

применяют конвейеры с покрывающей лентой? Из каких материалов изготавливают конвейерные ленты?

4. Чем отличаются ленточно-канатные и ленточно-цепные конвейеры от обычных ленточных конвейеров?

5. Как соединяются между собой ленточные конвейеры в каскаде? Каковы преимущества и недостатки такого соединения? Какова область применения стационарных и передвижных ленточных конвейеров? Чем они отличаются друг от друга?

6. Как определяют производительность ленточных конвейеров?

7. Для чего применяют пластинчатые конвейеры? Чем они отличаются от ленточных? Для чего применяют эскалаторы? Каковы особенности их устройства и работы?

8. Каково назначение ковшовых элеваторов? Опишите их устройство и принцип работы. Приведите формулу их производительности. Приведите их рабочие параметры.

9. Как устроены и как работают люлечные подъемники, наклонные подъемники с жестко прикрепленными к тяговому органу полками, пассажирские подъемники?

10. Каково назначение винтовых конвейеров, как они устроены и как работают? Назовите виды винтов. Каково их назначение? Приведите формулу производительности винтовых конвейеров.

11. Для чего применяют вибрационные конвейеры? Охарактеризуйте принцип их работы.

12. Каково назначение пневмотранспортных установок? Приведите их классификацию. Приведите и опишите принципиальную схему установки всасывающего действия. Какими факторами ограничено ее применение? Каковы преимущества и недостатки этих установок? Приведите и опишите принципиальную схему установки нагнетательного действия. Для чего применяют комбинированные установки из всасывающей и нагнетательной систем? Как они связаны между собой? Назовите преимущества и недостатки пневмотранспортных установок. Приведите формулу производительности пневмотранспортной установки.

Глава 8. Машины для земляных работ, общие сведения.

8.1. Виды земляных сооружений.

Земляными сооружениями называют устройства в грунте, полученные в результате его удаления за пределы сооружения, или из грунта, внесенного в сооружение извне. Первые называют *выемками*, а вторые - *насыпями*.

В зависимости от формы и размеров выемок различают: *котлованы, траншеи, канавы, кюветы, канат, ямы, скважины и шпур*ы. Котлованы и ямы имеют соизмеримые размеры во всех трех направлениях. При этом глубина котлована обычно меньше, а ямы - больше двух других размеров. Кроме того, ямы имеют небольшой объем. Длины траншей, канав, кюветов и каналов существенно превышают размеры их поперечных сечений.

*Скважины и шпур*ы - это закрытые выемки, один размер которых (глубина или длина в зависимости от ориентации выемки относительно открытой поверхности грунта) существенно превышает размеры их поперечных сечений, весьма узких для шпуров. Скважины и шпуры могут быть вертикальными, горизонтальными и наклонными.

При устройстве выемок вынутый из них грунт удаляют за пределы рабочей площадки или укладывают рядом в *кавалеры* для его последующего использования при обратной засыпке. При сооружении насыпей грунт доставляют извне или из боковых резервов.

Различают *временные земляные сооружения* (траншеи для укладки в них подземных коммуникаций и т.п.) и *земляные сооружения длительного пользования* (придорожные кюветы, дорожные насыпи, дамбы, плотины и т.п.). Временные земляные сооружения отрывают на время строительства, например, на время укладки трубопровода и монтажа трубопроводной арматуры, после его исходную земляную поверхность восстанавливают. В зависимости от вида и состояния грунта, погодных условий, а также продолжительности существования временных земляных сооружений, во избежание обрушения, их стенки укрепляют или оставляют без крепления. Боковые откосы земляных сооружений длительного пользования обычно укрепляют дерном, деревянными рейками и т. п. Чаще насыпи отсыпают с послойным уплотнением грунта.

К земляным сооружениям относятся также спланированные полосы и площадки, которые могут быть как временными, так и сооружениями длительного пользования. В зависимости от проектного уровня по отношению к исходному рельефу, необходимости

замены естественного грунта доставленным извне эти земляные сооружения могут выполняться по схеме образования выемок или насыпей, а также комбинированным способом: удалением грунта из возвышенностей и засыпкой им впадин.

Если при образовании выемок выполняются работы только по отделению части грунта от массива, связанные с разрушением его связности и перемещением, то при сооружении насыпей кроме перемещения грунта обычно решается обратная задача - восстановление прежнего плотного состояния грунта.

8.2. Способы разработки грунтов.

Наиболее энергоемкой из всех операций по устройству выемок является отделение грунта от массива (разрушение грунта), в связи с чем способы разработки грунтов различаются по способам их разрушения, характеризуемым видом энергетического воздействия.

Механическое разрушение грунтов нашло наибольшее применение в строительстве. Оно основано на сосредоточенном контактом силовом воздействии рабочего органа машины на грунт, называемым также *резанием*. Для реализации этого способа рабочие органы грунто разрабатывающих машин оснащают клинообразными режущими инструментами, перемещаемыми относительно грунтового массива. В зависимости от скорости и характера воздействия режущего инструмента различают *статическое* и *динамическое* разрушение грунтов. При статическом разрушении режущий инструмент движется равномерно или с незначительными ускорениями при скорости до 2... 2,5 м/с. Этот способ применяется как основной при разработке грунтов экскаваторами, землеройно-транспортными машинами, рыхлителями и буровыми машинами вращательного действия. В машинах, разрабатывающих прочные скальные породы, реализуется как статический, так и динамический способы их разрушения, в частности, ударный. Известны также вибрационный и виброударный способы, которые пока еще не получили широкого промышленного применения. Энергоемкость механического разрушения песчаных и глинистых грунтов в зависимости от их крепости и конструкции режущих инструментов составляет 0,05...0,5 (кВт·ч)/м³. Этим способом выполняют до 85 % всего объема земляных работ в строительстве.

Рабочий процесс машины для механической разработки грунта может состоять только из операции разрушения грунта, как, например,

у рыхлителя при разрушении прочных фунтов, или включать эту операцию как составную часть рабочего процесса. В последнем случае одновременно с отделением от массива грунт захватывается ковшовым рабочим органом или накапливается передним - при отвальном рабочем органе, например, при разработке бульдозером, автогрейдером. Перемещение грунта ковшовым или отвальным рабочим органом также является составной частью рабочего цикла машины, а отсыпка грунта, выполняемая в конце этой операции, заключается в целенаправленной его выгрузке из рабочего органа. Для увеличения дальности перемещения грунта некоторые машины оборудуют специальными транспортирующими устройствами, как например, экскаваторы непрерывного действия. С той же целью такие машины как скреперы после отделения грунта от массива и заполнения им ковша перевозят грунт к месту отсыпки на значительные расстояния собственным ходом. При экскаваторной разработке для перевозки грунта используют специальные транспортные машины - землевозы, а также автосамосвалы, железнодорожные платформы или баржи.

