

Г л а в а 7

Машины для земляных работ

7.1. Взаимодействие рабочих органов землеройных машин с грунтом

Машины для земляных работ используют в строительстве при рыхлении плотных, скальных и мерзлых грунтов, планировке строительных площадок, подготовке оснований под дороги и проезды, разработке котлованов под фундаменты зданий и сооружений, рытье траншей открытым способом при прокладке городских коммуникаций и строительстве подземных сооружений, копании ям и приямков, зачистке дна и откосов земляных сооружений, обратной засыпке котлованов и траншей после возведения фундаментов и укладки коммуникаций, уплотнении грунтов и т.п.

Грунты разрабатываются тремя основными способами:

1) *механическим*, при котором грунт отделяется от массива пассивными или приводными (активными) режущими органами – ножами, зубьями, клиньями, резцами, фрезами, скребками и т.п.;

2) *гидромеханическим*, при котором грунт разрушается в открытом забое направленной с помощью гидромонитора струей воды под давлением до 6 МПа или всасыванием предварительно разрушенного (фрезой или гидромонитором) грунта со дна реки или водоема грунтовым насосом-землесосом;

3) *взрывным*, при котором грунт (чаще скальный при добыче нерудных для производства строительных материалов) разрушается под давлением газа – продукта сгорания (распада) взрывчатого вещества, а затем разрабатывается механическим способом.

В настоящее время около 95% земляных работ в строительстве осуществляется механическим способом. 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, скально-разборные 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. 7.1) 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 см^2 под действием груза весом 25 Н, падающего с высоты 0,4 м и производящего за каждый удар работу в 10 Дж.

Таблица 7.1

Классификация грунтов по числу C

Категория немерзлого грунта	I	II	III	IV
Число ударов C	1...4(3)	5...8(6)	9...16(12)	17...35(25)
Категория мерзлого грунта	V	VI	VII	VIII
Число ударов C	35...70 (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 – $1,5...2 \text{ т/м}^3$); *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 γ 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. 7.1, 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.

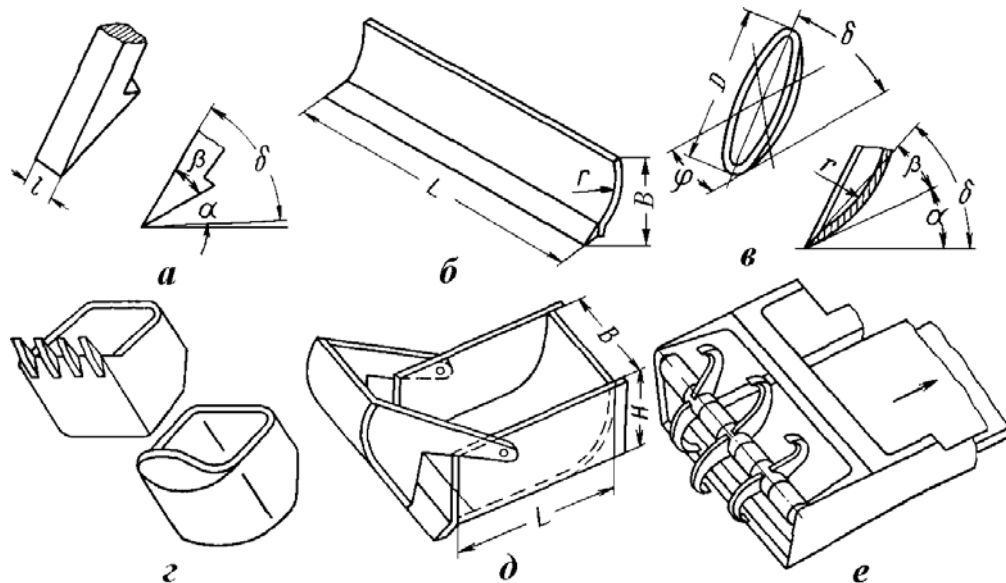


Рис. 7.1. Рабочие органы землеройных машин:

a – зуб; *b* – 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

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. 7.1, *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.

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).

Ковши. Основными параметрами ковша являются: емкость q , длина L , высота H и ширина B . Ковши для скреперов (рис. 7.1, *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. 7.1, *г*).

На рис. 7.1, *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. 7.2, 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.

