутым текущим коэффициентом нефтеотдачи  $K_H$  (около 10 %).

Продолжительность стадии зависит от промышленной ценности залежи и составляет 4–5 лет, за окончание стадии принимается точка резкого перегиба кривой темпа добычи нефти  $T_{дн}$  (отношение среднегодового отбора нефти к балансовым ее запасам).

**Вторая стадия** – поддержание высокого уровня добычи нефти – характеризуется:

- более или менее стабильным высоким уровнем добычи нефти (максимальный темп добычи нефти находится в пределах 3...17 %) в течение 3–7 лет и более для месторождений с маловязкими нефтями и 1–2 года – при повышенной вязкости;
- ростом числа скважин, как правило, до максимума за счет резервного фонда;
- нарастанием обводненности продукции  $n_B$  (ежегодный рост обводненности составляет 2–3 % при малой вязкости нефти и 7 % и более при повышенной вязкости, на конец стадии обводненность колеблется от нескольких до 65 %);
- отключением небольшой части скважин из-за обводнения и переводом многих на механизированный способ добычи нефти;
- текущим коэффициентом нефтеотдачи  $\eta$ , составляющим к концу стадии 30–50 %, а для месторождений с «пиком» добычи – 10–15 %.

**Третья стадия** – значительное снижение добычи нефти – характеризуется:

- снижением добычи нефти (в среднем на 10–20 % в год при маловязких нефтях и на 3–10 % при нефтях повышенной вязкости);
- темпом отбора нефти на конец стадии 1–2,5 %;
- уменьшением фонда скважин из-за отключения вследствие обводнения продукции, переводом практически всего фонда скважин на механизированный способ добычи;
- прогрессирующим обводнением продукции  $n_B$  до 80–85 % при среднем росте обводненности 7–8 % в год, причем с большей интенсивностью для месторождений с нефтями повышенной вязкости;

- повышением текущих коэффициентов нефтеотдачи  $K_H$  на конец стадии до 50–60 % для месторождений с вязкостью нефти не более 5 мПа·с и до 20–30 % для месторождений с нефтями повышенной вязкости;
- суммарным отбором жидкости 0,5–1 объема от балансовых запасов нефти.

Эта стадия наиболее трудная и сложная для всего процесса разработки, ее главная задача – замедление темпа снижения добычи нефти. Продолжительность стадии зависит от продолжительности предыдущих стадий и составляет 5...10 и более лет. Определить границу между третьей и четвертой стадиями по изменению среднегодового темпа добычи нефти  $T_{дн}$  обычно трудно. Наиболее четко ее можно определить по точке перегиба кривой обводненности  $n_B$ .

Совместно первую, вторую и третью стадии называют *основным периодом разработки*. За основной период отбирают из залежей 80–90 % извлекаемых запасов нефти.

**Четвертая стадия** – завершающая – характеризуется:

- малыми, медленно снижающимися темпами отбора нефти  $T_{дн}$  (в среднем около 1 %);
- большими темпами отбора жидкости  $T_{дж}$  (водонефтяные факторы достигают 0,7–7 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>);
- высокой медленно возрастающей обводненностью продукции (ежегодный рост составляет около 1 %);
- более резким, чем на третьей стадии, уменьшением действующего фонда скважин из-за обводнения (фонд скважин составляет примерно 0,4–0,7 от максимального, снижаясь иногда до 0,1);
- отбором за период стадии 10–20 % балансовых запасов нефти.

Продолжительность четвертой стадии сопоставима с длительностью всего предшествующего периода разработки залежи, составляет 15–20 лет и более, определяется пределом экономической рентабельности, т.е. минимальным дебитом, при котором еще рентабельна эксплуатация скважин. Предел рентабельности обычно наступает при обводненности продукции примерно на 98 %.

#### *Размещение эксплуатационных и нагнетательных скважин на месторождении*

Для поддержания пластового давления и увеличения коэффициента отдачи пласта, который на разных месторождениях колеблется в широких пределах, применяют закачку под давлением в продуктивные

пласты воды или газа через нагнетательные скважины. Первый метод связан с закачкой под большим давлением (порядка 20 МПа) в нефтяные пласты воды, прошедшей специальную подготовку. Различают законтурное, внутриконтурное и площадное заводнение нефтяных пластов.

