

Глава 9

Машины для добычи и переработки каменных материалов

В настоящее время в большинство строительных организаций щебень поступает из карьеров в готовом виде – отсортированный по фракциям и промытый. Но в дорожном строительстве, а также при производстве железобетонных конструкций в районах, удаленных от транспортных коммуникаций, приходится добывать и перерабатывать местный каменный материал.

9.1. Машины и оборудование для бурения горных пород

Скальные породы отделяют от массива чаще всего взрывным способом, для чего бурят шпуры или скважины различного диаметра и глубины, в которых размещают взрывчатые вещества. Затем крупные куски подвергают механическому воздействию, в основном дроблению.

Разработку скальных пород часто приходится выполнять при подготовке оснований для зданий и сооружений, а также при прокладке автомобильных и железных дорог и магистральных трубопроводов.

Производительность бурения зависит от параметров бурильных машин, инструмента и физико-механических свойств пород. В строительстве используются следующие способы бурения: ударный, вращательный, ударно-вращательный и огневой.

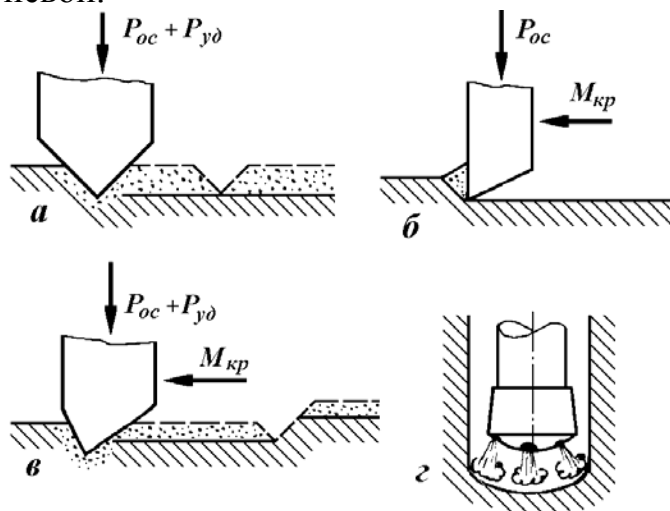


Рис. 9.1. Способы бурения:

а – ударный; *б* – вращательный; *в* – ударно-вращательный; *г* – огневой

При ударном способе бурения (рис. 9.1, *а*) порода разрушается лезвием бурового инструмента, внедряющегося в породу под действием удара. При этом под лезвием в породе возникают напряжения, превосходящие временное сопротивление породы скалыванию, вследствие чего и происходит ее разрушение. После удара буровой инструмент поворачивается и по нему вновь наносится удар. Поворот бурового инструмента происходит при небольшом

крутящем моменте. Ударный способ применяется при бурении пород средней крепости и крепких. Недостатком ударного способа бурения является периодичность воздействия бурового инструмента на породу, что обуславливает невысокие скорости бурения.

При вращательном бурении (рис. 9.1, б) разрушение породы представляет собой сложный процесс, при котором буровой инструмент производит резание, смятие и раздавливание породы. Вращательное бурение применяется преимущественно при бурении шпуров в мягких и средней крепости небразивных породах. Порода разрушается резцом, который осевым давлением внедряется в породу и при вращении скалывает ее по сечению забоя шпура. Вследствие непрерывного вращения бура и его поступательного движения лезвие резца направляется по винтовой линии, срезая слой породы, толщина которого определяется глубиной внедрения (величиной подачи на 1 оборот). Вращательное бурение является непрерывным и, следовательно, высокопроизводительным, оно позволяет бурить наклонные скважины, требует оборудования небольшого веса и простого в обслуживании. Его основной недостаток – быстрое затупление инструмента.

Ударно-вращательное бурение (рис. 9.1 в) объединяет преимущества двух указанных способов бурения и применяется в крепких и очень крепких породах. Внедрение резца происходит при одновременном воздействии осевого усилия и удара. Под действием ударной нагрузки и крутящего момента происходит скалывание породы по всему сечению забоя шпура. Этот способ позволяет подвести к забою большое количество энергии и получить высокую скорость бурения. Сравнивая рассмотренные способы бурения, следует отметить, что при бурении крепких и весьма крепких пород наиболее эффективным является ударный. Это объясняется тем, что при ударном воздействии на породу разрушаются сравнительно большие объемы породы, чем при статическом. Удельные затраты энергии при ударном способе бурения меньше, чем при ударно-вращательном и вращательном способах бурения.

При бурении скважин на открытых работах успешно применяется огневой способ бурения (рис. 9.1, г), при котором на забой скважины подается со сверхзвуковой скоростью струя газов, имеющих температуру 2500...3000°C. Неравномерный нагрев создает в породе большие механические напряжения, вызывающие ее разрушение. Разрушению породы и выносу ее из скважины способствует кинетическая энергия продуктов сгорания.

Кроме указанных способов, изучаются возможности бурения с использованием ультразвука, электрогидроэффекта, микровзрывов, водяных струй сверхвысокого давления и др.

Для бурения шпуров и скважин в горных породах широко применяются бурильные молотки (перфораторы) и буровые станки: ударно-канатного, вращательного, ударно-вращательного и термического бурения.

Бурильные молотки разрабатывают горную породу методом ударно-поворотного бурения. После каждого удара инструмент поворачивается на небольшой угол, чем предотвращается его заклинивание и обеспечивается цилиндрическая форма сечения скважины.

Перфораторы подразделяются: *по частоте ударов* – обычного типа с числом ударов до 2000 в минуту (до 120 оборотов поршня) и высокочастотные или быстроударные с числом ударов более 2000 в минуту; *по способу применения* – на ручные, колонковые и телескопные.; *по способу очистки шпура* – с осевой промывкой и продувкой, с боковой промывкой, с отсосом пыли. Ручные перфораторы, в свою очередь, подразделяются по весу на легкие (до 18 кг), средние (19...25 кг) и тяжелые (25...35 кг). Скорость бурения в каменных породах средней твердости колеблется от 6 до 12 м/ч.

Ручные легкие и средние перфораторы применяют при горизонтальном бурении или бурении сверху вниз. Используются при реконструкции и ремонте зданий и сооружений для бурения отверстий в бетоне, железобетоне, кирпичной кладке и каменных сооружениях. Ручные перфораторы расходуют от 2 до 3 м³ воздуха в минуту давлением до 6 кГ/см² (0,6 МПа).

Колонковые и тяжелые ручные перфораторы применяют для горизонтального или наклонного бурения шпуров и скважин по породам средней крепости и крепких с помощью колонок или треног. Перфораторы изготавливаются в комплекте с подающим устройством и вследствие большого веса устанавливаются на распорных колонках, буровых каретках или манипуляторах погрузочных машин. Колонковый перфоратор среднего веса предназначается для бурения шпуров глубиной до 12...15 м, диаметром до 85 мм. Тяжелые колонковые перфораторы применяются при бурении шпуров и скважин диаметром до 100 мм и глубиной 20...25 м по крепким и весьма крепким породам.

Телескопные перфораторы применяют при бурении снизу вверх или с отклонением от вертикали до 35...45°, в горных породах и рудах любой крепости. Они отличаются пневматической осевой подачей, благодаря чему бур продвигается вверх по мере углубления шпура. Легкие телескопные перфораторы предназначены для бурения шпуров коронкой диаметром до 46 мм на глубину до 3 м, а средние – для бурения шпуров диаметром до 65...85 мм и глубиной до 8...10 м.

Основной частью ручного пневматического перфоратора (рис. 9.2, а) является цилиндр 4, внутри которого под действием сжатого воздуха совершает возвратно-поступательное движение поршень-ударник 3. Сжатый воздух распределительным устройством попеременно подается то по одну, то по другую сторону поршня-ударника. При движении вниз (рабочий ход) поршень-ударник наносит удар по хвостовику бура, вставленному в нижнюю часть цилиндра. Удар этот передается на рабочую часть бура – коронку 1, разрушающую породу. При движении вверх (обратный ход) поршень-ударник, а вместе с ним бур с помощью специального поворотного механизма автоматически поворачивается на небольшой угол. Воздухораспределительное устройство перфораторов бывает золотниковое и клапанное. При золотниковом устройстве воздушные каналы открываются и закрываются постепенно. При этом золотник перемещается перпендикулярно движению струи сжатого воздуха. При клапанном устройстве воздушные клапаны открываются и закрываются сразу полностью, перемещаясь в том же направлении, что и струя сжатого воздуха.

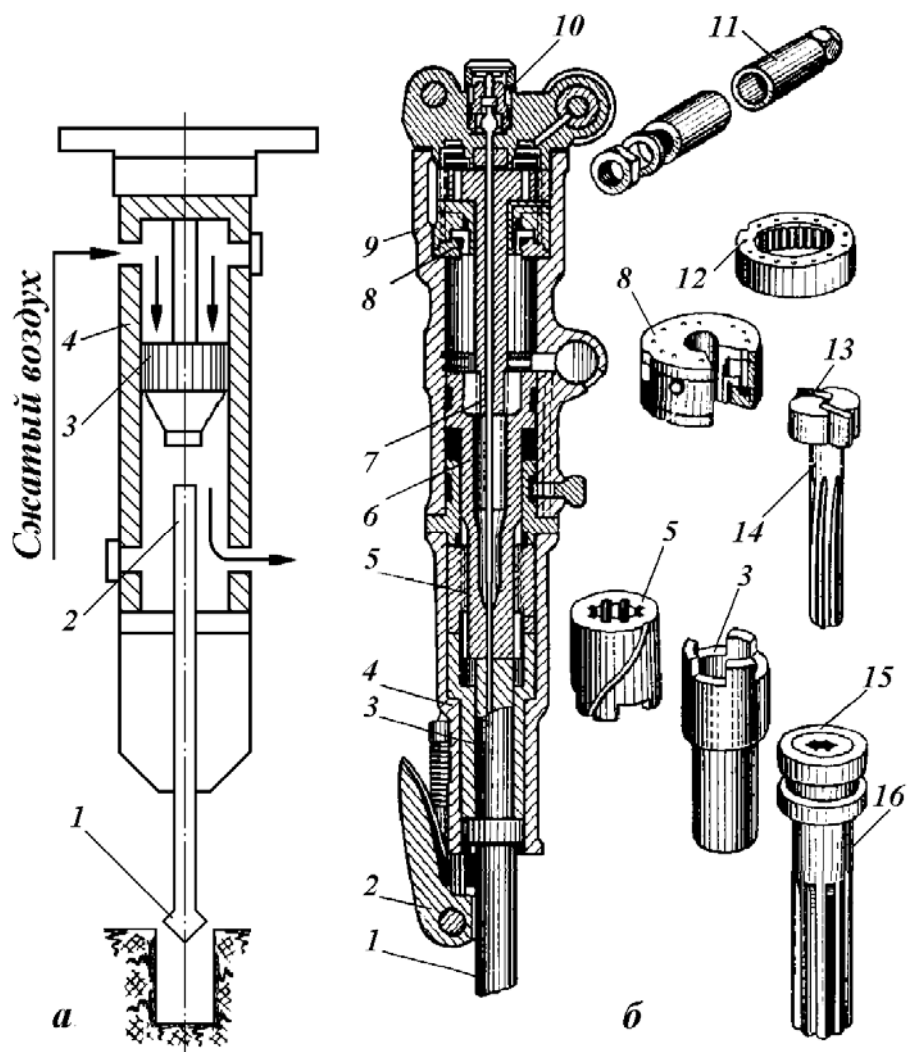


Рис. 9.2. Схема устройства пневматического перфоратора: а – схема; б – конструкция перфоратора: 1 – бур; 2 – буродержатель; 3 – поворотная муфта; 4 – корпус поворотного механизма; 5 – ведущая муфта; 6 – направляющая букса; 7 – геликоидальный стержень; 8 – воздухораспределительное устройство; 9 – корпус; 10 – промывочное устройство; 11 – ручки; 12 – храповое кольцо; 13 – собачка; 14 – головка; 15 – геликоидальная гайка; 16 – шток поршня

Устройство перфоратора и его детали показаны на рис. 9.2, б. Поворотное устройство современных перфораторов состоит из храпового кольца 12, геликоидального стержня 7 с собачками 13 и головкой 14, геликоидальной гайкой 15, поршня со штоком 16, ведущей муфты 5 и поворотной муфты 3. Поворот происходит при обратном ходе поршня. При этом собачки препятствуют поворачиванию геликоидального стержня в храповом кольце. Так как последний имеет винтовые шлицевые нарезки, профиль которых соответствует нарезке в геликоидальной гайке, запрессованной в поршне, то поршень будет навинчиваться на стержень. Поршень и ведущая муфта, имеющие прямолинейные шлицы, будут поворачиваться на некоторый угол. Так как ведущая муфта имеет кулачковое соединение с поворотной муфтой, которая, в свою очередь, имеет форму отверстия, соответствующую форме хвостовика бура, то вся система будет поворачиваться.

В перфораторах механизм поворота бура может быть устроен независимым от движения поршня. В этом случае поворот осуществляется пневматической турбинкой, укрепляемой на корпусе перфоратора.