Для интенсификации разрушения грунта используют комбинированные способы. Например: *газомеханический способ* обеспечивает импульсную подачу газов под давлением в отверстия на землеройном рабочем органе. Выходящие через отверстия газы разрыхляют грунт, уменьшая этим сопротивление перемещению рабочего органа.

Сопротивляемость разрушению водонасыщенных мерзлых фунтов может быть понижена путем ввода в них химических реагентов с пониженной температурой замерзания (хлористого натрия, хлористого калия и др.).

При устройстве гидротехнических земляных сооружений (плотин, дамб), а также в некоторых других случаях на водоемах широко применяют *гидравлическое разрушение грунтов* струей воды с использованием *гидромониторов* и *землесосных отрядов*. Таким же способом добывают песок, гравий или песчано-гравийную смесь для их последующего использования. Энергоемкость процесса достигает 4 (кВт-ч)/м³, а расход воды до 50...60 м³ на 1 м³ разработанного грунта. Тем же способом разрабатывают грунты на дне водоемов. Малосвязные грунты при этом разрабатывают всасыванием без предварительного рыхления, а прочные грунты предварительно разрыхляют фрезами.

Способ разработки грунтов с использованием напора струи воды и землесосных снарядов, которым разрабатывают около 12% Общего объема грунтов в строительстве, называют *гидромеханическим*.

Взрывом обычно разрушают крепкие скальные породы и мерзлые фунты под давлением газов, образующихся при воспламенении взрывчатых веществ, которые закладывают в специально пробуренные скважины (шпуры), в прорезные узкие щели или в траншеи.

Для бурения шпуров применяют машины механического бурения, а также *термо-итермопневмобуры*. Щели и траншеи обычно разрабатывают механическим способом. В термобуре реализуется *термомеханический способ разрушения грунта*: его прогрев высокотемпературной (до 1800...2000°C) газовой струей с последующим разрушением термоослабленного слоя грунта режущим инструментом. При *термопневматическом бурении* грунт разрушается и выносится из скважины высокотемпературной газовой струей со скоростью до 1400 м/с. Разработка грунтов взрывом наиболее энергоемкая, а следовательно, наиболее дорогая из всех рассмотренных выше способов.

Для дробления валунов и негабаритных камней, образующихся в результате разрушения грунтов взрывом, применяют установки, реализующие *электрогидравлический способ* разрушения грунтов, использующий ударную волну, которая образуется в искровом разряде в жидкости. При этом полученная в разрядном канале теплота нагревает и испаряет близлежащие слои жидкости, образуя парогазовую полость с высоким давлением, воздействующим на грунт.

Реже применяют *физические способы* разрушения грунтов без комбинирования с другими способами. Они основаны на воздействии на грунт температурных изменений (прожигание прочных грунтов, оттаивание мерзлых грунтов), токов высокой частоты, ультразвука, электромагнитной энергии, инфракрасного излучения и т.д.

Выбор способа разработки зависит, прежде всего, от прочности грунта, в том числе и от сезонной, связанной с его промерзанием. При правильной организации плановых (не аварийных) работ можно избежать или свести к минимуму энергетические и другие затраты, связанные с разработкой мерзлых грунтов, выполняя земляные работы преимущественно до наступления зимы. В строительной практике используют также способы предохранения подлежащих разработке в зимнее время грунтов от промерзания путем их укрытия специальными матами или подсобными материалами (опилками,

выпавшим до промерзания грунта снегом, разрыхленным слоем грунта и т.п.). Так, в трубопроводном строительстве во избежание обрушения траншеи выкапывают перед укладкой в них труб; подлежащие зимней разработке участки выкапывают до наступления морозов на неполную глубину и тут же их засыпают. Разрыхленный грунт предохраняет нижележащие слои от промерзания и позволяет повторно разрабатывать траншеи требуемой глубины при низких температурах окружающего воздуха.

8.3. Свойства грунтов, влияющие на трудность их разработки.

Грунтами называют выветрившиеся горные породы, образующие кору земли. По происхождению, состоянию и механической прочности различают грунты *скальные*-цементированные водоустойчивые породы с пределом прочности в водонасыщенном состоянии не менее 5 МПа (граниты, песчаники, известняки и т. п.), *полускальные*-цементированные горные породы с пределом прочности до 5 МПа (мергели, окаменевшие глины, гипсоносные конгломераты и т.п.), *крупнообломочные*-куски скальных и полускальных пород, *песчаные*-состоящие из нецементированных мелких частиц, разрушенных горных пород размером 0,05... 2 мм, *глинистые*-с размером частиц менее 0,005 мм.

По гранулометрическому составу, оцениваемому долевым содержанием фракций по массе, различают грунты: глинистые (с размерами частиц менее 0,005 мм), пылеватые (0,005...0,05 мм), песчаные (0,05...2 мм), гравийные (2...20 мм), галечные и щебеночные (20...200 мм), валуны и камни (более 200 мм). Наиболее часто встречающиеся в строительной практике грунты различают по процентному содержанию с них глинистых частиц: глины-не менее 30 %; суглинки от 10 до 30 %; супеси от 3 до 10 % с преобладанием песчаных частиц над пылевидными; пески - менее 3 %.

Грунт состоит из твердых частиц, воды и газов (обычно воздуха), находящихся в его порах.

Влажность грунтов оценивают отношением массы воды к массе твердых частиц. Она составляет от 1...2% для сухих песков, до 200% и более для текучих глин и илов. В некоторых случаях, например, при оценке степени принудительного уплотнения грунтов, пользуются так

называемой *оптимальной влажностью*, которая изменяется от 8...14% для мелких и пылеватых песков до 0...30 % для жирных глин.

При разработке грунты увеличиваются в объеме за счет образования пустот между кусками. Степень такого увеличения объема оценивают *коэффициентом разрыхления*, равным отношению объема определенной массы грунта после разработки к ее объему до разработки (табл. 8.1). Значения коэффициента разрыхления колеблются от 1,08...1,15 для песков до 1,45...1,6 для мерзлых грунтов и скальных пород. После укладки грунта в отвалы и естественного или принудительного уплотнения степень их разрыхления уменьшается. Ее оценивают *коэффициентом остаточного разрыхления* от 1,02...1,05 для песков и суглинков до 1,2...1,3 для скальных пород).