При законтурном заводнении (рис. 4.8) воду закачивают в пласт через нагнетательные скважины, размещаемые за внешним контуром нефтеносности по периметру залежи. Эксплуатационные скважины располагают внутри контура нефтеносности рядами параллельно контуру. Суммарный объем отбираемой жидкости равен количеству нагнетаемой в пласт воды.

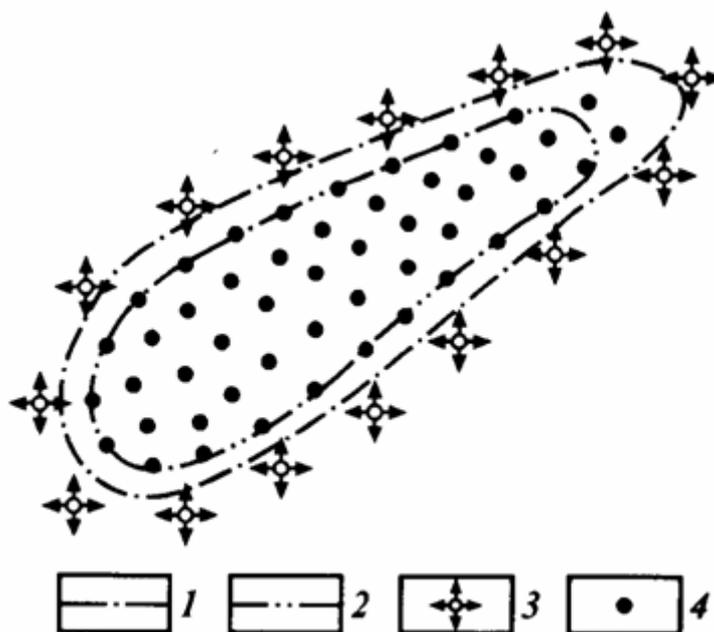


Рис. 4.8. Система разработки нефтяной залежи с законтурным заводнением. Контурсы нефтеносности: 1 – внешний; 2 – внутренний; скважины: 3 – нагнетательные; 4 – добывающие

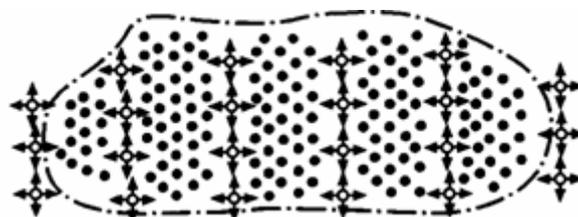


Рис. 4.9. Система разработки нефтяной залежи с внутриконтурным (блоковым) заводнением. Условные знаки см. на рис. 4.8.

На больших месторождениях применяют внутриконтурное заводнение – разрезание нагнетательными рядами на отдельные эксплуата-

ционные блоки (рис. 4.9). На 1 т извлекаемой нефти необходимо нагнетать 1,6–2 м<sup>3</sup> воды.

Площадное заводнение применяется как вторичный метод добычи нефти при разработке нефтяных залежей на ненапорных режимах, когда запасы пластовой энергии в значительной степени израсходованы, а в недрах есть значительное количество нефти. Закачка воды в пласт осуществляется через систему нагнетательных скважин, расположенных равномерно по всей залежи. Нормальный расход воды – 10–15 м<sup>3</sup> на 1 т нефти.

Заводнение позволило повысить нефтеотдачу залежей (по сравнению с режимом растворенного газа), но в настоящее время оно практически исчерпало свои возможности, и для повышения его эффективности разрабатываются более совершенные его виды.

К таким относятся: щелочное заводнение, полимерное заводнение, использование пен и эмульсий, вытеснение нефти горячей водой и паром. Вытеснение нефти возможно также двуокисью углерода, растворителями и газами высокого давления, продуктами внутрипластового горения нефти. Кроме этих методов внедряют в практику циклическое заводнение, изменение направлений фильтрационных потоков жидкостей в пласте, нагнетание воды при высоких давлениях, сформированный отбор жидкостей, микробиологическое воздействие на нефтяной пласт и т.д.