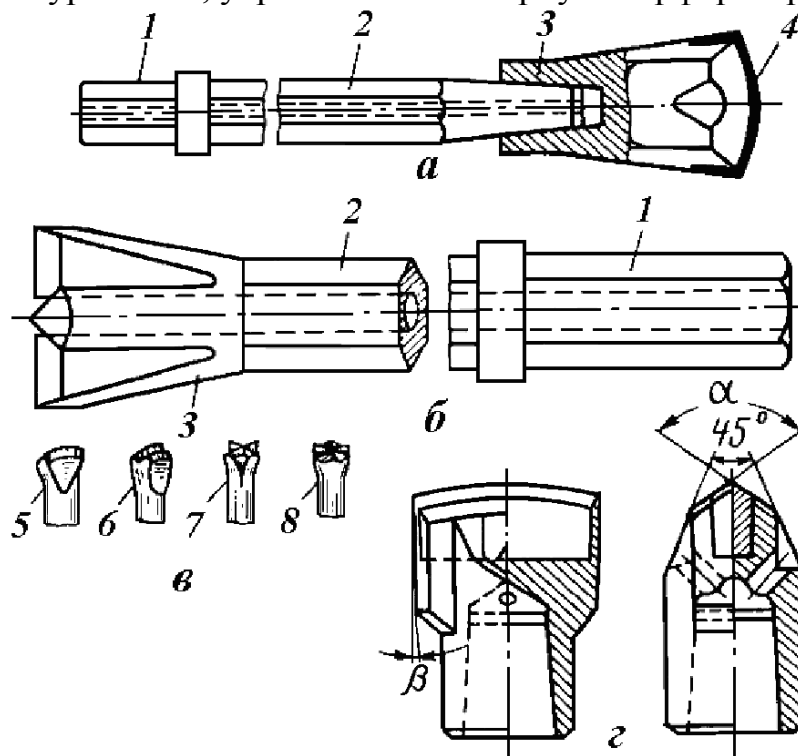


Рис. 9.3. Буры

Рабочий инструмент перфоратора, производящий бурение породы в шпурах, состоит из трех частей (рис. 9.3, а...г): хвостовика 1, коронки 3 (или головки), непосредственно воздействующей на породу, и стержня 2, соединяющего хвостовик с коронкой. На коронках часто напаивают твердосплавные пластинки 4. Стержень бура может быть различной длины в зависимости от необходимой глубины бурения. Буры изготавливают из высококачественной углеродистой стали многогранного (реже круглого) сечения диаметром 22...32 мм. Стальные прутки имеют по оси канал диаметром 4...5 мм, по которому подается воздух или вода для продувки или промывки шпура. Вода подводится по оси бура или через боковое отверстие. Буры бывают цельные, в которых коронка выполнена заодно с остальными частями бура, и составные – со съемной коронкой, соединяемой с концом стержня конусным или резьбовым соединением. Преимуществом составных буров является возможность изготовления из легированной стали только съемной коронки. Кроме того, применение съемных коронок упрощает организацию бурового хозяйства и снижает эксплуатационные расходы, поскольку в бурозаправочные мастерские в этом случае транспортируется только коронка, а не весь бур. Коронки могут иметь различную форму (рис. 9.3, в): долотчатую 5, двухдолотчатую 6, крестовую 7 и звездчатую 8. Последние две применяют при бурении в крепких и весьма крепких породах, двухдолотчатые – в трещиноватых породах, а однодолотчатые – во всех остальных случаях. Угол α заточки коронок принимают при бурении пород

средней крепости и крепких 110° , при бурении весьма крепких пород – 120° , угол β бокового уклона перьев $3...5^\circ$.

При бурении обычно применяют комплект из нескольких буров разной длины с коронками разных диаметров. Количество буров в комплекте зависит от крепости породы и глубины шпура. Длина бура в комплекте (без хвостовика) изменяется через 600 мм. По мере углубления шпура бур заменяется более длинным, но с меньшим диаметром коронки.

Разница в диаметре коронок заменяемых буров колеблется в пределах 2...3 мм для цельных буров и 1...2 мм для армированных твердыми сплавами. Расход воздуха при работе перфоратора зависит от его конструктивных данных и от давления воздуха. С повышением давления воздуха расход последнего возрастает в меньшей степени, чем скорость бурения. В связи с этим удельный расход воздуха (расход на 1 м шпура) снижается. Так, при повышении давления от 5 до 7 кг/см² удельный расход воздуха снижается на 15...20%. Давление сжатого воздуха оказывает существенное влияние на производительность бурения. При повышении давления сжатого воздуха увеличивается число ударов, число оборотов бура и крутящий момент, что приводит к увеличению скорости бурения.

Современные ручные перфораторы в зависимости от их мощности расходуют 2...5 м³/мин воздуха при числе ударов 1700...3000 в минуту.

Для повышения производительности пневматического бурения и облегчения труда бурильщиков ведутся работы по созданию высокочастотных перфораторов с числом ударов по 5000...6000 в минуту.

Пневмоподдержки предназначены для установки перфораторов и возможности бурения шпуров с необходимым осевым усилием. Общим в конструкции различных пневмоподдержек является наличие трубчатого телескопического устройства, раздвигающегося под давлением сжатого воздуха. Пневмоподдержки устанавливаются на почве выработки под углом, необходимым для бурения шпура.

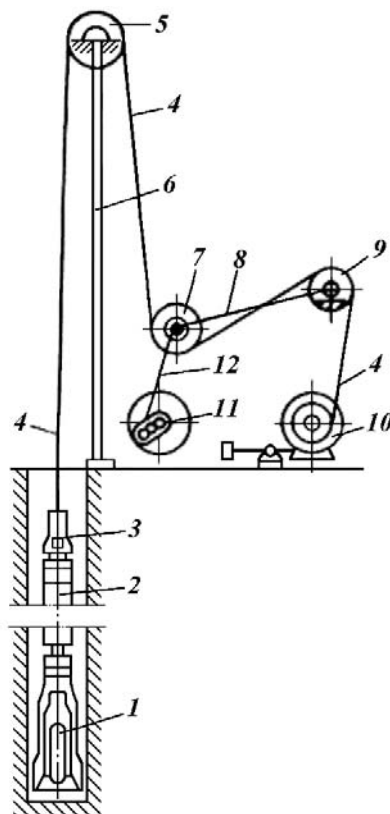


Рис. 9.4. Схема работы станка ударно-канатного бурения:

1 – долото; 2 – ударная штанга; 3 – канатный замок; 4 – канат; 5 – блок; 6 – мачта;
7 – оттяжной блок; 8 – балансир станка; 9 – вспомогательный блок; 10 – барабан; 11 – кривошип; 12 – шатун

Станок ударно-канатного бурения (рис. 9.4) производит бурение долотом, закрепленным в ударной штанге, которая связана с канатным замком. В замке закреплен канат, идущий на рабочий барабан лебедки и огибающий при этом направляющие блоки 5 и 9 и балансирный блок 7. Последний связан шатуном с кривошипом вала и совершает при вращении вала качательное движение. Долото со штангой поднимается при опускании балансирного блока; при подъеме блока рабочий инструмент падает и внедряет долото в грунт. Буровой инструмент поворачивается благодаря свойству стального каната раскручиваться под нагрузкой и скручиваться после снятия нагрузки. При ослаблении каната после удара штанга с долотом поворачивается вокруг своей продольной оси. По мере углубления рабочего органа происходит сматывание каната с барабана. Грунт из скважины удаляется желонкой, представляющей собой трубу с клапаном в нижней части. Желонка в скважину погружается периодически по мере разработки грунта. Число ударов долота не превышает 55...60 в 1 мин и назначается в зависимости от внешних условий.

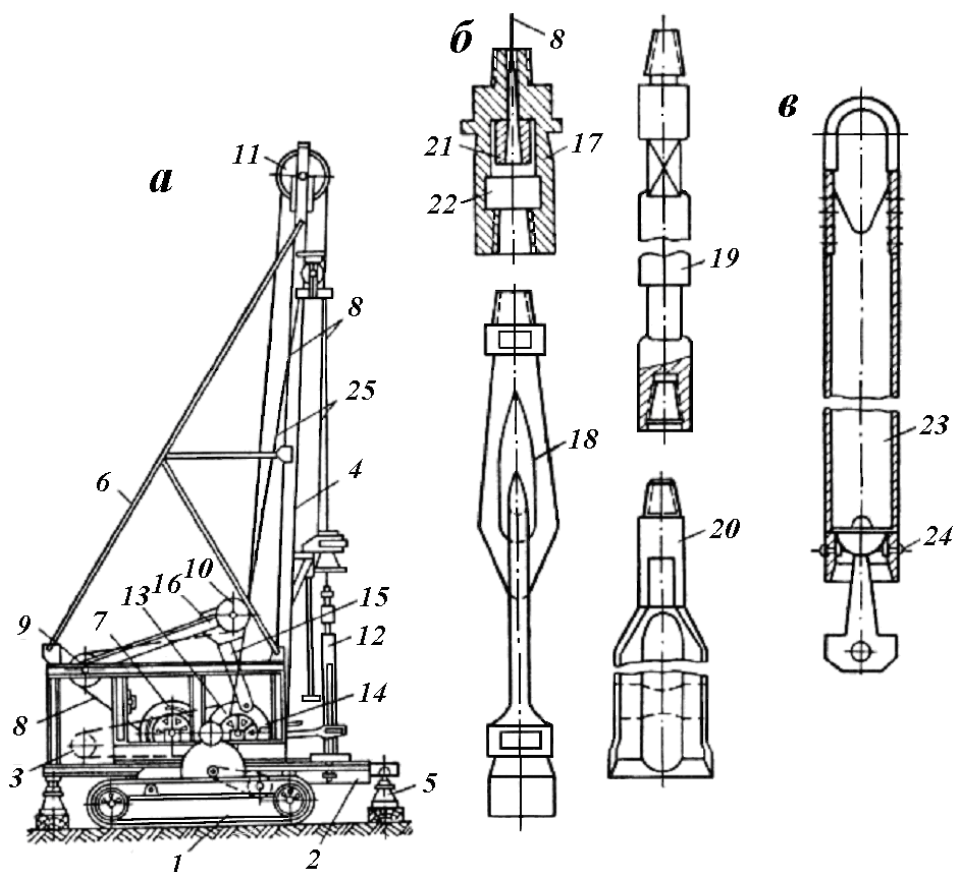


Рис. 9.5. Станок ударно-канатного бурения:

а – схема станка; *б* – схема бурового снаряда; *в* – схема очистного инструмента (желонки)

Станки ударно-канатного бурения применяются при бурении скважин диаметром до 250 мм и глубиной до 500 м. Бурение производится ударами свободно падающего бурового снаряда весом от 500 до 3000 кг. Производительность станков ударно-канатного бурения при разработке пород средней твердости при диаметре скважины приблизительно 200 мм может достигать 10...20 м в смену. Станок ударно-канатного бурения (рис. 9.5) имеет гусеничный 1 или колесный ход, раму 2 с двигателем 3 и основными механизмами и стрелу 4 с подвешенным рабочим оборудованием. При подготовке к бурению станок устанавливают горизонтально с помощью выносных домкратов 5. Ручной лебедкой складную стрелу 4 длиной от 10 до 15 м поднимают в рабочее положение и закрепляют подкосами 6.

На рабочем барабане 7 лебедки закреплен канат 8, огибающий направляющий блок 9 и балансирный блок 10. С балансирного блока канат уходит на головной блок 11 стрелы и закрепляется в канатном замке бурового инструмента 12. Со второго барабана 13 лебедки сходит канат 25 очистного инструмента, перекинутый через второй головной блок стрелы. Если передать вращение от двигателя на вал кривошипного механизма 14, то шатун 15 заставит балансир 16 совершать качательное движение относительно оси блока 9. При заторможенном барабане 7 рабочий канат балансирным блоком 10 будет натягиваться, а буровой инструмент – подниматься. При каждом подъеме балансирного блока буровой инструмент наносит удар по породе. По мере разработки скважин для удлинения каната отпускают тормоз рабочего барабана.

В состав бурового инструмента входят канатный замок 17 и при трещиноватых породах буровые ножницы 18, ударная штанга 19 и долото 20. Долото имеет массу от 50 до 300 кг и длину от 0,6 до 1,5 м. Рабочая поверхность выполняется однодолотчатой, крестовой или фасонной (звездчатой). Ударная штанга весом от 500 до 2000 кг и длиной от 5 до 10 м служит для увеличения силы удара бурового снаряда и имеет диаметр, несколько меньший диаметра долота. Канатный замок наиболее часто выполняется по схеме, обеспечивающей поворачивание бурового инструмента после каждого удара. Висящий на канате буровой инструмент растягивает канат и раскручивает его на незначительный угол. В конце удара канат ослабевает, и втулка 21 с закрепленным в ней канатом 8 поворачивается в корпусе 22 замка в обратную сторону.

Для удаления из скважины раздробленной породы в нее заливают воду и периодически очищают от образующейся смеси породы с водой (шлама). Очистным инструментом является желонка 23, опускаемая в скважину вторым барабаном лебедки после подъема бурового инструмента. Желонка, достигая дна скважины, заполняется снизу шламом. При подъеме желонки нижнее ее отверстие закрывается клапаном 24. Очистка скважины от шлама производится через 0,3...1 м длины скважины. Для предотвращения аварий, возникающих при развинчивании бурового снаряда или обрыве каната, применяют ловильные инструменты: ерши, колокола, клапаны, канаторезки и др.

Станки вращательного бурения (рис. 9.6) служат для бурения скважин диаметром до 200 мм и глубиной до 50 м. Бурение производится вращающейся коронкой буровой штанги, а удаление продуктов бурения – по спиральной канавке той же вращающейся штанги. Число оборотов буровой штанги 120...220 в минуту. Ускорение бурения достигается промывкой скважины водой или продувкой ее сжатым воздухом.

Рабочим органом **термического бурения** является реактивная горелка, из которой со скоростью 1000...1500 м /с вырывается газовая струя с температурой 800...1100°C. Под действием быстро изменяющейся температуры горные породы расслаиваются и разрушаются. Продукты разрушения пород выбрасываются из скважины газовым потоком. Для создания газовой реактивной струи высокой температуры требуется бензин (керосин), окислитель-кислород или воздух (сжатый до 6 атм воздух используется при проходке скважин в мерзлых грунтах). Расход горючего составляет 70...100 г/мин.