Уплотняемость грунтов характеризуется увеличением их плотности вследствие вытеснения из пор воды и воздуха и компактной укладки твердых частиц. После снятия внешней нагрузки сжатый в порах воздух расширяется, вызывая *обратимую деформацию* грунта. При повторных нагружениях из пор удаляется все больше воздуха, вследствие чего обратимые деформации уменьшаются.

Таблица 8.1.

Характеристики грунтов.

| Категория грунта | Плотность, кг/м ³ | Число ударов плотномера Дор НИИ | Коэффициент разрыхления | Удельное сопротивление, кПа, К _к | | | | | |
|------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------|---|------------------------------|-------------|-------------------------------------|----------|-------------|
| | | | | Резанию | копанию при работе с: | | | | |
| | | | | | Прямыми и обратными лопатами | Драглайнами | Экскаваторами непрерывного действия | | Траншейными |
| 1 | 1200...1500 | 1...4 | 1,08...1,17 | 12...65 | | | 18...80 | 30...120 | |

| VIII | VII | VI | V | IV | III | II |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2500...2800 | 2300...2600 | 2200...2600 | 2200...2500 | 1900...2200 | 1600...2000 | 1400...1900 |
| 281...560 | 141...280 | 71...140 | 36...70 | 17...35 | 9...16 | 5...8 |
| 1,4...1,6 | 1,4... 1,45 | 1,4...1,45 | 1,3...1,42 | 1,26...1,37 | 1,24...1,3 | 1,14...1,28 |
| — | 1000...3500 | 400...800 | 280...500 | 180...300 | 120...200 | 58...130 |
| 220...250 | 1200...400 | 450...950 | 330...650 | 220...400 | 160...280 | 70...180 |
| 230...310 | 1400...450 | 550...1000 | 400...750 | 280... 490 | 220...300 | 120...250 |
| — | 1800...500 | 700...1200 | 520...760 | 300...550 | 200...380 | 120...250 |
| — | 2200...550 | 750...1500 | 580...850 | 370...650 | 240...450 | 150...300 |
| — | 2000...600 | 1000...2200 | 700...1200 | 650... 800 | 380...660 | 210...400 |

Степень уплотнения грунта характеризуется *остаточной деформацией*, основная доля которой приходится на первые циклы нагружения. Ее оценивают *коэффициентом уплотнения*, равным отношению фактической плотности к ее максимальному стандартному значению, соответствующему оптимальной влажности. При уплотнении грунтов требуемый коэффициент уплотнения назначают в зависимости от ответственности земляного сооружения в пределах 0,9... 1,0.

Прочность и деформируемость грунтов определяется, в основном, свойствами слагающих их частиц и связей между ними. Прочность частиц обусловлена внутримолекулярными силами, а прочность связей — их сцеплением. При разработке грунтов эти связи разрушаются, а при уплотнении восстанавливаются.

При взаимном перемещении частиц грунта между собой возникают силы внутреннего трения, а при перемещении грунта относительно рабочих органов — силы внешнего трения. Согласно закону Кулона эти силы пропорциональны нормальной нагрузке с коэффициентами пропорциональности, называемыми *коэффициентами* соответственно *внутреннего и внешнего трения*. Для большинства глинистых и песчаных грунтов первый составляет 0,18...0,7, а второй - 0,15...0,55.

При взаимном перемещении грунта и землеройного рабочего органа происходит царапание твердыми грунтовыми частицами рабочих поверхностей режущего инструмента и других элементов рабочего органа и, как следствие, изменение его формы и размеров, называемое *изнашиванием*. Разработка грунтов изношенным режущим инструментом требует больше затрат энергии. Способность грунтов изнашивать рабочие органы землеройных машин называют *абразивностью*. Большой абразивностью обладают более твердые грунты (песчаные и супесчаные) с частицами, закрепленными (цементированными) в грунтовом, например, замерзшем массиве. Абразивная изнашивающая способность мерзлых грунтов в зависимости от их температуры, влажности и гранулометрического состава может быть в десятки раз выше, чем у тех же грунтов немерзлого состояния.

Грунты, содержащие глинистые частицы, способны прилипать к рабочим поверхностям рабочих органов, например, ковшовым, уменьшая тем самым их рабочий объем и создавая повышенные сопротивления перемещению отделенного от массива грунта внутрь ковша, вследствие чего увеличиваются затраты энергии на разработку грунта и снижается производительность землеройной машины.

Это свойство грунтов, называемое *липкостью*, усиливается при отрицательных температурах. Силы сцепления примерзшего к рабочим органам грунта в десятки и сотни раз больше, чем в немерзлом состоянии. Для удаления прилипшего к рабочим органам грунта приходится делать вынужденные остановки машины, а в ряде случаев,

например, для очистки от примерзшего грунта, принимать специальные меры, в основном, механического воздействия.

Грунты, разрабатываемые машинами, классифицируют по трудности разработки по 8 категориям (см. табл.8.1). В основу этой классификации, предложенной проф. А.Н.Зелениным, положена *плотность* измеряемая в килограммах на кубический метр, по показаниям плотномера конструкции ДорНИИ (рис. 8.1).

Последний представляет собой металлический стержень круглого поперечного сечения площадью 1 см^2 с двумя шайбами-упорами, между которыми свободно перемещается груз массой 2,5 кг. Полный ход груза составляет 0,4 м, длина нижнего свободного конца стержня - 0,1 м. Для измерения плотности прибор нижним концом устанавливают на грунт, поднимают груз до упора в верхнюю шайбу и отпускают его. При падении груз ударяет о нижнюю шайбу, заставляя внедряться в грунт нижний конец стержня. Плотность грунта оценивают числом ударов, соответствующим внедрению в грунт стержня до упора в нижнюю шайбу.