#### **4.5. Понятие об эксплуатации газовых скважин**

Существенное отличие физических свойств газа от физических свойств нефти выражается, главным образом, в его незначительной плотности, высокой упругости, значительно меньшей вязкости, определяет специфику разработки газовых и газоконденсатных месторождений, заключающуюся в том, что газ добывают, в основном, фонтанным способом. При этом сложная и протяженная система газоснабжения от залежи до потребления полностью герметична и представляет собой единое целое.

Газовые месторождения разделяют на чисто газовые месторождения и газоконденсатные. На газовых месторождениях из скважин поступает чистый газ (природный газ) вместе с небольшим количеством влаги и твердыми частицами механических примесей.

Природный газ состоит в основном из легкого углеводорода – метана (94...98 %), не конденсирующегося при изменении пластового давления. Чисто газовые месторождения встречаются редко. Примеры га-

зовых месторождений: Заполярное, Уренгойское, Медвежье (в сеноманских отложениях).

В состав газоконденсатных месторождений входит не только легкий углеводород парафинового ряда – метан, но и более тяжелые углеводороды, при изменении пластового давления переходящие в жидкое состояние, образуя так называемый конденсат. Вместе с газом и конденсатом с забоя скважин поступает вода и твердые частицы механических примесей. На ряде отечественных (Оренбургское, Астраханское газоконденсатные месторождения) и зарубежных (Лакское во Франции) месторождений газы содержат достаточно большое количество сероводорода и углекислого газа (до 25 % по объему). Такие газы называются кислыми. На отдельных месторождениях вместе с газом из скважин поступает достаточно большое количество ценных инертных газов (в основном, гелия).

Основной метод добычи газа и газового конденсата – фонтанный, так как газ в продуктивном пласте обладает достаточно большой энергией, обеспечивающей его перемещение по капиллярным каналам пласта к забоям газовых скважин. Как и при фонтанном способе добычи нефти, газ поступает к устью скважины по колонне фонтанных труб.

Добычу газа ведут из одного пласта (однопластовые месторождения) и из двух и более пластов (многопластовые месторождения).

Оптимальный диаметр фонтанных труб определяют исходя из двух критериев: максимального выноса с забоя скважин на поверхность твердых и жидких примесей газа и минимума потерь давления в трубах при заданном дебите газовой скважины. Вынос твердых частиц с забоя скважины с потоками газа обеспечивается в том случае, если скорость восходящего потока в скважине превысит критическую скорость, при которой твердые частицы еще будут находиться во взвешенном состоянии в потоке газа.

Оборудование устья и забоя газовых скважин, а также конструкция газовой скважины практически аналогичны нефтяным скважинам.

Эксплуатация газовых скважин связана с необходимостью обеспечения заданного дебита газа и газового конденсата. Это зависит во многом от состояния призабойной зоны скважины, степени ее обводненности, наличия в составе газа и конденсата агрессивных компонентов (сероводорода, углекислого газа) и других факторов, среди которых важное значение имеет число одновременно эксплуатируемых продуктивных пластов в одной скважине.

При значительных пескопроявлениях продуктивного пласта на забое скважины образуются малопроницаемые для газа песчаные пробки, существенно снижающие дебит скважин. Например, при равенстве про-

нищаемостей пласта и песчаной пробки дебит скважин составляет всего 5 % дебита скважины газа незасоренной скважины. Основные задачи, решаемые при эксплуатации газовых скважин с пескопроявлениями на забое: с одной стороны, предотвращение образования песчаных пробок за счет ограничения дебита скважин; с другой стороны, выбор такого дебита скважины, при котором обеспечивался бы вынос частиц песка, проникающих на забой, на поверхность, к устью скважины. Наконец, если снижение дебита скважины для предотвращения образования песчаных пробок окажется намного меньше потенциального дебита скважины, то необходимо решать вопрос о защите призабойной зоны скважины от попадания песка и образования песчаных пробок с сохранением высокого дебита скважины. В последнем случае для защиты забоя скважины от попадания песка устанавливают различные фильтры: с круглыми отверстиями, щелевые и проволочные. Первые два вида фильтров представляют собой отрезки труб с круглыми отверстиями диаметром 1,5–2 мм или с продолговатыми отверстиями типа щелей. *Проволочные* фильтры – это обрезки труб с круглыми крупными отверстиями, обмотанные проволокой с малым шагом навивки. Применяют также закрепление слабых пород призабойной зоны пласта для предотвращения их разрушения и засорения забоя скважины. Для этого в скважину закачивают водные суспензии различных смол (фенольноформальдегидных, карбамидных и др.). При этом в пласте смола отделяется от воды и цементирует частицы песка, а вода заполняет капиллярные каналы и удаляется из них при освоении скважин. Для удаления песчаных пробок применяют также промывку скважин.