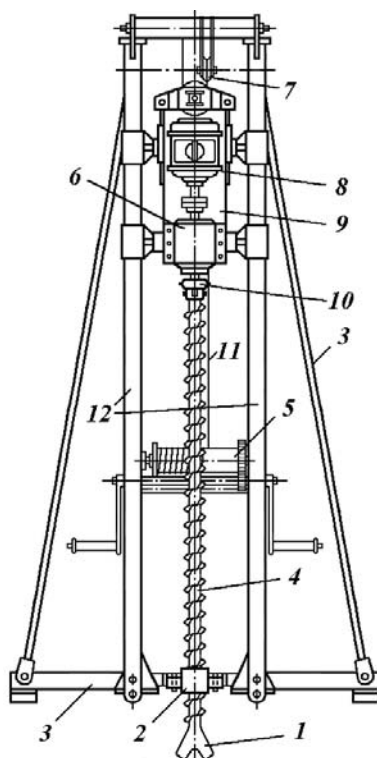


Рис. 9.6. Схема станка вращательного бурения: 1 – долото; 2 – направляющая втулка; 3 – металлическая рама; 4 – буровая штанга; 5 – ручная лебедка; 6 – редуктор; 7 – блок; 8 – электродвигатель; 9 – каретка; 10 – соединительная муфта; 11 – стальной канат; 12 – направляющие

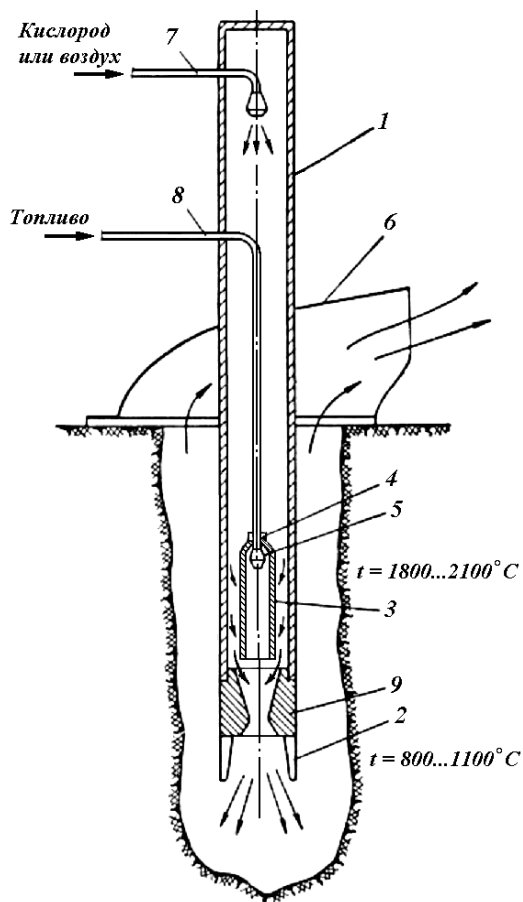


Рис. 9.7. Схема термореактивной горелки

Термореактивная горелка для термического бурения (рис. 9.7) состоит из трубы 1, в которую входят воздуховод 7 и топливопровод 8 с завихрителем 4 и

форсункой 5 на конце. Для обеспечения горения в жаровой трубе 3 имеются отверстия, через которые подается окислитель. Для формирования газовой струи служит сопло 9. В начале работы горелка устанавливается на разрабатываемую породу стойками ограничителя 2. Для защиты от нагретых газов и выбрасываемой измельченной породы служит направляющий кожух 6.

Работа горелки происходит при двух- пятикратном избытке воздуха по сравнению с необходимым для полного сгорания топлива. Скорость прожигания составляет: в песках 50, глинах 20 и гравийных грунтах 7 м/ч.

9.2. Машины и оборудование для дробления и помола

Измельчение кускового материала осуществляется механическим способом (раздавливанием, раскалыванием, изгибом), истиранием, ударом; гидравлическими и термическими методами, силой гидравлического удара при электрическом разряде в воде, высокочастотной вибрацией, ультразвуком.

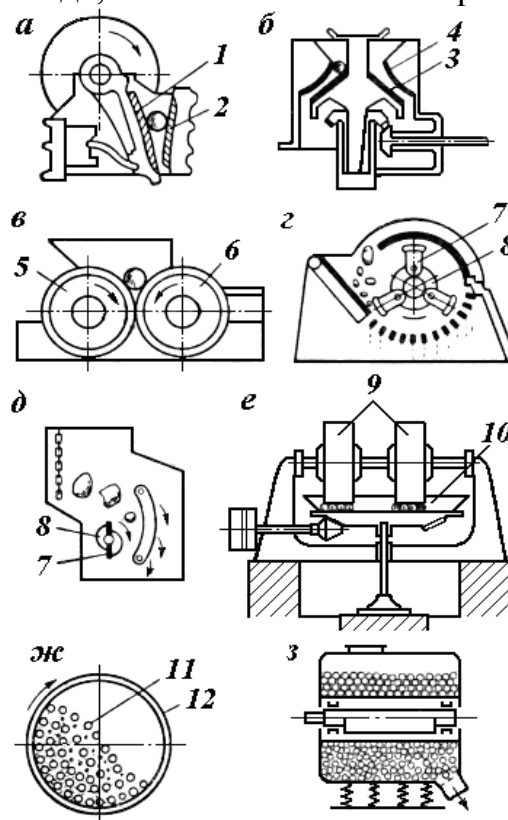


Рис. 9.8. Схемы дробильно-размольного оборудования

Для измельчения нерудных материалов применяют разнообразное дробильно-размольное оборудование (рис. 9.8):

а) щековые дробилки – раздавливание кусков материала происходит между неподвижной 2 и подвижной 1 щеками;

б) конусные дробилки – раздавливание кусков материала и частичное изгибание их происходит между внешним неподвижным конусом 4 и внутренним подвижным конусом 3; процесс дробления в конусной дробилке непрерывный;

в) валковые дробилки – дробимый материал раздавливается между двумя валками 5 и 6, вращающимися навстречу друг другу;

г) молотковые дробилки – дробление материала, а отчасти истирания, происходит за счет энергии удара, молотками 7, свободно подвешенными на вращающемся роторе 8;

д) роторные дробилки ударного действия – дробление материала происходит за счет ударов молотков 7, жестко закрепленных в роторе 8;

е) бегуны – мелкое дробление и помол материала происходят путем раздавливания и истирания между вращающимися катками 9 и подвижной или неподвижной чашей 10;

ж) шаровые и стержневые мельницы – помол предварительно измельченного в других дробильных машинах материала происходит в результате использования энергии удара и истирания свободно падающими мелющими телами (шарами, стержнями) 11, находящимися вместе с перерабатываемым материалом во вращающемся цилиндрическом барабане 12;

з) вибрационные мельницы – тонкий и сверхтонкий помол материалов происходит вследствие вибрационных колебаний барабана заполненного мелющими телами и истираемым материалом. Дробление материалов обычно производится в несколько стадий.

Основные гипотезы дробления. Изучение процесса дробления представляет огромное значение для практики, потому что в основе разрешения этого вопроса лежит определение зависимости между полезно затраченной работой и качественным результатом дробления, определение необходимых усилий для дробления, мощности, к.п.д. дробления, т.е. всех данных, необходимых для выбора дробильных машин с учетом свойств материала, а также для расчета и проектирования дробильных машин.

На процесс дробления в сильной степени влияет целый ряд случайных причин: твердость, вязкость, плотность, форма, однородность, характер поверхности дробимого материала, состояние погоды, влияющее на свойства материала некоторых видов. Потери энергии при дроблении идут не только на трение в частях машины, но и на трение между частицами дробимого материала, на нагрев, на сотрясение, толчки в машине. Все эти причины чрезвычайно усложняют приведение процесса дробления к простой формулировке, достаточно полной и удобной для практического пользования. Поэтому всякая теории дробления, освещающая процесс дробления с достаточной для практики точностью, представляет интерес.

Энергоемкость процесса разрушения горной породы определяется; на основе гипотез П. Риттингера (1867 г.) и В.Л. Кирпичева – Ф. Кика (1874 г.).

По гипотезе П.В. Риттингера «работа дробления прямо пропорциональна поверхности кусков продукта, полученной в процессе этой операции».

Измерение поверхности материала до и после дробления предполагалось делать экспериментально путем смачивания его водой. Таким образом, если взять куб, сторона которого равна 1 см, и предположить, что работа, требуемая для разделения этого куба пополам, т.е. по одной плоскости куба, будет равна A Н·см (рис 9.9, а), то при разделении этого куба на кубики со стороной равной 1/2 см придется разделить куб по трем равным (рис. 9.9, б) таким же плоскостям 1 – 1 – 1, 2 – 2 – 2 и 3 – 3 – 3 и затраченная работа на это

разделение, согласно гипотезе Риттингера, будет равна $3A$ Н·см. При этом получится 8 кубиков со стороной равной $1/2$ см ($2^3 = 8$). Если же разделить этот куб на кубики со сторонами равными $1/3$ см (рис. 9.9, в), то потребуется разделить этот куб по шести таким же плоскостям и затраченная работа на это дробление будет равна $6A$ Н·см; кубиков получится 27 ($3^3 = 27$). И в общем случае – при дроблении куба с ребрами в 1 см на кубики с ребрами $1/n$ см потребуется делить куб по $3(n-1)$ плоскостям, затраченная работа составит $A_n = 3A(n-1)$, а число кубиков равно n^3 .

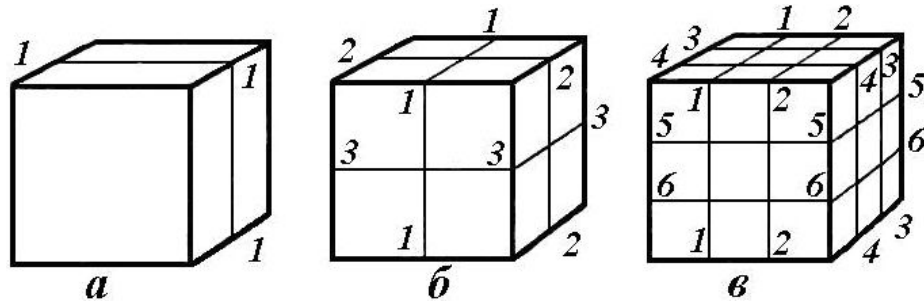


Рис. 9.9. Схема измельчения материала к гипотезе Риттингера

При разделении того же тела на куски со сторонами $1/m$ см, число плоскостей раздела будет $3(m-1)$, затраченная работа – $A_m = 3A(m-1)$, число кусков составит m^3 . Отношение работ, затраченных при дроблении на n^3 частей в первом случае и на m^3 во втором случае, будет равно

$$\frac{A_n}{A_m} = \frac{3A(n-1)}{3A(m-1)} = \frac{n-1}{m-1},$$

где A – работа, необходимая для разделения этого тела по одной плоскости, а n и m – степени дробления.

При достаточно больших n и m единицей можно пренебречь и тогда

$$A_n / A_m = n / m.$$

Таким образом, работа прямо пропорциональна степени дробления. Этой гипотезой устанавливается лишь соотношение работ, но не определяется их абсолютная величина, поэтому использование ее затруднительно.

Согласно гипотезе В.Л. Кирпичева, при прочих равных условиях «работа внутренних сил пропорциональна объемам подобных тел». Здесь имеются в виду линейно деформируемые тела.

Из теории упругости известно, что работа деформации

$$A = \sigma_{в.сж}^2 V / 2E \text{ Н·см,}$$

где $\sigma_{в.сж}$ – предел прочности при сжатии, V – объем деформируемого тела; E – модуль упругости при сжатии (МПа).

Формула справедлива, но только для напряжений, не превышающих предела упругости материала. При дроблении могут возникать напряжения, превышающие не только предел упругости, но и предел прочности материала, не говоря уже о том, что большинство горных пород не подчиняется закону Гука, вследствие чего необходимо особо подчеркнуть условность применения этих формул к работе дробления. Но считаясь с тем, что на практике приходится иметь дело с относительными показателями, что дробильные машины не так уже совершенны, – средние выводы будут вполне пригодны.

Дальнейшие опыты подтвердили достаточную приближенность этих гипотез для практического их пользования.

Ф. Бонд и акад. П.А. Ребиндер (30-е гг. XX в.) предприняли попытку объединения этих двух гипотез. Они считали, что работа дробления может быть представлена как сумма двух работ, а работа дробления кубического куска пропорциональна среднему геометрическому из его объема и поверхности, т.е.

$$A = A_{\text{др}} + A_{\text{пов}} = k_0 \sqrt{D^3 D^2} = K_0 D^{2.5}$$

где D — поперечный размер или диаметр дробимого куска.; $A_{\text{др}}$ и $A_{\text{пов}}$ — работы, затрачиваемые на деформацию разрушения камня и образование новых поверхностей.

тогда как, согласно гипотезе В.Л. Кирпичева $A = k_1 D^3$, а, по гипотезе П.В. Риттингера $A = k_1 D^2$.

Ввиду возможных значительных расхождений между рассчитанными и опытными данными определение необходимой мощности двигателей дробилок ведут, ориентируясь на уже существующие их образцы.

При крупном измельчении вновь образуемые поверхности небольшие и ими можно пренебречь, тогда $A = A_{\text{др}}$; при тонком измельчении (помоле) увеличение поверхности F_{Δ} приобретает очень большое значение, и тогда $A = A_{\text{пов}}$.

Щековые дробилки служат для измельчения нерудных материалов средней и большой твердости и, вследствие различных размеров приемного отверстия, применяются как на первой, так и на последующих стадиях дробления. Производительность их достигает 300 м³/ч. Главным параметром, характеризующим щековые дробилки, являются размеры загрузочного отверстия, которые могут быть от 175×250 до 2100×2500 мм. Различают щековые дробилки с простым, сложным и комбинированным движением подвижной щеки.

На рис. 9.10, а представлена схема щековой дробилки с простым; а на рис. 9.10, б, в — со сложным движениями щеки.