Согласно классификации проф. А.Н.Зеленина грунты распределены по категориям следующим образом:

I категория - песок, супесь, мягкий суглинок влажный и разрыхленный без включений;

II категория - суглинок без включений, мелкий и средний гравий, мягкая влажная или разрыхленная глина;

III категория - крепкий суглинок, глина средней крепости влажная или разрыхленная, аргиллиты и алевролиты;

IV категория - крепкий суглинок, крепкая и очень крепкая влажная глина, сланцы, конгломераты;

V категория - сланцы, конгломераты, отвердевшие глина и лесс, очень крепкие мел, гипс, песчаники, мягкие известняки, скальные и мерзлые породы;

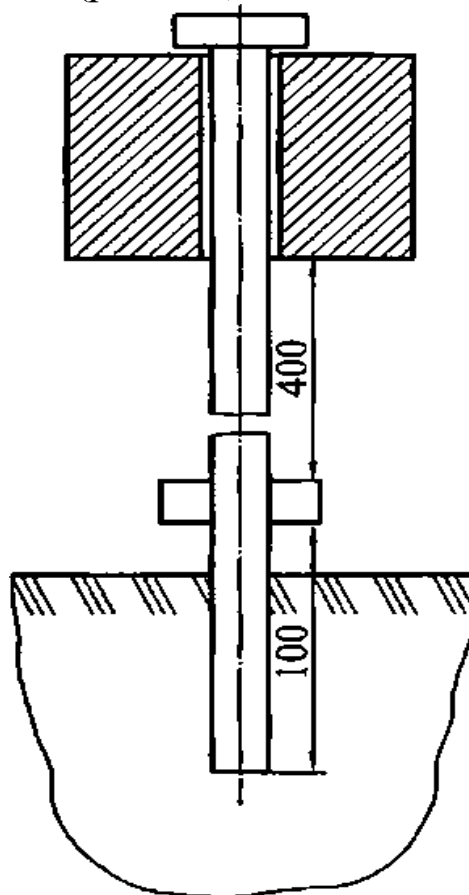


Рис 8.1. Плотномер ДорНИИ.

сти

VI категория - ракушечники и конгломераты, крепкие сланцы, известняки, песчаники средней крепости, мел, гипс, очень крепкие опоки и мергель;

VII категория - известняки, мерзлый грунт средней крепости;

VIII категория - скальные и мерзлые породы, очень хорошо взорванные (куски не более 1/3 ширины ковша).

8.4. Взаимодействие рабочих органов землеройных машин с грунтом.

При выполнении земляных работ используют различные по назначению, конструкции и принципу действия машины. Они разделяются на: машины для подготовительных работ; землеройно-транспортные; экскаваторы; бурильные; для бестраншейной прокладки коммуникаций; для гидромеханической разработки грунта; для уплотнения грунтов. Различают грунты: нескальные (песок, супесь, суглинок, глина и т.п.), разборно-скальные (сцементированные глины - аргиллиты, гипс, мел, известняки и др.) и скальные (плотные известняки, доломит, мрамор, песчаник и др.). Грунты, имеющие положительную температуру, называют немерзлыми (талыми), отрицательную – мерзлыми, если они содержат лед, и морозными (охлажденными), если лед в их составе отсутствует. Нескальные немерзлые грунты разрабатывают обычными землеройными средствами, скальноразборные и мерзлые грунты с небольшой глубиной промерзания перед разработкой предварительно разрыхляют механическим способом. Скальные и мерзлые грунты с большой глубиной промерзания предварительно разрыхляют взрывным способом. В некоторых случаях мерзлые грунты прогревают или разрабатывают специально предназначенными для этих целей землеройными машинами. А.Н.Зелениным предложена классификация (табл. 8.2.) нескальных мерзлых и немерзлых грунтов по числу ударов C динамического плотномера (ударника) ДорНИИ. Категория грунта определяется числом ударов, которые необходимы для погружения в грунт на глубину 10 см цилиндрического стержня плотномера площадью 1 см² под действием груза весом 25 Н, падающего с высоты 0,4 м и производящего за каждый удар работу в 10 Дж.

Таблица 8.2.

Классификация грунтов по числу C .

| | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Категория немерзлого грунта | I | II | III | IV |
| Число ударов <i>C</i> | 1...4 (3) | 5...8 (6) | 9...16 (12) | 17...35 (25) |
| Категория мерзлого грунта | V | VI | VII | VIII |
| Число ударов <i>C</i> | 35...79 (50) | 70...140 (100) | 140...280 (200) | 280...560 (400) |

Примечание: В скобках приведены средние значения *C* для каждой категории грунта.

На процесс взаимодействия рабочего органа землеройной машины с грунтом существенное влияние оказывают физико-механические свойства грунта, конструкция, геометрические параметры и режимы работы рабочего органа. Физико-механические свойства грунтов характеризуются: механическими свойствами его компонентов: прочностью – способностью грунта сопротивляться разрушению под действием внешних нагрузок; гранулометрическим составом – процентным содержанием по массе частиц различной крупности; плотностью – отношением массы к единице объема (для большинства грунтов – 1,5...2 т/м³); пористостью – отношением объема пор к общему объему грунта (в %); влажностью – процентным содержанием воды в порах грунта; связностью – способностью грунта сопротивляться разделению на отдельные частицы под действием нагрузок; разрыхляемостью – свойством грунта увеличиваться в объеме при постоянстве собственной массы (выражается коэффициентом разрыхления $K_p = 1,1...1,4$); углом естественного откоса – углом у основания конуса, который образуется при отсыпании разрыхленного грунта с некоторой высоты; пластичностью – способностью грунта деформироваться под действием внешних сил и сохранять полученную форму после снятия нагрузки; сжимаемостью – свойством грунтов уменьшаться в объеме под действием внешней нагрузки; сопротивлением сдвигу – сцеплением частиц грунта между собой; коэффициентами трения грунта о сталь (0,55...0,65) и грунта по

грунту (0,3...0,5); абразивностью – способностью грунта (породы) интенсивно изнашивать (истирать) взаимодействующие с ним рабочие органы машин; липкостью – способностью грунта прилипать к поверхности рабочих органов. Режущими элементами рабочих органов являются зубья или ножи (рис. 8.2, *а* и *б*). Основными параметрами ножей являются длина L , угол заострения β , угол резания δ (угол между передней гранью и касательной к траектории движения) и задний угол α (угол между задней гранью и касательной к траектории движения). Зубья и ножи могут использоваться в сочетании с отвалом и ковшом или самостоятельно. Как самостоятельные рабочие органы зубья используются для рыхления грунта. Рабочими органами этого типа снабжены кирковщики и рыхлители.

Ножи в качестве самостоятельных рабочих органов служат для отделения стружки грунта от массива и подачи ее на транспортирующие органы. Примером таких рабочих органов являются дисковые ножи грейдер-элеваторов (рис. 8.2, *в*) и ножевые системы стругов. Отвал с ножом служит для вырезания грунта и перемещения его по направлению движения машины или в сторону; отвал с ножом может использоваться для срезания и уборки кустарника, корчевания пней, перемещения валунов и т.п. Отвалами с ножами оборудуются бульдозеры и автогрейдеры.