При эксплуатации газовых скважин в условиях обводнения призабойной зоны следует учитывать такие отрицательные последствия, как снижение дебита скважины, сильное обводнение газа, а значит, и большой объем его сепарации на промыслах для отделения воды, опасность образования большого объема кристаллогидратов и др. В связи с этим необходимо постоянное удаление воды из призабойной зоны скважины.

Применяют периодическое и непрерывное удаление влаги из скважины. К периодическим методам удаления влаги относят: остановку скважины (периодическую) для обратного поглощения жидкости пластом; продувку скважины в атмосферу или через сифонные трубки; вспенивание жидкости в скважине за счет введения в скважину пенообразующих веществ (пенообразователей). К непрерывным методам удаления влаги из скважины относят: эксплуатацию скважин при скоростях выходящего газа, обеспечивающих вынос воды с забоя; непрерывную

продувку скважин через сифонные или фонтанные трубы; применение плунжерного лифта; откачку жидкости скважинными насосами; непрерывное вспенивание жидкости в скважине. Выбор метода удаления влаги зависит от многих факторов. При малых дебитах газа из скважины достаточно применение одного из периодических методов удаления влаги, а при больших дебитах – одного из непрерывных методов. Широко применяется относительно недорогой и достаточно эффективный метод введения в скважину веществ – пенообразователей. В качестве пенообразователей используют поверхностно-активные вещества (ПАВ) – сильные пенообразователи – сульфанол, синтетические моющие порошки («Кристалл», «Луч») и др. Вспененная жидкость имеет значительно меньшую плотность и легко выносится на поверхность с потоком газа.

При добыче кислых газов главное – защита обсадных и фонтанных труб и оборудования от агрессивного действия сероводорода и углекислого газа. Для защиты труб и оборудования от коррозии разработаны различные методы: ингибирование с помощью веществ – ингибиторов коррозии; применение для оборудования легированных коррозионно-стойких сталей и сплавов; применение коррозионно-стойких неметаллических и металлических покрытий, использование электрохимических методов защиты от коррозии; использование специальных технологических режимов эксплуатации оборудования.

Наибольшее применение в практике эксплуатации газовых скважин при добыче кислых газов для защиты от коррозии нашли ингибиторы, т. е. вещества, при введении которых в коррозионную среду скорость коррозии значительно снижается или коррозия полностью прекращается.

Схемы ввода ингибиторов: а) инъекция ингибиторов в межтрубное пространство; б) закачка ингибиторов непосредственно в пласт; в) введение ингибиторов в твердом состоянии. В межтрубное пространство ингибитор инжектируют с помощью специальной дозаторной установки. Ингибитор в строго дозированном количестве под действием силы тяжести постоянно подается в межтрубное пространство, поступает на забой скважины и потоком газа по фонтанным трубам выносится на поверхность. Наличие в потоке газа с агрессивными компонентами ингибитора позволяет снизить скорость коррозии и заметно ослабить ее опасные последствия. Для борьбы с сероводородной коррозией эффективно вводить ингибиторы непосредственно в пласт. Ингибиторы в пласты закачивают с помощью цементировочных агрегатов под давлением один раз за время от 3 до 12 мес. Однако при закачке ингибиторов непосредственно в пласты необходимо принимать меры, предотвращающие загрязнение капиллярных каналов пласта.