На станине 1 в подшипниках установлен эксцентриковый вал, на который свободно надеты шатун 3 или подвижная щека 3. На станине и на подвижной щеке укреплены ребристые дробящие плиты 4 обычно изготавливаемые из марганцовистой стали. Внутренние боковые поверхности станины защищены от изнашивания предохранительными клиньями 5. Этими же боковыми клиньями закрепляется на станине неподвижная дробящая плита. Дробящая плита подвижной щеки закрепляется на щеке клиновыми накладками 6 с помощью болтов.

На концах эксцентрикового вала установлены маховики 7, предназначенные для накопления энергии во время холостого хода и для передачи ее при дроблении. Один из маховиков часто используется в качестве приводного шкива для клиноременной передачи от электродвигателя. Для поддержания подвижной щеки в рабочем положении и передачи усилий на дробление служат распорные плиты 8, являющиеся также предохранительным устройством на случай попадания недробимого материала. При перегрузке дробилки они в первую очередь выходят из строя, оставляя неповрежденными

более ответственные детали. Для ускорения отхода подвижной щеки и для удерживания распорных плит от выпадения служит тяга с пружиной.

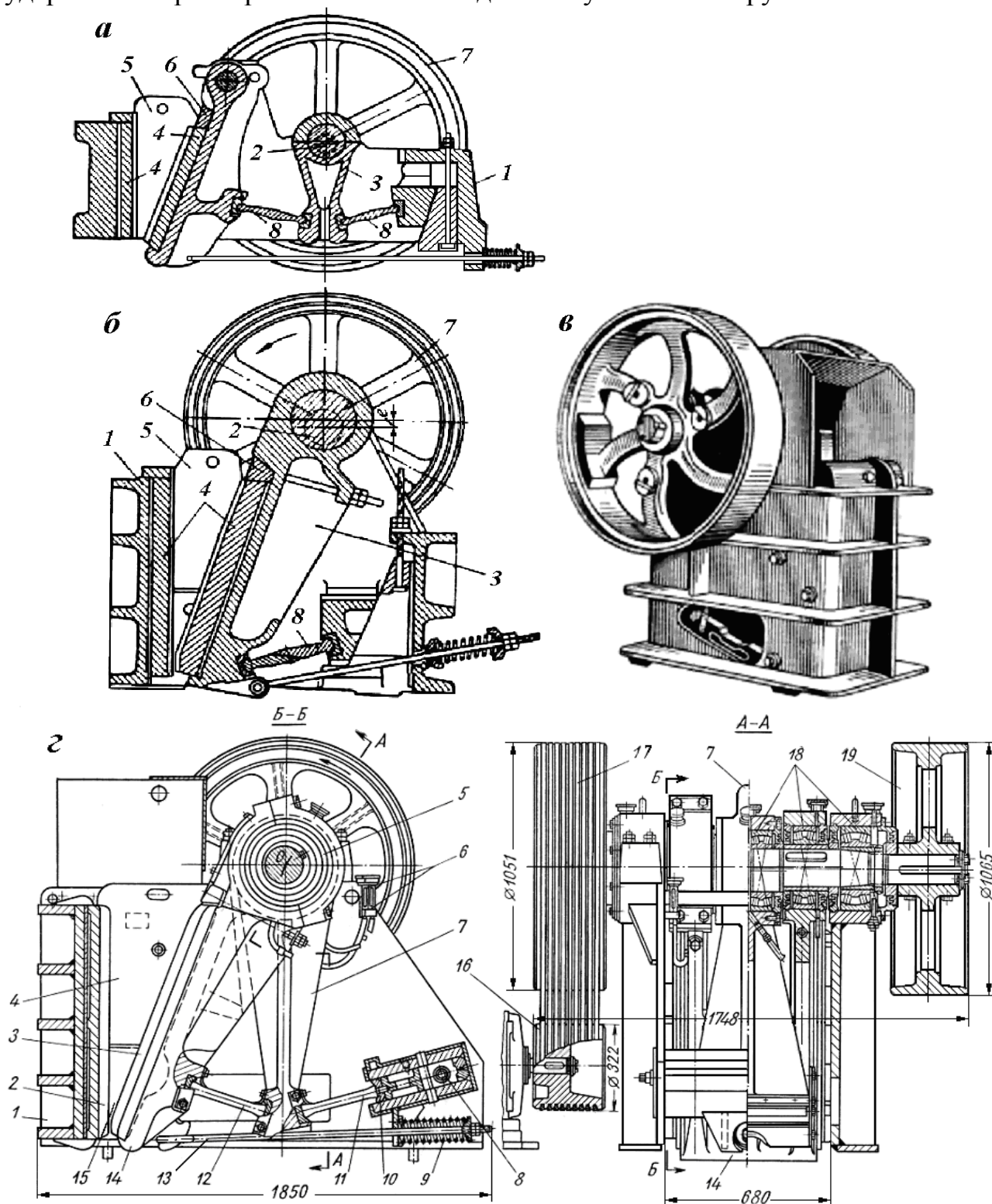


Рис. 9.10. Щековые дробилки:

а – схема дробилки с простым движением щеки; б, в – схема и общий вид дробилки со сложным движением щеки; г – схема дробилки с комбинированным движением щеки: 1 – станина; 2 – неподвижная дробящая плита; 3 – подвижная дробящая плита; 4 – верхняя футеровка; 5 – эксцентриковый вал; 6 – маслоуказатель; 7 – шатун; 8 – механизм регулирования выходной щели; 9 – пружина оттяжного устройства; 10 – тяга; 11 – задняя распорная плита (предохранительная); 12 – передняя распорная плита; 13 – тяга; 14 – качающаяся щека; 15 – нижняя футеровка; 16 – шкив электродвигателя; 17 – шкив дробилки; 18 – роликовые подшипники; 19 – маховик

Кроме дробилок со сложным и простым качанием щеки выпускаются дробилки с комбинированным движением щеки (рис.9.10, *г*). На эксцентриковом валу такой дробилки устанавливаются и шатун, и подвижная щека, что позволяет дробить материалы весьма твердых пород с пределом прочности при сжатии до 3000 кГ/см^2 (до 300 МПа). В такой дробилке материал выталкивается под действием силы трения, направленной вниз, а подвижная щека при отходе остается параллельной первоначальному положению, что обеспечивает интенсивное продвижение дробимого материала. Это облегчает разгрузку дробилки и на 20...30% повышает ее производительность по сравнению с дробилками с простым качанием щеки.

В последнее время началось производство щековых камнедробилок с двумя подвижными щеками. Срок службы дробящих плит в этих дробилках в 2...3 раза превышает срок службы дробящих плит дробилок с одной дробящей щекой.

Максимальная крупность загружаемых в щековую дробилку кусков составляет 80...90% ширины загрузочного отверстия. Удельная мощность щековых дробилок на 1 т/ч при степени измельчения $i = 4$ составляет: 0,36...0,44 кВт для мягких пород; 0,59...0,74 кВт для пород средней твердости; 0,74...0,88 кВт для твердых пород. Большие значения соответствуют мелким и средним дробилкам.

Гранулометрический состав дробленого продукта определяется в лаборатории просеиванием через сито, так, например, в результате дробления при ширине разгрузочного отверстия $d_{\text{max}} = e + s = 40 + 20 = 60 \text{ мм}$ получается щебень крупностью от 0 до 10 мм – 8%; от 10 до 30 мм – 30%; от 30 до 60 мм – 47% и более 60 мм – 15%. Величина разгрузочной щели щековых дробилок регулируется клиновым механизмом, который может быть выполнен так, как показано на рис. 9.9, *а, б*, или же выдвиганием двухстороннего клина парой клиньев, сдвигаемых винтом δ , имеющим на разных сторонах левую и правую резьбы (рис. 9.10, *г*).

Щековые дробилки с простым движением щеки изготавливаются с размерами загрузочного отверстия 400×600, 600×900, 900×1200, 1200×1500, 1500×2100 и 2100×2500 мм и щековых дробилок со сложным движением щеки – с размерами загрузочного отверстия 160×250, 250×400, 400×600, 600×900, 900×1200 и 1200×1500 мм.

Производительность щековых дробилок определяется по формуле:

$$\Pi = 60 \cdot V \cdot n \cdot \mu \text{ м}^3/\text{ч},$$

где V – объем материала, выпадающего за один ход подвижной щеки, $V = (2e + s) \cdot bh/2 \text{ м}^3$; e – минимальный зазор между дробящими плитами в м; s – максимальный отход подвижной щеки в м; b – длина разгрузочного отверстия в м; h – высота призмы материала, выпадающего из дробилки за один отход подвижной щеки, в м, $h = s/\text{tg}\alpha$; α – угол захвата между дробящими плитами в град.; n – число оборотов эксцентрикового вала в 1 мин (обычно – 200...250); μ – коэффициент, учитывающий наличие пустот между дробимыми кусками (колеблется в пределах 0,3...0,7).

Для упрощения расчета примем, что неподвижная щека расположена вертикально, а подвижная отклоняется параллельно, т.е. при увеличении

ширины разгрузочной щели e на ход щеки s угол α остается неизменным (рис. 9.11). При отклонении подвижной щеки в правое крайнее положение раздробленный материал в виде призмы трапецеидального сечения под действием силы тяжести падает. На основании закона свободного падения тела время падения

$$t_1 = \sqrt{2h/g} \text{ с,}$$

где h – высота призмы материала, см; g – ускорение силы тяжести, равное 981 см/сек^2 .

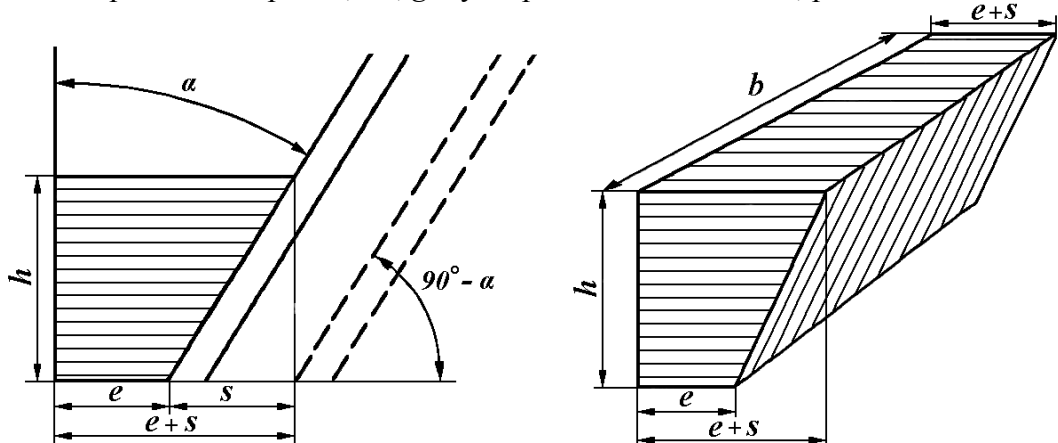


Рис. 9.11. Схема к расчету числа оборотов эксцентрикового вала щековой дробилки

Для обеспечения наибольшей производительности дробилки надо, чтобы выпадение материала закончилось за время отхода подвижной щеки вправо t_2 , т.е. $t_1 = t_2$. Так как вал за один оборот совершает два качания (вправо и влево), $t_2 = 60/2n$ секунд, где n – число оборотов эксцентрикового вала в минуту.

Из рассмотренного получаем

$$n = 30/\sqrt{2h/g} = 30/\sqrt{2s/g \cdot \operatorname{tg} \alpha} = 665\sqrt{\operatorname{tg} \alpha/s} \text{ об/мин.}$$

Так как истечение дробленого материала, находящегося под давлением, не точно совпадает с движением щеки, следует принимать $n \approx 500\sqrt{\operatorname{tg} \alpha/s}$ об/мин. С увеличением массы и хода подвижной щеки уменьшается число оборотов эксцентрикового вала, поэтому у более крупных дробилок, имеющих большие s , n меньше, чем у мелких.

Конусные дробилки применяются для крупного, среднего и мелкого дробления и выпускаются производительностью от $5...6$ до $1000...1500 \text{ м}^3/\text{ч}$. Конусные дробилки разделяются на дробилки с крутым и пологим конусом. Обычно дробилки крупного дробления выполняются с крутым дробящим конусом. Дробилки характеризуются шириной загрузочного кольца a .

Дробилки среднего и мелкого дробления выполняются с пологим дробящим конусом и характеризуются нижним диаметром внутреннего дробящего конуса D_H . Отечественные камнедробилки имеют размеры a от 300 до 1500 мм и размеры D_H от 600 до 2100 мм. Угол наклона оси подвижного дробящего конуса к вертикали составляет $2...4^\circ$. Степень измельчения у конусных дробилок достигает $i = 10...12$. Максимальная крупность загружаемых в дробилку камней не превышает $75...80\%$ ширины загрузочного отверстия. Конусные дробилки благодаря более экономному расходованию энергии (по сравнению со щековыми дробилками) имеют широкое

распространение. Эти дробилки применяются для крупного, среднего и мелкого дробления.

Конусные дробилки по сравнению со щековыми обеспечивают более равномерный по крупности щебень и меньший расход энергии. Это достигается тем, что в процессе дробления кроме раздавливания имеет место изгиб некоторых удлиненных кусков дробимого материала, а также меньшими потерями на преодоление инерционных сил по сравнению со щековыми дробилками. Недостатком их являются большие габаритные размеры, большой вес, сложные уход и ремонт.

По конструкции вала дробилки могут быть с валом, подвешенным в верхней части на шарнире (с крутым конусом), а также с консольным валом, закрепленным в станине (с пологим конусом).