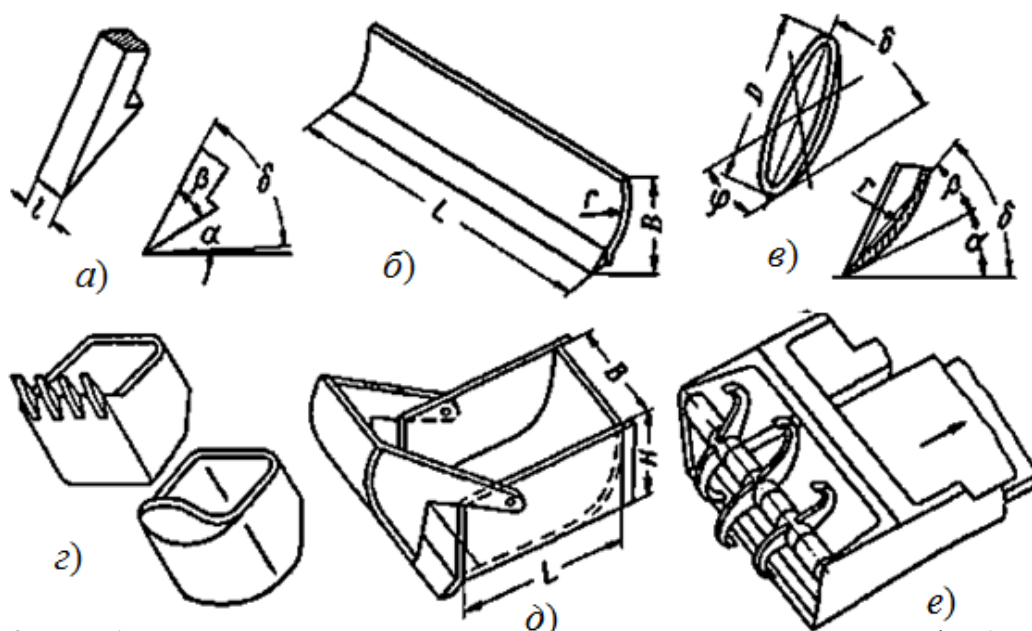


Рис. 8.2. Рабочие органы землеройных машин: *а* - зуб; *б* - отвал с режущим ножом; *в* - дисковый нож; *г* - ковш экскаватора с зубьями и ковш экскаватора с полукруглой режущей кромкой; *д* - ковш скрепера; *е* - рабочий орган землеройной машины с роторным рыхлителем.

Отвалы с зубьями применяются в качестве рабочих органов корчевателей. Основными параметрами отвала являются: длина L , высота B , радиус кривизны r и угол захвата φ (угол между отвалом и направлением движения машины в плане). Основными параметрами ковша являются: емкость q , длина L , высота H и ширина B . Ковши для скреперов (рис. 8.2, *д*) снабжаются ножами. Ковши для экскаваторов имеют прямую режущую кромку с зубьями или криволинейное днище и выступающую вперед сплошную режущую кромку, что значительно снижает усилие резания (рис. 8.2, *з*). На рис. 8.2, *е* показана схема рабочего органа землеройной машины с рыхлителем роторного типа (фрезой). Разрыхленный грунт подрезается системой ножей по периметру забоя и, обрушиваясь, поступает на ленточный транспортер и перемещается в направлении, показанном стрелкой. Копание грунта – сложный процесс. Упрощенно процесс копания можно представить следующим образом.

При движении рабочий орган воздействует на грунт своей передней кромкой (рис. 8.3, *а*). Под действием рабочего органа грунт уплотняется и в нем возникают напряжения, увеличивающиеся по мере движения рабочего органа. Когда напряжения в грунте достигают значений, превосходящих сопротивление разрушению, грунт сдвигается по плоскости AA , в которой эти напряжения максимальны.

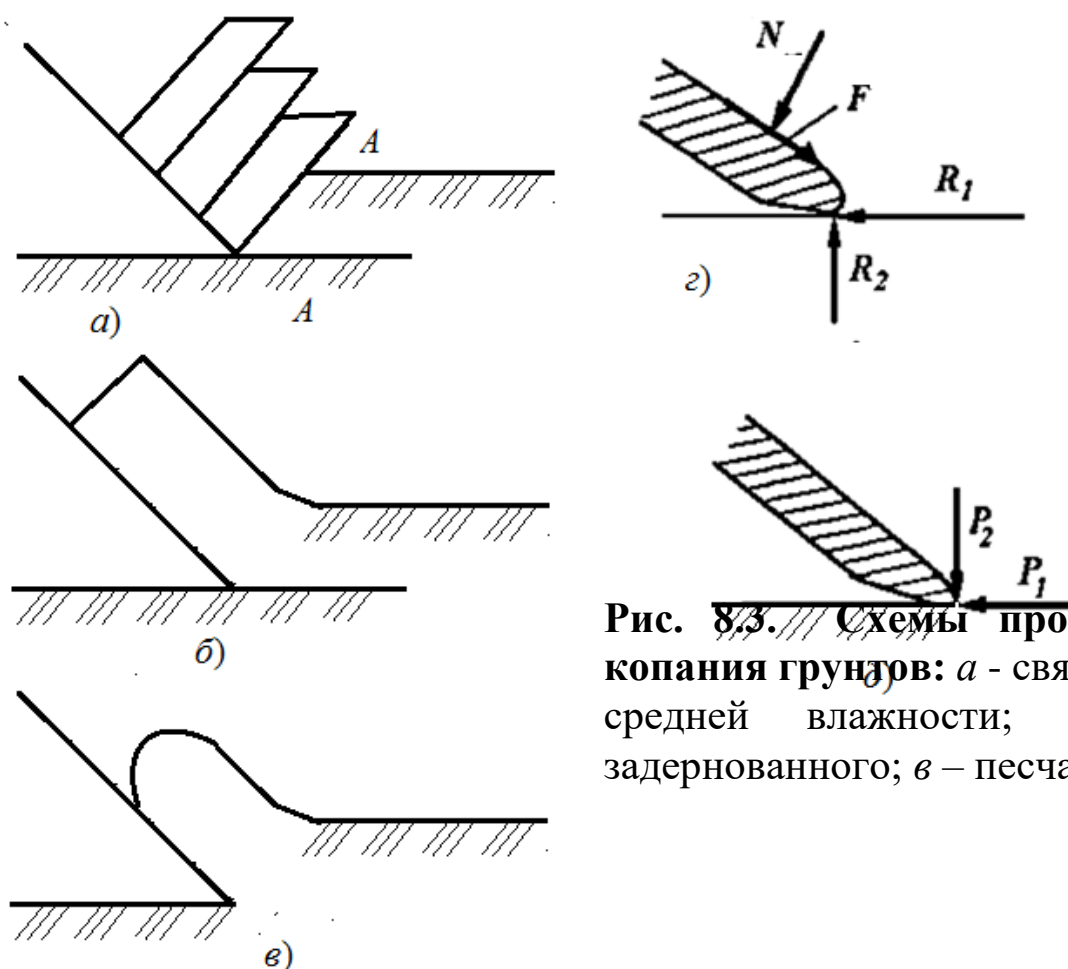


Рис. 8.3. Схемы процесса копания грунтов: *а* – связного средней влажности; *б* – задернованного; *в* – песчаного;

ε и δ – схемы сил, действующих на рабочий орган.