Для изготовления подземного оборудования (пакеры, циркуляционные и предохранительные клапаны и др.) используют легированные коррозионно-стойкие стали. В отдельных случаях для фонтанных и обсадных труб применяют алюминиевые сплавы – дюралюмины Д16Т, Д16АТ, хромистые нержавеющие стали марок 2Х13, 1Х13, Х 13, Х 9М, Х 8.

При протекторной защите фонтанных и обсадных труб последние контактируют с пластинами из более электроотрицательных металлов (магния, цинка). В этом случае коррозионному разрушению подвергаются не стальные трубы, а более отрицательные металлы анода. Если для защиты труб и оборудования применяют катодную защиту, то от источника постоянного тока (катодной станции) на трубы или оборудование подают отрицательный потенциал, а на рядом расположенный отрезок трубы (анод) – положительный потенциал, что приводит к разрушению анода и к сохранению без разрушения катода, т. е. металла труб или оборудования.

Эксплуатацию многопластовых газовых и газоконденсатных месторождений ведут двумя способами: 1) на каждый пласт бурят свои скважины (дорогой способ); 2) извлечение газа из двух и более пластов выполняют одной скважиной.

При эксплуатации газовых скважин может быть осложнение – гидратообразование. Пары воды конденсируются и скапливаются в скважине и газопроводах. При определенных условиях каждая молекула углеводородного газа (метан, этан, пропан, бутан) способна связать 6...17 молекул воды, например:  $\text{CH}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{C}_2\text{H}_6 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{C}_3\text{H}_8 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$ . Таким образом, образуются твердые кристаллические вещества, называемые кристаллогидратами. По внешнему виду гидраты напоминают снег или лед. Это устойчивые соединения, при нагревании или понижении давления, быстро разлагающиеся на газ и воду.

Образовавшиеся гидраты могут закупорить скважины, газопроводы, сепараторы, нарушить работу измерительных приборов и регулирующих средств.

Борьба с гидратами, как и с любыми отложениями, ведется в направлениях их предупреждения и ликвидации. Следует всегда отдавать предпочтение методам предупреждения гидратообразования. Если безгидратный режим невозможен, то применяются ингибиторы гидратообразования: метиловый спирт  $\text{CH}_3\text{OH}$  (метанол), хлористый кальций, гликоли (этиленгликоль, ди- и триэтиленгликоль).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для работы на горных предприятиях современного технического уровня, а также подземных объектах различного назначения требуются высококвалифицированные специалисты, владеющие обширными знаниями в области механизации, технологии и организации горного дела.

Достоинствами профессии горного инженера по специальности «Горные машины и оборудование» являются ее универсальность, постоянная во все времена востребованность и простор для творчества. *Универсальность* профессии заключается в широком диапазоне деятельности: конструктор-разработчик горных машин и комплексов, а также горных предприятий, технолог по их эксплуатации. *Постоянная востребованность* профессии заключается в том, что без горных инженеров не будет дальнейшего развития добывающей и промышленной отраслей, а значит, и общества в целом. *Простор для творчества* в профессии состоит в том, что для разработки и эксплуатации машин, особенно в постоянно меняющихся горно-геологических, горнотехнических и тектонических условиях необходимо, кроме глубоких и систематических знаний, постоянное их пополнение путем проведения исследований в различных научных направлениях.

Учебная дисциплина «Введение в специальность» является первой в блоке общепрофессиональных дисциплин и предусматривает освоение студентами базовых понятий горного дела для изучения на их основе в дальнейшем специальных дисциплин.