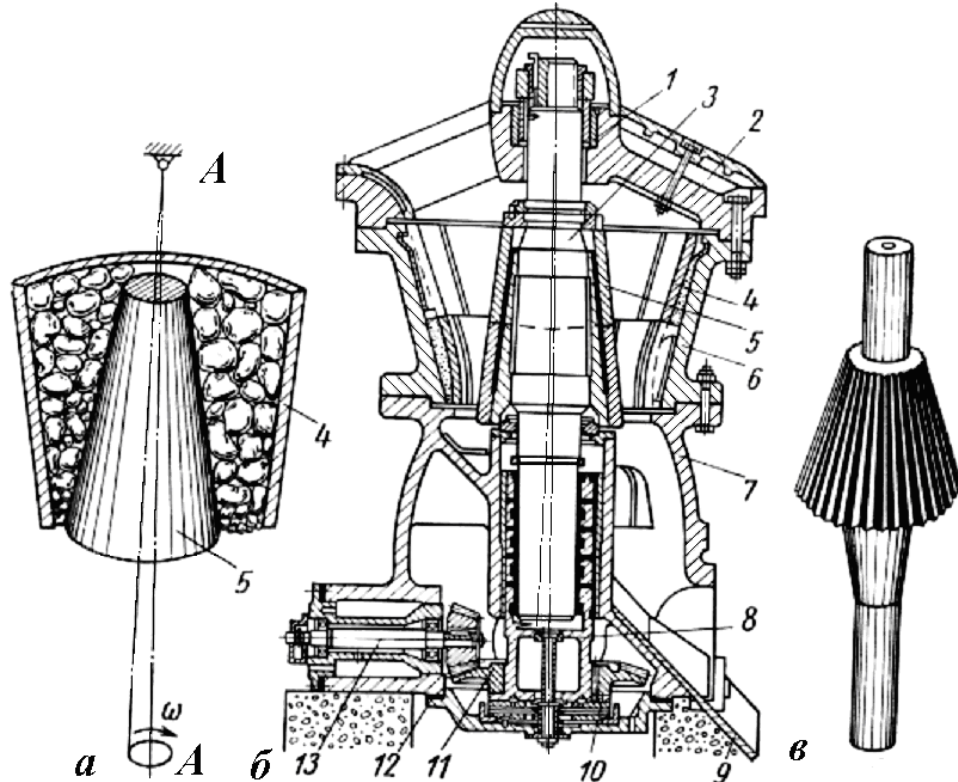


Рис. 9.12. Конусная дробилка с крутым конусом:

а – схема работы; *б* – разрез; *в* – конструкция главного вала с дробящим конусом

Главный вертикальный вал конусной дробилки с крутым конусом (рис. 9.12, *а*), на котором насажен дробящий конус 5, вверху подвешен шарнирно; нижняя часть вала при вращении описывает окружность вокруг вертикальной оси *АА*. Дробящий конус 5 окружен неподвижным конусом 4, установленным вертикально. При вращении внутреннего конуса его образующие будут последовательно приближаться или отдаляться от неподвижного конуса.

Каменный материал, попадающий в горловину, при приближении дробящего конуса 5 к наружному конусу 4 раздавливается, а при его отходе под влиянием силы тяжести, опускается вниз. Так происходит до тех пор, пока камень не достигнет размеров, соответствующих величине выпускной щели, через которую выйдет из дробилки.

Дробилка с крутым конусом (рис. 9.12, б) имеет стальную литую станину, по высоте состоящую из нескольких частей (от 2 до 6): верхней 6, служащей камерой дробления, внутренняя поверхность которой выложена гладкими или ребристыми плитами из марганцовистой стали, и нижней 7, предназначенной для размещения механизма дробилки. На верхнюю часть станины опирается траверса 2, к которой подвешивается главный вертикальный вал 3. На нем закреплен дробящий ребристый или гладкий конус 5, изготавливаемый из никелевой или ванадиевой стали. Главный вертикальный вал подвешен при помощи шарнира 1, воспринимающего одновременно нагрузку на дробящий конус от раздавливания и вес конуса и вала. Нижняя часть главного вертикального вала свободно входит в эксцентриковый стакан 8, опирающийся на подпятник 10, состоящий из трех дисков. Эксцентрик получает вращение через коническую пару шестерен 11 и 12. Дробящий конус 5 и плиты наружного конуса 4 делают съемными. Выходящая щель регулируется подъемом и опусканием вертикального вала с дробящим конусом. При подъеме выпускная щель будет уменьшаться, при опускании – увеличиваться. Для выхода раздробленного материала из камеры дробления служит спускной желоб 9, имеющий футеровку из отбеленного чугуна. Нижняя камера дробилки представляет собой картер, наполненный смазкой; все находящиеся в нем детали смазываются разбрызгиванием. Коническая шестерня 12, а с ней главный вал с дробящим конусом приводятся в движение ведущим валом 13. Конструкция главного вала с ребристым дробящим конусом показана на рис. 9.12, в.

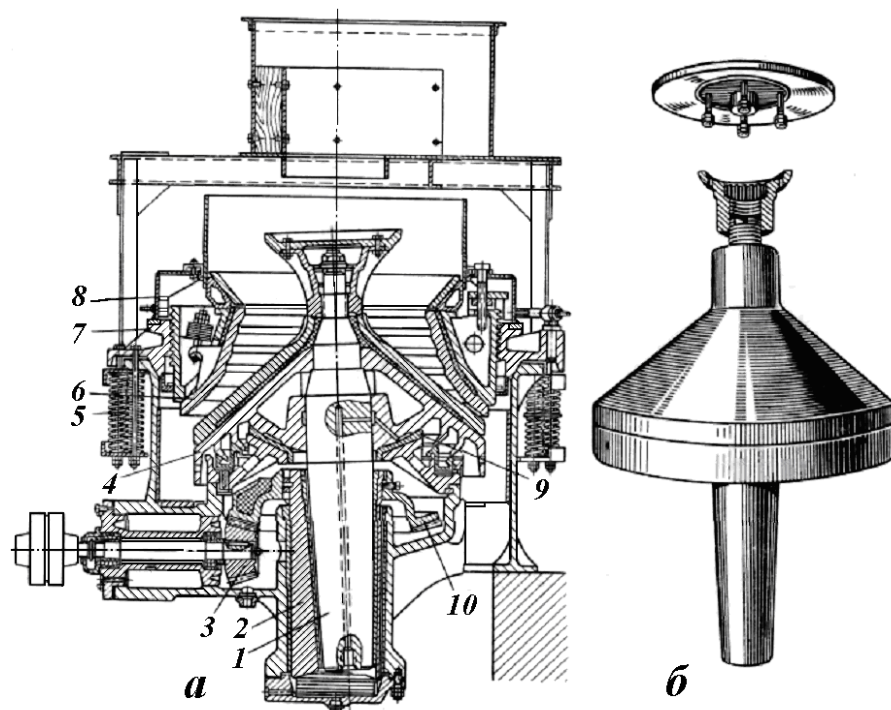


Рис. 9.13. Конусная дробилка с пологим конусом:
а – разрез; б – конструкция дробящего конуса на консольном валу

Дробилки с пологим конусом применяются для вторичного более мелкого дробления. Крупность загружаемых в них кусков 30...300 мм. Они имеют регулируемую ширину разгрузочного кольца в пределах от 3 до 60 мм.

Дробилки с пологим конусом по сравнению с дробилками с крутым конусом дают более равномерное измельчение благодаря параллельной зоне между конусами. Консольный вал устраняет необходимость устройства тяжелой верхней траверсы, уменьшает высоту дробилки и увеличивает загрузочное пространство.

У конусной дробилки с пологим дробящим конусом (рис 9.13, *а*) вал 1 подвижного конуса нижним концом вставлен консольно в высокий стакан-эксцентрик 2. В верхней консольной части вала расположен пологий конус 4, который опирается на сферический подпятник 9. На стакане-эксцентрике закреплена ведомая коническая шестерня 10, сцепленная с конической шестерней 3 ведущего вала. Вращение от двигателя через вал и конические шестерни передается стакану-эксцентрику и валу с подвижным конусом. В верхней части корпуса дробилки расположен неподвижный конус 6, при этом образующие конусов в нижней части направлены параллельно. Камень, загружаемый сверху, попадает на питатель, закрепленный на валу конуса, а затем в пространство между конусами, где дробится при движении подвижного конуса. Величину выпускаемой щели, т.е. размер выходящего щебня, регулируют, закручивая или откручивая кольца 8. Откручивание кольца поднимает наружный конус и увеличивает выпускную щель. Для предохранения дробилки от повреждений при попадании недробимых крупных предметов предусмотрен подъем неподвижного конуса 6 и опорного кольца 7 за счет сжатия пружин 5. При этом нераздробленный предмет проваливается через увеличивающуюся выпускную щель. Конструкция консольного вала с подвижным пологим конусом показана на рис. 9.13, *б*.

Производительность конусных дробилок определяется по формулам, аналогичным формулам для щековых дробилок; при этом длина разгрузочного отверстия b заменяется на длину окружности разгрузочного кольца $\pi D_{\text{ср}}$. Число оборотов эксцентрикового стакана составляет 200...300 об/мин.

Дробилки ударного действия предназначены главным образом для дробления неабразивных пород с пределом прочности до 1500 кг/см^2 и приготовления мелких фракций щебня. Они не требуют предварительного размельчения материала и не нуждаются во вспомогательных приспособлениях. Измельчение материала в молотковых дробилках идет непрерывно, благодаря чему они обладают высокой производительностью.

Сопротивление горных пород ударным нагрузкам значительно ниже, чем в дробилках других типов. Хрупкость и трещиноватость являются благоприятными факторами для измельчения материала в дробилках ударного действия, а твердость имеет меньшее значение, но пластичные материалы дробятся в молотковых дробилках плохо.

Молотковые дробилки используются для дробления шлака, кирпичного боя, пемзы, известняка и других материалов невысокой твердости с влажностью, при которой колосниковые решетки не забиваются. При снятых колосниковых решетках дробилки применяют для дробления материалов повышенной влажности. Молотковые дробилки изготавливаются производительностью от 5...6 до 80...100 $\text{м}^3/\text{ч}$. Степень измельчения у

молотковых дробилок достигает $i = 12 \dots 15$. Молотковые дробилки универсальны, так как молоткам можно придать любую форму и сделать их различного веса, приспособив для дробления самых разнообразных материалов – от твердого известняка и свинцовых руд до волокнистых веществ. Они отличаются малым удельным расходом энергии, малым весом и высокой надежностью. Дробление материала в молотковых дробилках осуществляется под действием удара по нему молотков, шарнирно закрепленных к дискам вращающегося ротора.

К недостаткам молотковых дробилок надо отнести следующее:

а) при работе на абразивных материалах (в особенности кремнистых) молотки и футеровка сравнительно быстро изнашиваются;

б) при работе с очень влажными (глинистыми) материалами молотки «закипают» и дробилка останавливается;

в) при перегрузке дробилки забиваются и останавливаются. Эти дробилки требуют равномерной подачи материала питателем и не могут работать под «завалом».

Молотковые дробилки используются для мелкого дробления (до 10 мм), и для крупного при загрузке кусков размером до 1200 мм, хотя чаще ограничиваются кусками не крупнее 500...600 мм. В некоторых случаях молотковые дробилки вытесняют другие машины, так как одна такая дробилка может заменить две последовательно установленные дробилки других типов, давая продукт, пригодный для измельчения в шаровых мельницах.

Молотковые дробилки бывают однороторные и двухроторные. По расположению молотков в роторе дробилки бывают однорядные, когда 3...6 молотков расположены в одной плоскости вращения, и многорядные, когда молотки расположены в нескольких плоскостях. Однороторные дробилки дают степень измельчения 10...15, двухроторные – 30...40.

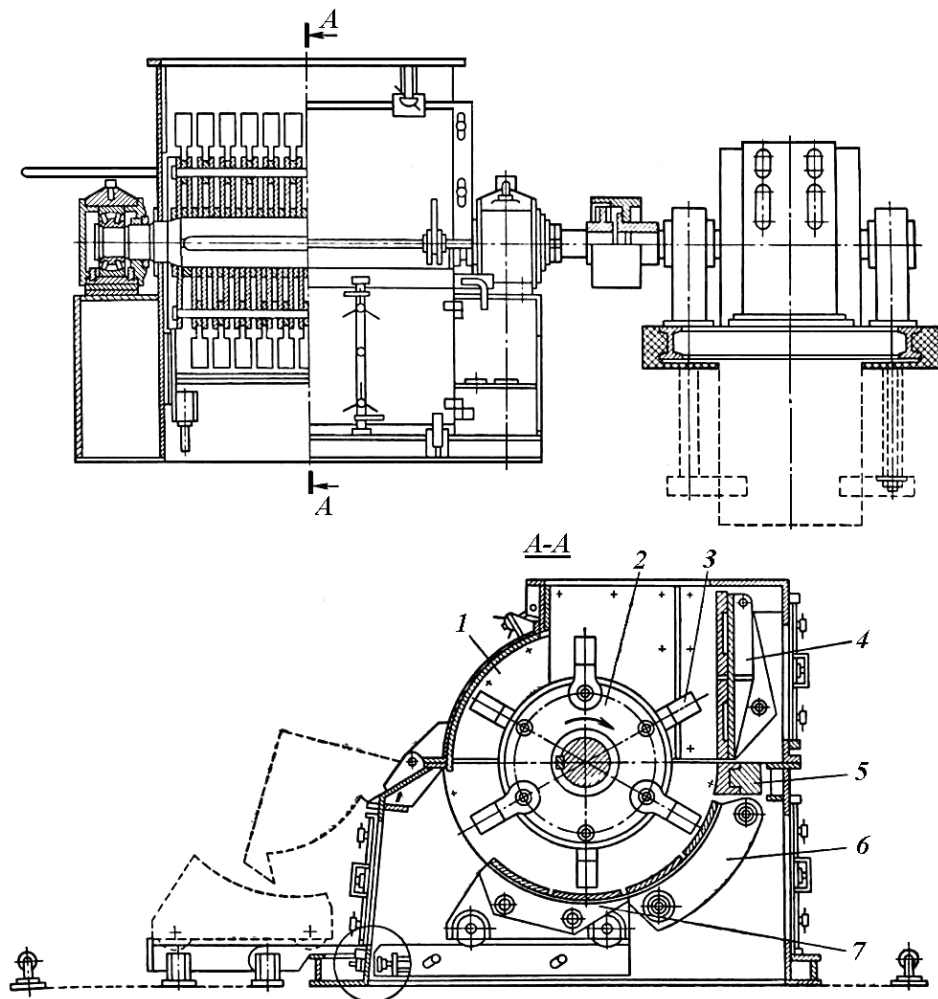


Рис. 9.14 Молотковая дробилка СМД-97А:

1 – корпус; 2 – ротор; 3 – молоток; 4 – отбойная плита; 5 – отбойный брус; 6 – поворотная колосниковая решетка; 7 – выкатная колосниковая решетка

Типичной конструкцией молотковой дробилки является дробилка СМД-97А (рис. 9.14). Она состоит из сварного корпуса, ротора, установленного на горизонтальном валу, и колосниковых решеток, расположенных под ротором. Корпус дробилки служит опорой для всех узлов, а также для формирования камеры дробления. Верхняя часть корпуса выполнена раскрывающейся с целью обеспечения удобства смены молотков. Внутренняя поверхность корпуса футерована сменными плитами.