Режущий орган, перемещаясь вперед, воздействует на следующий элемент грунта, и процесс повторяется. Отделенные от массива элементы грунта образуют стружку, которая перемещается по рабочей поверхности режущего органа и, в зависимости от типа рабочего органа, поступает на транспортер, внутрь ковша, или перемещается отвалом вперед и в сторону. Характер процесса копания в большой степени зависит от состава и свойств грунта. Стружка задернованного влажного грунта отрывается от массива в горизонтальной плоскости. Относительных сдвигов элементов грунта в этом случае не происходит, и грунт перемещается по ножу в виде монолитной стружки (рис. 8.3, б).

Сухой несвязный грунт (песок) под действием режущего органа выпирает вверх и вперед, накапливается перед ножом и образует так называемую призму волочения (рис. 8.3, в). Призма волочения образуется и при копании связных грунтов, если перемещение срезанной стружки по рабочему органу связано с преодолением значительных сопротивлений, например при проталкивании стружки внутрь ковша скрепера в конце его наполнения. Во время копания на рабочий орган со стороны грунта действует сила сопротивления грунта копанию, которая рассматривается как сумма реакций грунта на рабочий орган. Величина и направление этой силы зависят от типа и конструкции рабочего органа, формы и размеров поперечного сечения стружки, типа и состояния грунта.

Сопротивление грунта копанию (рис. 8.3, г): складывается из силы нормального давления грунта N на переднюю грань режущего органа, силы трения грунта по передней грани F , реакции грунта на затупленную площадку лезвия R , которую можно разложить на горизонтальную и вертикальную составляющие R_1 и R_2 .

В случае рабочего органа типа ковша в число этих сил входят также сила сопротивления продвижению стружки внутри ковша (сопротивление наполнению) и сила, действующая на ковш со стороны призмы волочения. Для отвала силы N и F рассматриваются как равнодействующие распределенной нагрузки, приложенной к рабочей поверхности отвала. Силу сопротивления копанию P (рис. 8.3, д), являющуюся равнодействующей рассмотренных сил, можно

представить в виде касательной нормальной и боковой составляющих P_1 , P_2 и P_3 , приложенных условно к лезвию режущего элемента.

Направление силы P_1 противоположно направлению движения машины. Сила P_2 может быть направлена вниз или вверх в зависимости от соотношения реакций грунта на переднюю грань и на лезвие режущего органа. Сила P_3 действует в случае установки рабочего органа под углом φ к направлению движения, меньшим 90° , т. е. в случае косоугольного резания. Сила P_3 является горизонтальной составляющей, перпендикулярной к направлению движения.

Определению касательной составляющей сопротивления копанию P_1 посвящено значительное число исследований. Впервые формула для определения силы P_1 применительно к работе сельскохозяйственного плуга была предложена акад. В.П. Горячкиным:

$$P_1 = \mu_1 \cdot G + K_p \cdot h \cdot b + \varepsilon \cdot h \cdot b \cdot v^2$$

(8.1)

где μ_1 – коэффициент трения плуга о грунт; $\mu_1 = 0,25 \dots 0,4$; G – вес плуга; K_p – удельное сопротивление резанию, для плуга $K_p = 20 \dots 100$ кН/м²; h и b – толщина и ширина срезаемой стружки грунта в м; ε – опытный коэффициент, учитывающий влияние скорости резания на величину сопротивления копанию; в среднем $\varepsilon = 0,1$; v – скорость резания в м/с.

Третье слагаемое учитывает сопротивление, связанное с сообщением вырезаемому грунту определенной скорости движения. Технологические процессы землеройных машин отличны от процесса работы плуга. Общим в этих процессах является отделение стружки грунта от массива – резание грунта.

Определение силы сопротивления резанию по формуле акад. В.П. Горячкина основано на допущении, что величина этой силы прямо пропорциональна площади поперечного сечения вырезаемой стружки ($F=b \cdot h$).

Это допущение легло в основу определения сопротивления резанию для землеройных машин (табл. 8.3).

Работы по определению сопротивления копанию грунта рабочими органами экскаваторов были проведены проф. Н.Г. Домбровским. Им предложена следующая формула для определения силы P_1 (кПа).

$$P_1 = P_p + P_T + P_{пр} = K_p \cdot b \cdot h + P_2 \cdot \mu_1 + q \cdot K_n \cdot \varepsilon.$$

(8.2)

где: P_p – сопротивление грунта резанию (табл.8.3); P_T – сопротивление трения ковша о грунт; $P_{пр}$ – сопротивление перемещению призмы волочения и грунта в ковше; P_2 – составляющая силы сопротивления копанью, нормальная к траектории движения ковша; q – емкость ковша; K_n – коэффициент наполнения ковша; ε – коэффициент сопротивления перемещению грунта в ковше.

Таблица. 8.3

Значения удельных сопротивлений резанию K_p для машин с ножевым рабочим органом.

| Наименование грунта | Категория грунта | Плотность грунта, ρ , т/м ³ | Коэффициент разрыхления грунта, K_p | Удельное сопротивление грунта резанию K_k , кПа | |
|--|------------------|---|---------------------------------------|---|--------------|
| | | | | нож бульдозера | нож скрепера |
| Песок рыхлый, сухой | I | 1,2...1,6 | 1,05...1,1 | 10...30 | 20...40 |
| Песок влажный, супесь, суглинок разрыхленный | I | 1,4...1,7 | 1,1...1,2 | 20...40 | 50...100 |
| Суглинок, мелкий и средний гравий, легкая глина | II | 1,5...1,8 | 1,15...1,25 | 60...80 | 90...180 |
| Глина, плотный суглинок | III | 1,6...1,9 | 1,2...1,3 | 100...160 | 160...300 |
| Тяжелая глина, сланцы, суглинок со щебнем, гравием | IV | 1,9...2,0 | 1,25...1,3 | 150...250 | 300...400 |

Значения составляющих сопротивления копанью см. табл.8.4.