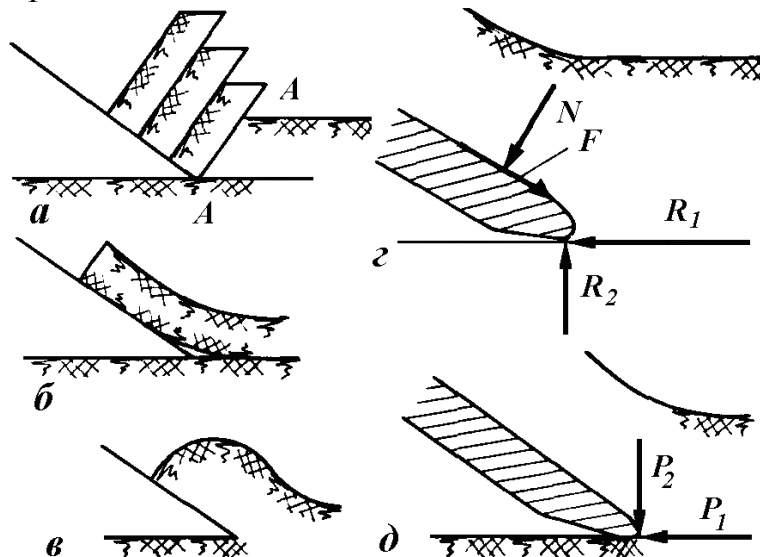


Рис. 7.2. Схемы процесса копания грунтов:

а – связного средней влажности; *б* – задернованного; *в* – песчаного; *г* и *д* – 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. 7.2, б). Сухой несвязный грунт (песок) под действием режущего органа выпирает вверх и вперед, накапливается перед ножом и образует так называемую призму волочения (рис. 7.2, 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. 7.2, 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. 7.2, δ), 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:

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

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 ($F = bh$). Это допущение легло в основу определения сопротивления резанию для землеройных машин (табл. 7.2).

Таблица 7.2

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

Наименование грунта	Категор ия грунта	Плотност ь грунта ρ , т/м ³	Коэффицие нт разрыхлени я грунта k_p	Удельное сопротивление грунта резанию K_p , 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

Работы по определению сопротивления копанью грунта рабочими органами экскаваторов были проведены проф. Н.Г. Домбровским. Им предложена следующая формула для определения силы P_1 :

$$P_1 = P_p + P_t + P_{np} = K_p bh + P_2 \mu_1 + q k_n \varepsilon,$$

где P_p – сопротивление грунта резанию (табл. 7.2); P_t – сопротивление трения ковша о грунт; P_{np} – 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.

Значения составляющих сопротивления копанью см. табл. 7.3.

Таблица 7.3

Значения составляющих силы сопротивления копанью
(в процентах от всего сопротивления копанью)

Категория грунта	Ковш	P_p	P_t	P_{np}	Категория грунта	Ковш	P_p	P_t	P_{np}
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	28		Скрепера	53	15	32
	Прямой лопаты	63	31	6		Прямой лопаты	83	12	5

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 копанью.

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

$$P_1 = K_k F,$$

где $F = bh$ – площадь стружки в см^2 ; K_k – удельное сопротивление грунта копанью в $\text{кг}/\text{см}^2$ (можно перевести в МПа).

В результате экспериментальных работ Н.Г. Домбровским получены значения K_k (табл. 7.4) для машин с ковшовыми рабочими органами при работе их в различных грунтовых условиях.

Таблица 7.4

Значения удельного сопротивления копанью K_k в $\text{кг}/\text{см}^2$
(сохранена размерность эксперимента)

Грунт	Категория	Прямая лопата	Струг и 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 легкая, влажная и разрыхленная	II	0,6...1,3	1,0...1,9	0,95...1,8
Глина средняя или тяжелая разрыхленная, суглинок плотный	III	1,25...1,95	1,6...6	1,5...2,5
Глина тяжелая	IV	2,0...3,0	2,6...4,0	3,2...4,9

Величина нормальной составляющей сопротивления копанью P_2 для экскаваторов может определяться по формуле $P_2 = \psi \cdot P_1$, где $\psi = 0,2...0,6$ – 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 копанью P является геометрической суммой сил P_1 и P_2 :

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

Вычисление сопротивления копанью изложенным выше способом является приближенным, поскольку при этом не учитывается зависимость сопротивления копанью от соотношения размеров стружки b и h , угла резания δ , степени затупления режущей кромки и других факторов (табл. 7.5). Однако этот способ до настоящего времени находит широкое применение благодаря простоте и достаточной для практических расчетов точности результатов.