Ротор дробилки состоит из дисков, закрепленных на валу и отделенных один от другого распорными кольцами. Через отверстия в дисках пропущены оси, на которые шарнирно посажены молотки. Ротор приводится во вращение от электродвигателя через эластичную муфту.

В корпусе дробилки установлены две колосниковые решетки: поворотная и выкатная. Первая верхним концом подвешена на двух полуосях, а нижним концом опирается на регулировочное устройство. Вторая устанавливается на рельсах под ротором. Рельсы соединены с регулировочным устройством, с помощью которого решетка может быть приближена к ротору или удалена от него. На передней стенке корпуса дробилки установлены отбойная плита и отбойный брус. Положение их относительно окружности вращения ротора – регулируемое.

В молотковой дробилке дробление материалов совершается ударами быстро вращающихся молотков и соударениями кусков с плитами и колосниковыми решетками. Окружная скорость молотков дробилки СМД-97А равна 60 м/с.

Реверсивные дробилки изготавливают с ротором, который может вращаться в обе стороны. Это дает возможность выравнивать износ молотков и колосников решетки, не прибегая к перестановке молотков. Иначе говоря, реверсивная работа удлиняет срок службы молотков. Загрузочная воронка у этих дробилок всегда расположена центрально, вдоль оси ротора, а колосники симметричны относительно своих осей.

Ударные роторные дробилки (рис. 9.15) служат для дробления известняков любой прочности и хрупких каменных материалов с прочностью на сжатие до 1500 кг/см^2 (150 МПа). Производительность их колеблется от 40 до 400 $\text{м}^3/\text{ч}$, а степень измельчения достигает $i = 25$. Дробилки позволяют получать из крупных камней щебень нужной фракции, минуя вторичное дробление. При загрузочном отверстии шириной до 1400 мм возможна загрузка кусков крупностью до 1100 мм. Дробилки ударного действия (роторные) отличаются от щековых и конусных дробилок меньшим весом, меньшим удельным расходом энергии, надежностью в работе и высокой производительностью. Они могут быть одно- и двухроторными. Предусматривается изготовление однороторных дробилок с загрузочным отверстием шириной 350, 500, 700, 1000 и 1400 мм. Для безопасности на загрузочном отверстии имеется цепная завеса.

Особенностью двухроторной молотковой дробилки с жестким креплением молотков (рис. 9.15) является наличие колосниковой решетки, расположенной в вертикальной плоскости. Такое расположение колосниковой решетки по сравнению с горизонтальными колосниками позволяет большему числу частиц, достигших необходимой крупности, пройти через решетку и выпасть из дробилки без лишней затраты энергии, которая расходуется, если раздробленные куски задерживаются в зоне дробления. Колосники решетки расположены таким образом, что слишком крупные куски дробимого материала отбрасываются колосниками в сферу действия правого ротора и вновь подвергаются дроблению ударами молотков. Кроме того, в дробилках этой конструкции имеется возможность регулировать траекторию движения поступающих кусков в зависимости от характера дробимого материала так, что молотки будут ударять по кускам в зоне, наиболее эффективной для дробления данного материала.

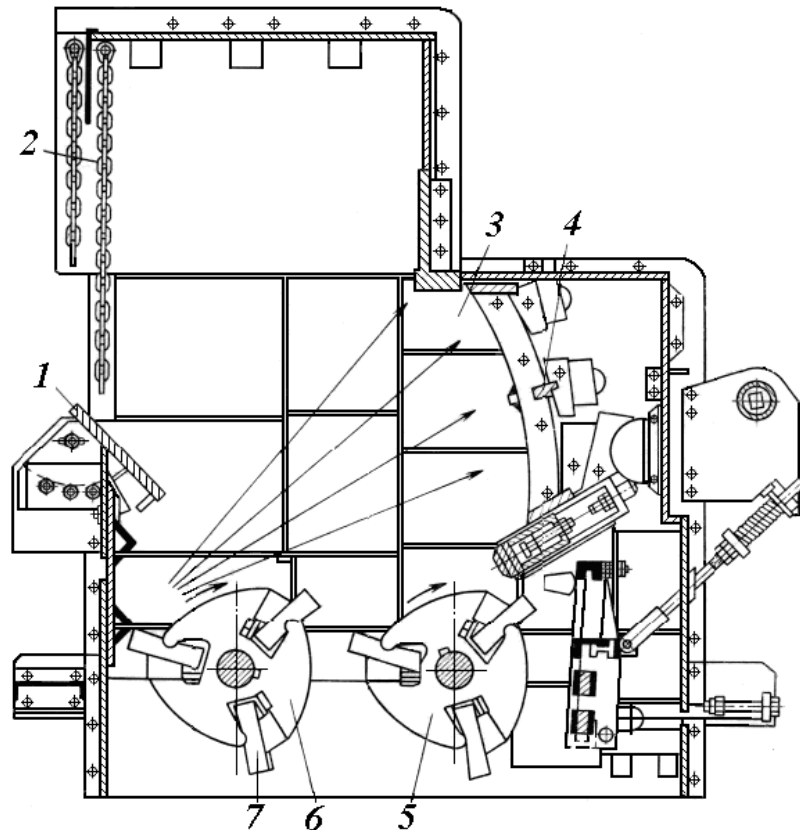


Рис. 9.15. Двухроторная дробилка с жестко закрепленными молотками

При работе дробилки материал подается на загрузочную плиту 1 и поступает в зону действия ротора 6. Здесь камень подвергается удару молотков 7, которые дробят большие куски и отбрасывают мелкие на колосниковую решетку 4 и футеровку камеры дробления 3. Большая часть мелких кусков проходит через решетку и поступает на транспортер для дробленого материала. Куски, которые не пройдут через решетку, будут падать на второй ротор 5, молотки которого далее дробят эти куски, и они вторично будут отброшены на решетку. Завесы 2, образованные цепями, предохраняют вылет кусков из дробилки. Выделение пыли можно уменьшить при помощи одной или нескольких завес, образованных из армированной резины. При желании, вместо цепей можно также применять полосы резины с тем, чтобы они перекрывали друг друга по краям. Молотки реверсивны, так что если одна сторона оказывается изношенной, то молотки можно повернуть.

Производительность молотковых и ударно-роторных дробилок можно ориентировочно определить по формуле:

$$\Pi = LDWk/3600(C - 1) \text{ т/ч,}$$

где L – длина ротора в м; D – диаметр наружной окружности вращения молотков в м; n – число оборотов ротора в минуту; k – коэффициент, зависящий от конструкции дробилки и твердости дробимого материала ($k = 0,2$); C – степень дробления.

Мощность двигателя молотковой камнедробилки рассчитывают по эмпирическим формулам:

$$N = 0,15D^2Ln \text{ кВт или } N = 7,5DL(n/60) \text{ кВт,}$$

где D – диаметр ротора в м; L – длина ротора в м; n – число оборотов в минуту.

Удельная мощность дробилок ударного действия на 1 т/ч при степени измельчения $i = 8 \dots 12$ составляет от 1,03 до 2 кВт.

На всех дробилках ударного действия происходит очистка материала от пылеватых частиц и обогащение, т.к. разрушение происходит по трещинам.

Валковые дробилки (рис.9.8, в) служат для измельчения мягких пород, а также для мелкого (вторичного – мельче 25 мм) дробления материалов средней и большой твердости, когда щебень размером 35...60 мм получают со щековой дробилки. Производительность их колеблется в пределах от 8...10 до 80...100 м³/ч. Валковые дробилки широко применяются для вторичного дробления в передвижных дробильно-сортировочных установках. Валковые дробилки бывают с гладкими и негладкими (зубчатыми, рифлеными и ребристыми) валками. Валковые дробилки изготовляют с самостоятельным приводом каждого вала и с приводом только к одному валу; в этом случае вращение ко второму валу передается цепной или зубчатой передачей. Рабочие валки 2 вращаются навстречу друг другу. Окружная скорость валков колеблется от 2 до 6 м/сек, что соответствует 40...250 об/мин. Срок их службы зависит от многих причин и колеблется в больших пределах 10000...30000 м³ щебня.

Размер выпускной щели и, следовательно, максимальный размер выходящего материала регулируют, передвигая подшипники подвижного вала. Подшипники упираются в пружины, которые воспринимают давление на валок и служат предохранительным приспособлением. Когда попадает недробимое тело, пружины сжимаются и подвижной валок отходит от неподвижного; посторонний предмет проваливается и машина остается неповрежденной. Для равномерной работы некоторые дробилки делают с обоими подвижными валками.

Наибольшая крупность загружаемого в дробилку материала определяется углом трения между кусками материала и валками и зависит от диаметра валков и их конструкции: при гладких валках $D \approx (1/20 \dots 1/25)D_v + e$; при ребристых валках $D \approx (1/10 \dots 1/12)D_v + e$.

К достоинствам валковой дробилки следует отнести небольшие размеры, высокую производительность и малую энергоемкость, а к недостаткам – возможность выхода удлиненного щебня (лещадки).

Производительность валковых дробилок определяется по формуле:

$$P = 3600(e + s) \cdot L_v \cdot v \cdot \mu, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где e – установленный зазор между валками в м; s – отход подвижного вала: $s \approx 0,25e$, L_v – длина вала в м; v – окружная скорость на ободе валков в м/с; μ – коэффициент, учитывающий наличие пустот между кусками; колеблется от 0,2 до 0,6.

Помол в большей степени представляет интерес для специалистов предприятий производства строительных материалов, но иногда для использования местных песков необходимо улучшать их свойства, что наилучшим образом достигается в ударных мельницах (дезинтеграторах), на которых окатанный песок активизируется, приобретая острые грани и обогащается, приобретая большую прочность, т.к. при ударе песчинки раскалываются по трещинам.

Молотковые мельницы измельчают материал ударом молотков, жестко закрепленных у дезинтеграторов и аэробильных мельниц и шарнирно подвешенных у шахтных мельниц. Аэробильные мельницы имеют однорядный ротор, а шахтные – многорядный. Дезинтеграторы обеспечивают возможность получения материалов с частицами менее 0,5 мм, а аэробильные и шахтные мельницы оборудованы устройствами для отбора измельченного материала воздушным или газовым потоком и отделения частиц требуемой крупности, благодаря чему они могут обеспечить любую тонкость помола, а при подогреве воздуха или газа – также и сушку материала.

Дезинтеграторы служат для грубого помола глины с влажностью до 8...9%, для измельчения мелкокускового мела, трепела, мягкого известняка, распушки сухого асбеста, а также для тщательного смешивания известково-песчаных масс с измельчением и активизацией песка при производстве силикатных и силикальцитных изделий.

Дезинтегратор (рис. 9.16, а) состоит из станины, роторов и привода. Станина представляет собой фундаментную плиту 15 с укрепленными на ней двумя стойками 4 и 14. На стойках укреплены корпуса роликовых подшипников, служащих опорами для двух валов. На конце вала 13 на шпонке укреплена ступица 12, к которой прикреплен сплошной диск 10, изготовленный из листовой стали. К диску по концентрическим окружностям прикреплены три ряда молотков-пальцев 9, имеющих форму цилиндрических стержней. Для придания жесткости концы каждого ряда пальцев объединены узкими кольцами 7. Диск с рядами пальцев образует некоторое подобие корзины, в связи с чем такие мельницы иногда называют корзинчатыми. Второй ротор несколько отличается от первого. На конец вала 5 надета конусная ступица 11, к которой по окружности прикреплен первый ряд пальцев. Противоположные концы пальцев первого ряда поддерживают широкое кольцо – диск, к которому крепят два других ряда пальцев 8. В центральное отверстие кольца проходит течка загрузочного устройства 6, по которой материал, огибая вал 5, поступает в среднюю часть роторов под ступицу 11. Роторы вращаются с большой скоростью в противоположных направлениях, благодаря чему материал проходит через первый ряд пальцев левой корзины, дробится и отбрасывается надвигающиеся навстречу пальцы правой корзины, затем проходит через второй ряд и так далее, пока в измельченном виде не высыпается в разгрузочное отверстие станины. Привод роторов может осуществляться прямой и перекрестной ременной передачей от общего приводного вала, но обычно устанавливают индивидуальные электродвигатели с клиноременными передачами к каждому ротору. Роторы в рабочем состоянии размещают так, что ряды пальцев одной корзины расположены между рядами пальцев второй, при этом корзины закрыты кожухом. Для облегчения смены корзин один из роторов может отодвигаться вместе со стойкой 4 при вращении штурвалом 2 винта 1 в неподвижно закрепленной гайке 3. Дезинтегратор с раздвинутыми роторами показан на рис. 9.16, б. Имеются конструкции дезинтеграторов, у которых вал одного ротора представляет собой трубу, через которую проходит вал второго ротора. У таких дезинтеграторов электродвигатели, вращающие оба вала,

расположены по одну сторону от роторов, что обеспечивает компактность конструкции.