Из приведенных данных следует, что при работе прямой лопаты призмы волочения почти нет, а у скрепера, особенно на легких

грунтах, сопротивление перемещению призмы волочения и наполнению ковша составляет до 40...50% всего сопротивления копанию.

Таблица 8.4

Значения составляющих силы сопротивления копанию (в процентах от всего сопротивления копанию).

| Категория грунта | ковш | R_p | R_T | $R_{пр}$ | Категория грунта | ковш | R_p | R_T | $R_{пр}$ |
|------------------|---------------|-------|-------|----------|------------------|---------------|-------|-------|----------|
| I | Драглайна | 22 | 46 | 32 | III | Драглайна | 58 | 22 | 20 |
| | Скрепера | 23 | 31 | 46 | | Скрепера | 46 | 17 | 37 |
| | Прямой лопаты | 42 | 51 | 7 | | Прямой лопаты | 77 | 18 | 5 |
| II | Драглайна | 38 | 36 | 26 | IV | Драглайна | 63 | 17 | 20 |
| | Скрепера | 7 | 36 | 46 | | Скрепера | 53 | 15 | 37 |
| | Прямой лопаты | 63 | 31 | 7 | | Прямой лопаты | 83 | 12 | 5 |

Относя все сопротивления к сечению стружки, Н.Г. Домбровский вывел выражение для определения силы P_1 (кН)

$$P_1 = 10^{-3} \cdot A \cdot K_k \quad (8.3)$$

где: $A = b \cdot h$ – площадь стружки в m^2 ; K_k – удельное сопротивление грунта копанию в МПа.

В результате экспериментальных работ Н.Г. Домбровским получены значения K_k (табл. 8.5.) для машин с ковшовыми рабочими органами при работе их в различных грунтовых условиях.

Таблица 8.5.

Значения удельного сопротивления копанию K_k в kg/cm^2 (сохранена размерность эксперимента).

| Грунт | Категория | Прямая лопата | Драглайн | Скрепер |
|--|-----------|---------------|-----------|------------|
| Песок рыхлый сухой | I | 0,15...0,25 | 0,3...0,5 | 0,2...0,4 |
| Песок, супесь, суглинок легкий (влажный) | I | 0,3...0,7 | 0,6...1,2 | 0,5...1,0 |
| Суглинок, гравий мелкий, средний, глина | II | 0,6...1,3 | 1,0...1,9 | 0,95...1,8 |

| | | | | |
|--|-----|-------------|-----------|-----------|
| легкая, влажная и разрыхленная | | | | |
| Глина средняя или тяжелая разрыхленная, суглинок плотный | III | 1,25...1,95 | 1,6...6,0 | 1,5...2,5 |
| Глина тяжелая | IV | 2,0...3,0 | 2,6...4,0 | 3,2...4,9 |

Величина нормальной составляющей сопротивления копания P_2 для экскаваторов может определяться по формуле:

$$P_2 = \psi \cdot P_1 \quad (8.4)$$

где $\psi = 0,2 \dots 0,6$ – коэффициент, зависящий от физико-механических свойств грунта, формы рабочего органа, его затупления, величины заглубления.

Более высокие значения ψ соответствуют большему затуплению режущей части.

Общее сопротивление грунта коанию P является геометрической суммой сил P_1 и P_2

$$P = \sqrt{P_1^2 + P_2^2}$$

(8.5)

Вычисление сопротивления коанию изложенным выше способом является приближенным, поскольку при этом не учитывается зависимость сопротивления коанию от соотношения размеров стружки b и h , угла резания δ , степени затупления режущей кромки и других факторов (табл. 8.6). Однако этот способ до настоящего времени находит широкое применение благодаря простоте и достаточной для практических расчетов точности результатов.

Таблица 8.6.

Значения удельных сопротивлений коанию K_k для ковшовых рабочих органов экскаваторов.

| Категория грунта | Удельное сопротивление коанию K_k , кПа | | | |
|------------------|---|-----------|---------------------------|----------------------------------|
| | Одноковшовые экскаваторы | | Многоковшовые экскаваторы | |
| | Прямая и обратная лопата | драглайн | Поперечного копания | Продольного копания (траншейные) |
| I | 25...70 | 40...120 | 40...100 | 80...180 |
| II | 90...180 | 100...120 | 120...180 | 180...260 |
| III | 120...250 | 160...300 | 180...240 | 260...300 |

| | | | | |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IV | 250...400 | 300...500 | 240...300 | 300...400 |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|

При отделении грунта от массива механическим способом рабочему органу землеройной машины сообщаются обычно два движения – вдоль поверхности массива (главное движение) и поперек (движение подачи) срезаемой стружки грунта, которые могут выполняться раздельно или одновременно. Режущая часть (кромка) рабочего органа, имеющая обычно форму клина, характеризуется следующими геометрическими параметрами (рис. 8.4); длиной режущей кромки b , углом заострения β , задним углом α , передним углом γ , углом резания $\delta = \beta + \alpha$ и толщиной стружки h .

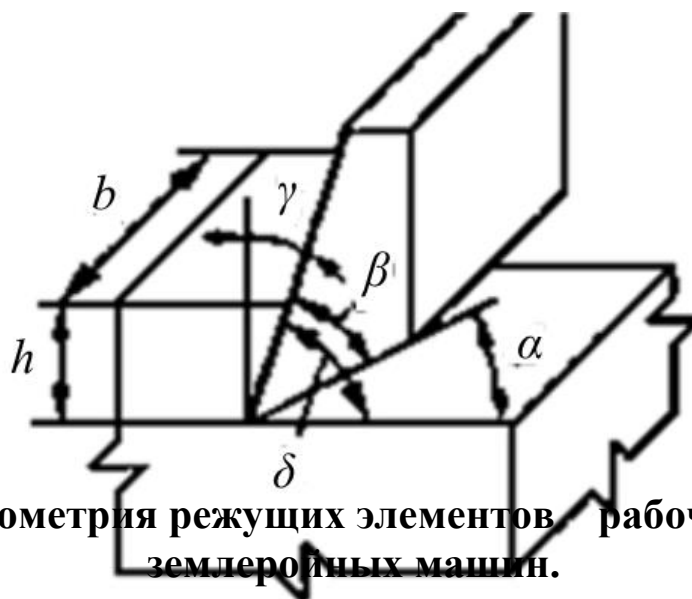


Рис. 8.4. Геометрия режущих элементов рабочих органов землеройных машин.