В настоящем учебном пособии авторы, основываясь на передовых достижениях горной науки и практики, а также личном опыте производственной, научно-исследовательской и учебно-методической работы, попытались максимально доступно изложить основы современного горного дела, привести сведения из истории горного дела и горного образования в России. Надеемся, что настоящее пособие будет интересно и полезно, не только студентам первого курса, но и широкому кругу читателей, интересующихся вопросами истории науки, техники и образования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борычев Н.И. Пособие молодому шахтеру: Учеб. пособие для подготовки рабочих на производстве. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1991. – 90 с.
2. Городниченко В.И., Дмитриев А.П. Основы горного дела: Учебник для вузов. – М.: Издательство «Горная книга», Издательство Московского государственного горного университета, 2008. – 464 с.
3. Егоров П.В., Бобер Е.А., Кузнецов Ю.Н., Косьминов Е.А., Решетов С.Е., Красюк Н.Н. Основы горного дела: Учебник для вузов. – М.: Издательство МГГУ, 2000. – 408 с.
4. Ефременков А.Б., Казанцев А.А., Блащук М.Ю. Горные машины и оборудование. Введение в специальность. Часть 1: учебное пособие. – 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 153 с.
5. Катрюк И.С. Введение в специальность горный инженер-механик. – Изд. Красноярского университета, 1992. – 196 с.;
6. Конвейеры: Справочник / Р.А. Волков, А.Н. Гиутов, В.К. Дьячков и др./ Под общей ред. Ю.А. Пертена. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отд., 1984. – 367 с.: ил.
7. Крец В.Г., Шадрина А.В. Основы нефтегазового дела: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 182 с.
8. Лукьянов В.Г., Громов А.Д., Пинчук Н.Т. Технология проведения горно-разведочных выработок: Учебник для вузов. 2-е изд. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 468 с.
9. Машины и оборудование для шахт и рудников: Справочник / С.Х. Клорикьян, В.В. Старичнев, М.А. Сребный и др. – 7-е изд., репринтн., с матриц 5-го изд. (1994 г.). – М.: Издательство МГГУ, 2002. – 471 с.
10. Месторождения полезных ископаемых: Учебник для вузов / В.А. Ермолов, Г.Б. Попова, В.В. Моисейкин и др.; Под ред. В.А. Ермолова. – М.: Издательство МГГУ, 2001. – 570 с.
11. Морозов В.И., Чуденков, В.И., Сурина Н.В. Очистные комбайны: Справочник / Под общей ред. В.И. Морозова. – М.: Издательство МГГУ, 2006. – 650 с.: ил.
12. Подэрни Р.Ю. Горные машины и комплексы для открытых работ: Учебное пособие. В 2 т. Т. 1. – 4-е изд., стер. – М.: Издательство МГГУ, 2001. – 422 с.

13. Подэрни Р.Ю. Горные машины и комплексы для открытых работ: Учебное пособие. В 2 т. Т. 2. – 4-е изд., стер. – М.: Издательство МГГУ, 2001. – 332 с.
14. Справочник. Открытые горные работы / К.Н. Трубецкой, М.Г. Потапов, К.Е. Веницкий, Н.Н. Мельников и др. – М.: Горное бюро, 1994. 590 с.
15. Сыркин П.С. Шахтное и подземное строительство. Введение в специальность: Учебное пособие в 2 ч. Ч. 1. Основы горного дела / Шахтинский ин-т ЮРГТУ. – Новочеркасск: Издательство ЮРГТУ, 2004. – 278 с.
16. Технология и механизация проведения подготовительных выработок: Справочник / П.В. Егоров, Г.Г. Штумпф, А.И. Петров и др. – М.: Недра, 1994. – 368 с.
17. Шевцов Н.Р., Миндюков Ю.И. Основы специальности «Шахтное и подземное строительство»: Учебное пособие. – Донецк: Новый мир, 2004. – 108 с.
18. Яцких В.Г., Розенберг Б.Л., Имас А.Д., Максимов В.Л. Горные машины: Учебное пособие. – М.: Государственное техническое издательство литературы по горному делу, 1959. – 506 с.
19. <http://dic.academic.ru> – Словари и энциклопедии на Академике.
20. <http://miningwiki.ru> – Шахтерская энциклопедия.

Учебное издание

ЕФРЕМЕНКОВ Андрей Борисович  
КАЗАНЦЕВ Антон Александрович  
БЛАЩУК Михаил Юрьевич

## ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ. ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ

### ЧАСТЬ 2

Учебное пособие

Научный редактор  
*доктор технических наук,  
профессор Б.Л. Герике*

Редактор *Л.А. Холопова*  
Компьютерная верстка *А.А. Казанцев*  
Дизайн обложки *Т.А. Фатеева*

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 28.05.2012. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл.печ.л. 6,68. Уч.-изд.л. 6,05.  
Заказ 1458-12. Тираж 300 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.  
Тел/факс: 8(3822)56-35-35. [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)