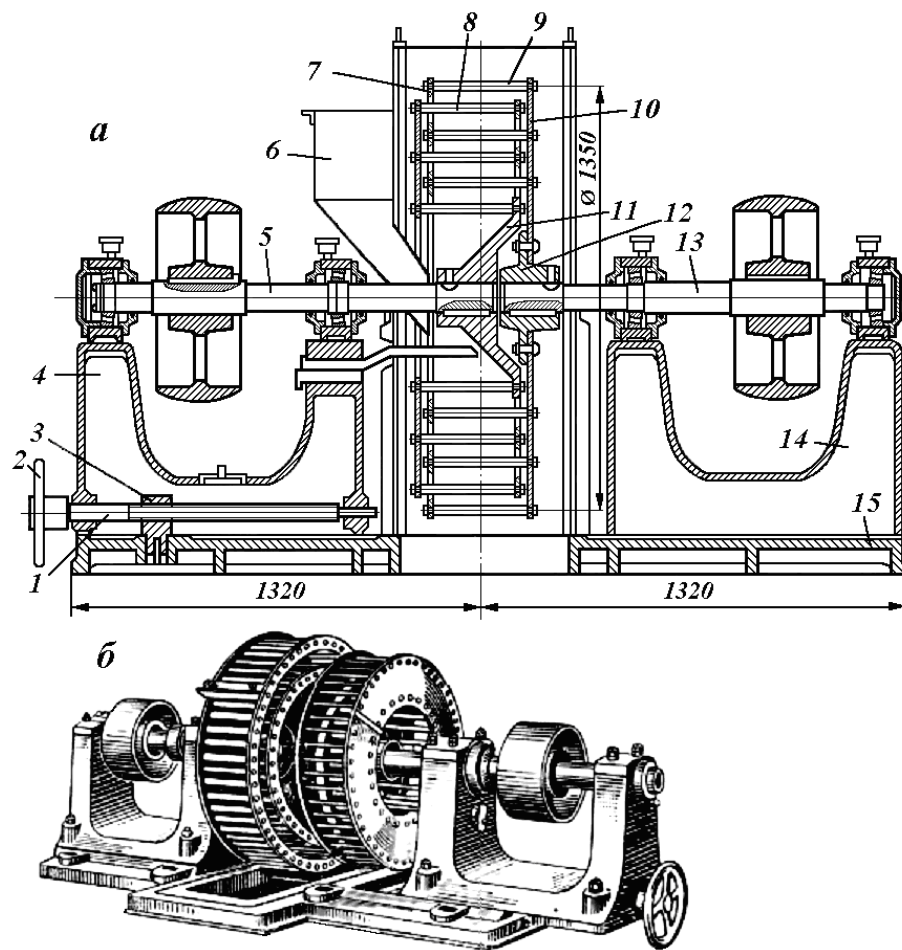


Рис. 9.16. Дезинтегратор:

а – разрез; *б* – общий вид при снятом кожухе и раздвинутых роторах

Применяют также однороторные дезинтеграторы, у которых корзина с загрузочным отверстием устанавливается неподвижно, а вторая получает более быстрое вращение при прямом соединении вала ротора с валом электродвигателя.

Дезинтеграторы имеют роторы диаметром от 400 до 2500 мм при сравнительно небольшой длине пальцев – от 100 до 700 мм. Исключение составляют лишь дезинтеграторы, применяемые для распушки асбеста. Такой дезинтегратор имеет ротор, выполненный в виде барабана, цилиндрическую поверхность которого составляют стержни длиной 1000 мм, расположенные от оси вала на расстоянии 350 мм. Ротор вращается внутри барабана со сплошной цилиндрической поверхностью, в то время как барабан, установленный на катки, вращается в противоположном направлении.

Дезинтеграторы обеспечивают высокую степень измельчения и тонкость помола, которые можно регулировать скоростью вращения корзин и количеством рядов пальцев, а также первоначальной крупностью дробимого материала. Их производительность зависит от размеров дезинтегратора, крупности загружаемого материала, требуемой степени измельчения и физических свойств. Большое влияние на производительность оказывает равномерность питания материалом. Дезинтегратор с ротором диаметром 1350

мм и мощностью двигателя 18,4 кВт имеет производительность 5 т/ч при измельчении глины до крупности 0,2 мм и 10 т/ч при измельчении угля до той же крупности.

Дезинтеграторы просты по конструкции и имеют малую металлоемкость, но требуют балансировки роторов (уравновешивания относительно оси вращения) и частой замены пальцев, которые быстро изнашиваются. Для облегчения смены изношенных пальцев целесообразно вместо цельных, приклепанных к диску пальцев применять составные пальцы, представляющие собой болты с надетыми на них трубками. Изношенные трубки легко и быстро заменяют при ремонте корзин. К недостаткам дезинтеграторов относится также налипание материала на пальцы, особенно при измельчении глины влажностью свыше 12%. Очистки пальцев наиболее просто достигают при периодическом изменении направления вращения роторов.

Аэробильные мельницы служат для одновременного помола и сушки угля, гипса, глины, мела, асбеста и других материалов в потоке горячих газов. Тонкость помола материала в аэробильных мельницах можно легко регулировать путем изменения скорости воздушного потока, что достигается путем изменения сопротивления его движению при помощи специальных жалюзи в верхней части сепаратора или изменения числа оборотов рабочего колеса вентилятора. Чем меньше скорость воздушного потока, тем меньшие частицы он захватывает и тем меньше производительность. При увеличении скорости воздушного потока крупность частиц и производительность возрастают.

9.3. Оборудование для сортировки каменных материалов и передвижные дробильно-сортировочные установки

Для механической сортировки щебня на фракции применяют вращающиеся (цилиндрические и конические) и плоские (вибрационные и качающиеся) грохоты. Просеивающая поверхность грохотов может быть выполнена из колосников, решет и сит (рис. 9.17). Преимущества вращающихся грохотов заключаются в более тщательной сортировке и более продолжительном сроке службы. Однако по сравнению с плоскими грохотами они занимают больше места.

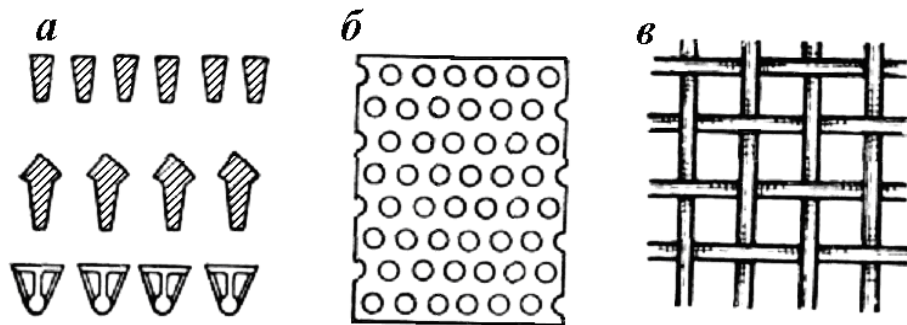


Рис. 9.17. Рабочие поверхности грохотов:

а – колосники; б – решетка; в – сито

Грохоты могут иметь одну, две или несколько просеивающих поверхностей. Наиболее часто в грохотах устанавливают три просеивающие поверхности, которые располагаются по одной из следующих схем:

1. Сита расположены в один ряд (рис. 9.18, *а*). Недостатки схемы: быстрое изнашивание первого сита, низкое качество грохочения (мелкие частицы увлекаются более крупными), значительная длина грохота. Достоинства схемы: простота, удобство наблюдения и ремонта сит.

2. Сита расположены ярусами (рис. 9.18, *б*). Недостатки схемы: сложность наблюдения за состоянием сит, затруднения при смене сит, некоторая сложность конструкции. Достоинства схемы: высокое качество сортировки, равномерное изнашивание сит, уменьшение степени крошения материала.

3. Смешанное расположение сит (рис. 9.18, *в*). Эта схема в сравнении с предыдущими занимает промежуточное положение и является наиболее распространенной.

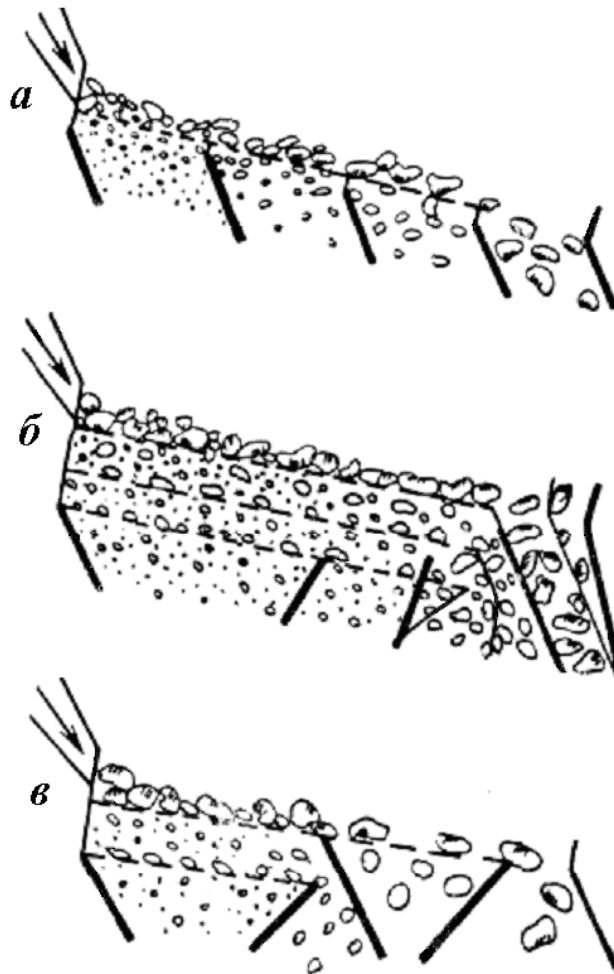


Рис. 9.18. Схемы расположения просеивающих поверхностей плоских грохотов

Грохоты по конструкции разделяются на плоские и цилиндрические, причем плоские грохоты выполняются неподвижными и подвижными. В цилиндрических грохотах чаще встречается расположение решеток или сит в один ряд.

Цилиндрические грохоты устанавливают с некоторым наклоном к горизонтали, под углом $3...7^\circ$. Величина отверстий в отдельных секциях (ситах) грохота должна удовлетворять установленным размерам щебня. Поскольку секции цилиндрического грохота изогнуты, размер отверстий в них должен быть на $10...20\%$ больше получаемого щебня. Сита изготовляют из стальных штампованных листов; при малых отверстиях применяют проволочные сита.

Диаметр вращающихся грохотов колеблется от 500 до 3000 мм, а длина от 2 до 15 м. Наиболее часто встречаются грохоты диаметром 800... 1000 мм и длиной 2...5 м. Чем длиннее грохот, тем совершеннее грохочение, однако тем он тяжелее, что требует большей мощности. Цилиндрические грохоты как самостоятельные машины в строительстве применяются редко, чаще они являются составными частями гравиемоек-сортировок.

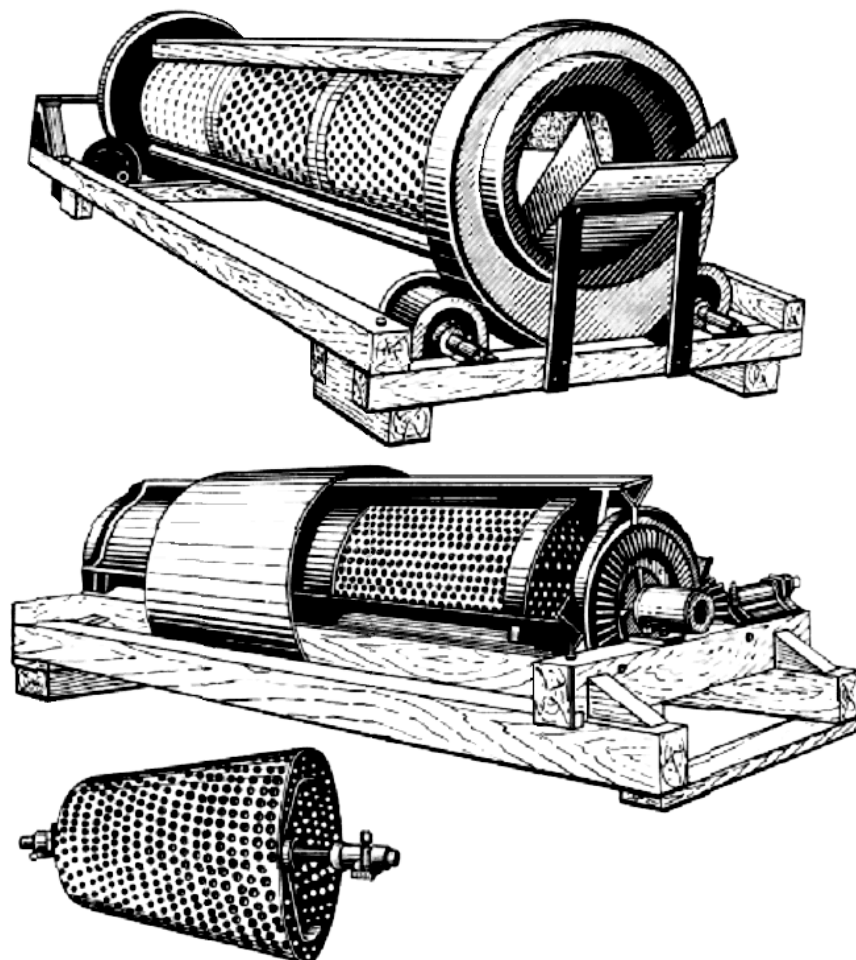


Рис. 9.19. Барабанные грохоты

Барабанный грохот (рис. 9.19) представляет собой цилиндр, который вращается на подшипниках, расположенных по оси вращения барабана или на приводных роликах, установленных на раме. Барабан состоит из нескольких цилиндрических решет или сит с различными отверстиями. Сортируемый материал поступает внутрь барабана со стороны привода и по уклону в $5...7^\circ$, а также в результате вращения перемещается к противоположному концу барабана. Вначале отсеиваются самые мелкие частички, затем средние и крупные. Самые крупные частицы выходят из барабана с противоположного его торца. Барабанные грохоты предназначены для сухого грохочения, но часто используются для одновременной мойки щебня в дополнительной цилиндрической секции без отверстий. Барабанные грохоты характеризуются низким использованием поверхности решет (всего лишь до 20%), невысоким качеством грохочения, большим весом и размерами при малой производительности.