Эффективность процесса резания обеспечивается при оптимальных углах резания и рациональной геометрии режущего инструмента.

Оптимальные значения угла резания δ составляют $30...32^\circ$ для легких грунтов и $40...43^\circ$ для тяжелых; угла заострения $\beta = 25...27^\circ$ для легких и $32...35^\circ$ для тяжелых грунтов.

Задний угол принимают равным не менее $6...8^\circ$. Ножевые рабочие органы землеройных машин характеризуются также длиной B , высотой H и радиусом кривизны r отвала, ковшовые – вместимостью q , шириной B , высотой H и длиной L ковша.

8.5. Общая классификация машин и оборудования для разработки грунтов.

Машины и оборудование для разработки грунтов классифицируют по назначению *землеройные, землеройно-транспортные, бурильные, оборудование гидромеханизации.*

Землеройные машины разрабатывают грунт либо позиционно (одноковшовые экскаваторы и роторные экскаваторы поперечного копания), либо в процессе перемещения всей машины (экскаваторы непрерывного действия, кроме указанных выше роторных). Продукт их деятельности - разработанный грунт. Он укладывается в отвал рядом с отрытой выемкой или карьером или погружается в транспортные средства для его перевозки.

Землеройно-транспортные машины (бульдозеры, скреперы) работают в двух следующих друг за другом режимах - *землеройном и транспортном.*

Сначала машина в процессе своего перемещения разрабатывает грунт, накапливая его перед отвалом (бульдозер) или заполняя им ковш (скрепер), а затем перемещает его волоком по земле - в случае отвала или в ковше подобно транспортной машине. Отвальные землеройно-транспортные машины (бульдозеры, автогрейдеры), занятые на планировке земляных поверхностей, работают в режиме землеройной машины непрерывного действия: снимаемый слой грунта непрерывно перемещается по отвалу и укладывается рядом с полосой планировки. В таком же режиме работают землеройно-транспортные машины, называемые *грейдер-элеваторами* - разработанный ими грунт либо погружается специальным транспортирующим органом в транспортные средства, либо укладывается рядом с полосой разработки.

Бурильные машины предназначены для бурения скважин, включая шпурь. Обычно это машины позиционного действия, что определяется местоположением скважины.

Средства гидромеханизации предназначены для разработки грунтов с использованием скоростного напора струи воды или водяного потока. Они представляются как машинами, так и аппаратами, не имеющими машинного привода.

По характеру рабочего процесса только одноковшовые экскаваторы и скреперы являются машинами циклического действия. Экскаваторы же непрерывного действия, автогрейдеры, грейдер-элеваторы и оборудование гидромеханизации работают в непрерывном режиме. Бульдозеры могут работать как в циклическом (при послойной

разработке грунтов), так и в непрерывном (на планировочных работах) режимах.

Землеройные машины, называемые экскаваторами, могут быть оборудованы одним ковшом (одноковшовые экскаваторы) или несколькими ковшами или заменяющими их рабочими органами - скребками, комбинированными органами для отдельного отделения грунта от массива и выноса его к месту отсыпки, зубьями без ковшей) и т.п., закрепленными на рабочем колесе (роторе) или на замкнутой рабочей цепи (экскаваторы непрерывного действия). Каждый рабочий орган, как и в случае одноковшового экскаватора, работает в циклическом режиме, но со сдвигом во время выполнения одноименных операций различными рабочими органами, вследствие чего грунт отсыпается непрерывным потоком.

По сравнению с одноковшовыми экскаваторы непрерывного действия имеют меньшую материалоемкость и энергоемкость, приходящиеся на единицу их технической производительности, что обусловлено более равномерным нагружением этих машин во времени. В то же время экскаваторы непрерывного действия имеют более низкий коэффициент использования по времени из-за более частых отказов многозвенной структуры этих машин. Они имеют узкую область применения по сравнению с одноковшовыми экскаваторами.

Контрольные вопросы.

1. Приведите примеры временных земляных сооружений. Чем они отличаются от сооружений длительного пользования?
2. Перечислите способы разработки грунтов. Что такое резание грунта? В чем различие статического и динамического разрушения грунтов?
3. Из каких операций состоит рабочий цикл землеройной машины? С помощью каких рабочих органов они выполняются?
4. Приведите основные свойства грунтов. Какими показателями их оценивают?
5. Приведите основные положения классификации грунтов по Зеленину. Как устроен плотномер конструкции ДорНИИ и как с его помощью определяют плотность грунта?
6. Перечислите основные виды рабочих органов землеройных машин. Как они устроены? Назовите основные элементы режущего инструмента землеройного рабочего органа.

7. Какими способами повышают износостойкость режущих инструментов? Что такое самозатачивание, какова его природа?

8. Как изменяются во времени сопротивления различных фунтов отделению от массива?

9. Что такое копание фунта, чем оно отличается от резания? Охарактеризуйте силовое взаимодействие землеройного рабочего органа с грунтом. Как определяют составляющие сопротивления грунта копанию и резанию (метод Домбровского—Горячкина)? Каков физический смысл удельного сопротивления грунта копанию?

10. Приведите общую классификацию машин и оборудования для разработки грунтов.

11. Как различаются между собой одноковшовые экскаваторы и экскаваторы непрерывного действия по материалоемкости, энергоемкости и использованию во времени?

Глава 9. Одноковшовые экскаваторы.

9.1. Общие сведения.

Одноковшовыми экскаваторами называют позиционные землеройные машины циклического действия, оборудованные ковшовым рабочим органом. Рабочий цикл одноковшового экскаватора состоит из последовательно выполняемых операций копания грунта, его перемещения к месту отсыпки, разгрузки ковша с отсыпкой грунта в отвал или транспортное средство и возвращения ковша на позицию начала следующего рабочего цикла. В совокупности перечисленные операции еще называют экскавацией. После отработки элемента забоя (части грунтового массива в пределах досягаемости рабочего оборудования или, по условиям эффективного использования технологических возможностей экскаватора, несколько меньше) экскаватор перемещают на новую позицию. Совокупность рабочих циклов на одной позиции экскаватора вместе с его перемещением на новую позицию образует большой цикл.

Одноковшовые экскаваторы классифицируют:

по назначению: строительные - для производства земляных работ, погрузки и разгрузки сыпучих материалов; строительно-карьерные - для тех же работ и, кроме того, для разработки карьеров строительных материалов и добычи полезных ископаемых открытым способом; карьерные - для работы в карьерах; вскрышные - для снятия