Производительность вращающегося грохота можно определить по приближенной формуле:

$$П = 0,6\gamma \cdot n \cdot \operatorname{tg}(2\alpha) \sqrt{R^3 h^3} \text{ т/ч,}$$

где γ – объемный вес материала в т/м³; n – число оборотов барабана в минуту; R – радиус барабана в м; α – угол наклона барабана к горизонту, равный 3...7°; h – высота наполнения барабана в м (обычно равна двойному максимальному размеру сортируемого камня).

Плоские грохоты. К неподвижным плоским грохотам относятся колосниковые решетки, перекрывающие бункера и устанавливаемые перед дробилками.

Подвижные плоские грохоты делятся на колосниковые, качающиеся с возвратно-поступательным движением, качающиеся, эксцентрикковые и инерционные.

Подвижные колосниковые грохоты обычно применяются в качестве питателей дробилок.

Качающиеся грохоты обеспечивают сортировку поверхностей материала за счет его перемещения по ситам в результате взаимодействия сил тяжести с силами инерции и трения. Они широко применяются для просеивания песка на растворных узлах.

Эксцентрикковые грохоты совершают плоско-параллельное движение по круговой траектории. Частота колебаний равна числу оборотов эксцентриккового вала (1000...1200 в минуту), а величина амплитуды – эксцентриситету шеек. При вращении эксцентриккового вала подвижная рама совершает круговые движения, направленные навстречу потоку материала, что способствует лучшей сортировке. Для уравнивания сил инерции на валу установлены противовесы. Эксцентрикковые грохоты имеют размеры до 1500 × 4500 мм. Эксцентрикковые и инерционные грохоты изготавливаются с двумя и тремя ситами. Угол наклона сит колеблется от 0 до 30° в зависимости от конструкции. Производительность грохотов разных размеров составляет 15...300 м³/ч.

Инерционные (вибрационные) грохоты обеспечивают сортировку материала за счет вибрации, возникающей в результате действия сил инерции вращающихся неуравновешенных масс. Эффективная сортировка достигается на инерционных грохотах с вибраторами направленного действия.

Вибрационный грохот (рис. 9.20) состоит из нескольких сит, установленных на раме, которая помещена на пружинах или рессорах. Там же на подшипниках установлен вибратор направленного действия, приводимый от электродвигателя через ременную передачу. Двигатель установлен на неподвижной раме грохота. Вибратор состоит из двух валов с дебалансами. Валы соединены шестернями. Под действием вибратора рама на пружинах перемещается, соответственно происходит передвижение по решетам и сортировка материала.

Производительность горизонтальных вибрационных грохотов определяют по формуле:

$$П = Fqkk_1k_2 \text{ м}^3/\text{ч,}$$

где F – площадь сита в м^2 ; q – производительность 1 м^2 сита в $\text{м}^3/\text{ч}$, в зависимости от размера отверстий сита (от 5 до 85 мм) изменяется от 18 до 92 $\text{м}^3/\text{ч}$; k – коэффициент, зависящий от материала для гравийно-песчаной смеси $k = 0,8$, для дробленых материалов $k = 0,65$; k_1 – коэффициент, учитывающий содержание наименьших частиц в щебне; при изменении этого содержания от 10 до 90% изменяется от 0,58 до 1,25; k_2 – коэффициент, учитывающий содержание среди наименьших частиц зерен размером меньше половины отверстия сита, при изменении этого содержания от 10 до 90% изменяется от 0,63 до 1,37.

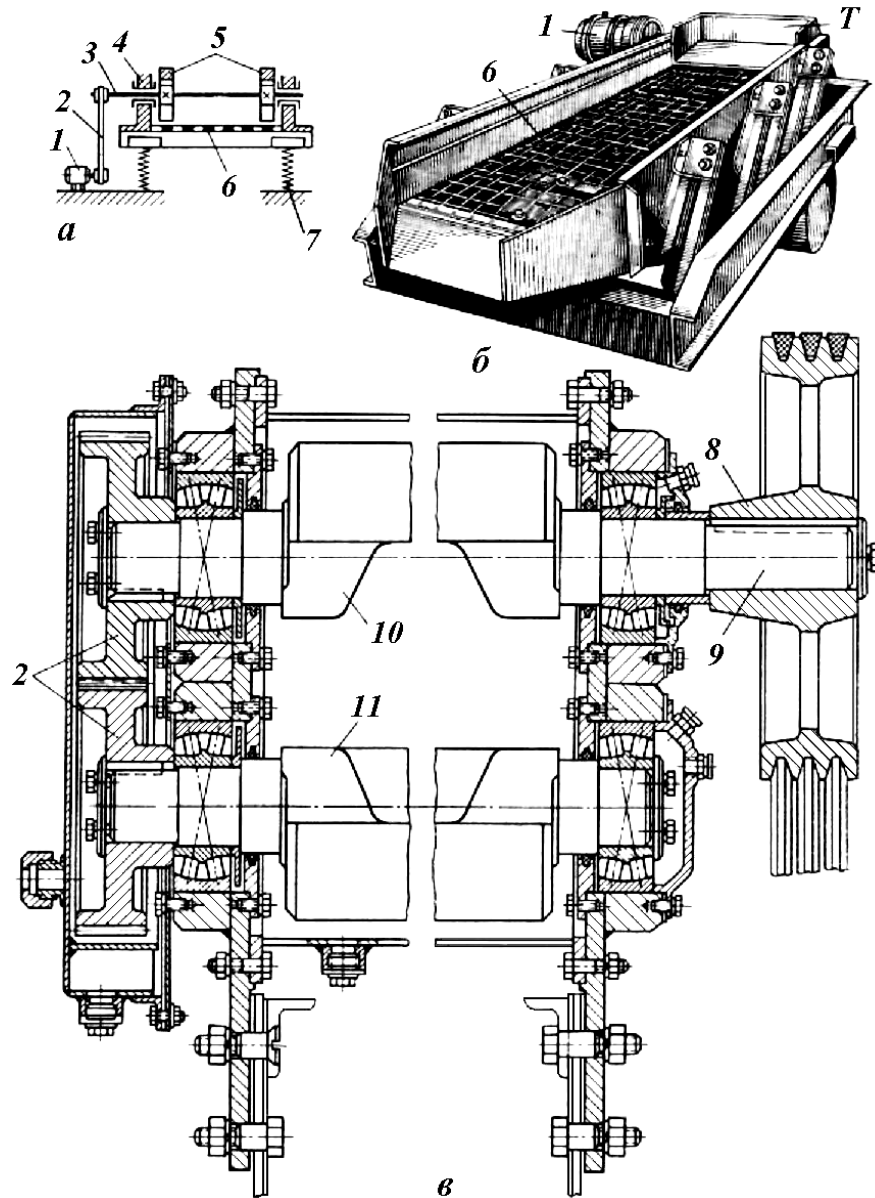


Рис.9.20. Вибрационный грохот:

a – схема грохота; $б$ – общий вид; $в$ – разрез вибратора; T – зона загрузки;
 1 – электродвигатель; 2 – ремень 3 – вал; 4 – рама; 5, 10 и 11 – дебалансы; 6 – сито;
 7 – пружины; 8 – шкив; 9 – вал дебаланса; 12 – шестерня

Для сортировки и обогащения песка и мелкого щебня все шире применяется пневмокласификация как в потоке воздуха, так и в виброкипящем слое с использованием горячего воздуха. Такой способ обеспылевания снижает экологическое давление на окружающую среду по сравнению с промывкой водой этих строительных материалов.

Передвижные дробильно-сортировочные установки. В тех случаях, когда отсутствует возможность или экономически нецелесообразно получать

щебень со стационарного дробильно-сортировочного завода, используют передвижные установки для переработки каменных материалов. Нередко такие установки находят применение при разработке небольших притрассовых карьеров для нужд дорожного строительства.

Передвижные установки осуществляют измельчение материалов с разделением их на грохотах по крупности. Необходимое оборудование монтируется на одном, двух или нескольких шасси и состоит в большинстве случаев из набора серийно выпускаемых машин.

Примером одноагрегатной передвижной установки с двухстадийным дроблением может служить установка, предназначенная для дробления и сортировки горных пород и других материалов прочностью до 2500 кГ/см^3 (рис.9.21). На ней осуществляется вторичное дробление в замкнутом цикле.

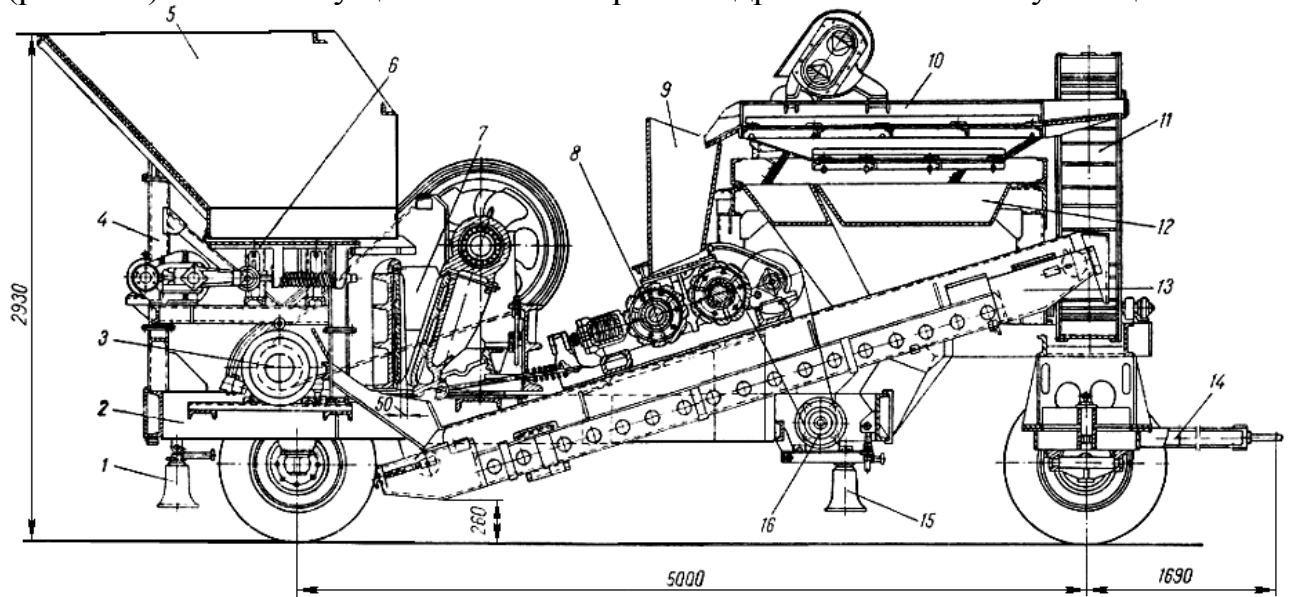


Рис. 9.21. Передвижная дробильно-сортировочная установка:

1 и 15 – винтовые домкраты; 2 – рама; 3 – электродвигатель; 4 – рама лоткового питателя; 5 – загрузочный бункер; 6 – лотковый питатель; 7 – щековая дробилка со сложным движением щеки; 8 – валковая дробилка; 9 – желоб; 10 – виброгрохот; 11 – ротационный элеватор; 12 – бункер; 13 – ленточный конвейер; 14 – дышло; 16 – электродвигатель валковой дробилки

Все оборудование смонтировано на двухосном шасси с пневматическими колесами и включает в себя приемный бункер, лотковый питатель, щековую дробилку, ленточный конвейер, ротационный элеватор, виброгрохот, валковую дробилку, электродвигатели с индивидуальными приводами к отдельным машинам агрегата и вспомогательное оборудование.

Подлежащий переработке материал, загружаемый в бункер, подается лотковым питателем в щековую дробилку. При этом мелкие зерна проваливаются в зазоры между колосниками, расположенными у конца питателя, и по желобу и направляющему лотку поступают, минуя дробилку, сразу на ленточный конвейер. Продукт, выходящий из разгрузочной щели щековой дробилки, попадает на тот же конвейер и по нему на ротационный элеватор, подающий материал на приемный лоток виброгрохота.

Горизонтально установленный инерционный грохот с дебалансным вибратором направленного действия сортирует материал на три фракции. Зерна, не прошедшие через отверстия верхнего сита, направляются на вторичное

дробление в валковую дробилку, работающую в замкнутом цикле. Продукт этой дробилки снова попадает на ленточный конвейер, на элеватор и грохот, пока не будет измельчен до требуемых размеров. Просеивающиеся через отверстия сит зерна двух фракций поступают в соответствующие отсеки бункера под грохотом. Из бункера материалы выгружают на ленточные конвейеры. Управление агрегатом – централизованное с пульта, оснащенного необходимыми приборами.

На основной раме агрегата (прицепа) шарнирно подвешены четыре винтовых домкрата. При подготовке агрегата к эксплуатации под основания домкратов подкладывают прочные брусья. Рама поддомкрачивается для разгрузки колес, но без их отрыва от основания. Все колеса должны быть закреплены упорами. При установке агрегата на длительный период эксплуатации раму следует опирать на клетки, сложенные из деревянных шпал или брусьев.