Таблица 7.5

Значения удельных сопротивлений копанью K_k для ковшовых рабочих органов экскаваторов

Категория грунта	Удельное сопротивление копанью 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 (рис. 7.3), которые могут выполняться отдельно или одновременно.

Режущая часть (кромка) рабочего органа, имеющая обычно форму клина, характеризуется следующими геометрическими параметрами (рис. 7.3, а); длиной режущей кромки b , углом заострения β , задним углом α , передним углом γ , углом резания $\delta = \beta + \alpha$ и толщиной стружки h . 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.

На рис. 7.3, б приведены и другие обозначения сил на кромке зуба (ножа) также часто встречающиеся в технической литературе.

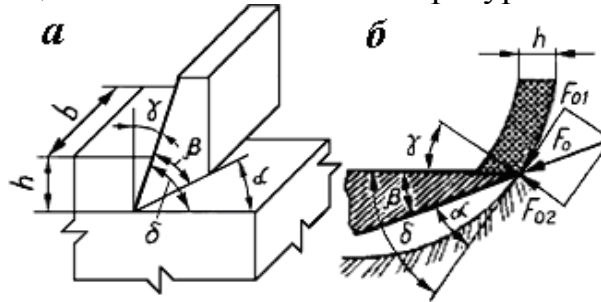


Рис. 7.3. Геометрия режущих элементов рабочих органов землеройных машин

7.2. Машины для подготовительных работ

Перед земляными работами часто необходимо проводить подготовительные работы: расчистку территории или полосы отвода от деревьев, кустарника, дернового покрова, пней, камней, тяжелые и мерзлые грунты необходимо предварительно разрыхлить. Для выполнения этих работ применяют специальные машины. Мелкие деревья и кустарники срезают кусторезами, а крупные деревья удаляются древовалами, корчевка пней и валунов выполняется корчевателями. Рыхление грунтов производится рыхлителями.

Кусторезы предназначены для расчистки заросших кустарником и мелколесьем площадей под застройку. Они представляют собой навесное оборудование на гусеничные тракторы тягового класса 10 и имеют гидравлическое управление. Основным рабочим органом кустореза (рис. 7.4, а) служит клинообразный отвал 2, со сменными гладкими или пилообразными ножами b в нижней части. Впереди отвала установлен носовой лист 1 для раскалывания пней и раздвигания сваленных деревьев. Отвал смонтирован на универсальной толкающей раме 5, шарнирно прикрепленной к ходовым тележкам трактора, и соединяется с ней сферической головкой. На раму могут быть навешены также сменные рабочие органы корчевателя и бульдозера. Подъем и опускание рамы с рабочим органом осуществляется двумя гидроцилиндрами 4, работающими от гидросистемы трактора. При движении кустореза вперед опущенный в рабочее положение отвал с ножами срезает кустарники и мелкие деревья, образуя за собой проход, равный ширине захвата отвала (до 3,6 м). Защитное ограждение 3 в виде стального каркаса предохраняет трактор от повреждений при падении срезаемых деревьев. Для периодической заточки ножей отвала используют переносную шлифовальную головку с приводом от трансмиссии трактора через гибкий длинный вал.

Производительность кусторезов с пассивным рабочим органом 11000...14000 м²/ч при средней скорости движения машин 3...4 км/ч.

Одиночные деревья на участках, подлежащих расчистке кусторезами, сваливают бульдозерами.

Для удаления деревьев со стволами диаметром более 20 см применяют цепные или дисковые пилы, а также древовалы. Дисковые пилы монтируются на гусеничные экскаваторы или тракторы повышенной проходимости для работы на заболоченных участках. Дисковая пила диаметром 1500...3000 мм устанавливается горизонтально в нижней части навесного оборудования. Привод осуществляется от механизмов, смонтированных на поворотной платформе. Дерево со стволом диаметром 24...26 см, срезанное вращающимся пильным диском, попадает на защитный диск над пилой и поддерживается захватами стрелы в вертикальном положении. Поворотная платформа, поворачиваясь, переносит рабочее оборудование со срезанным деревом вправо. Дерево укладывается сбоку от оси движения машины.

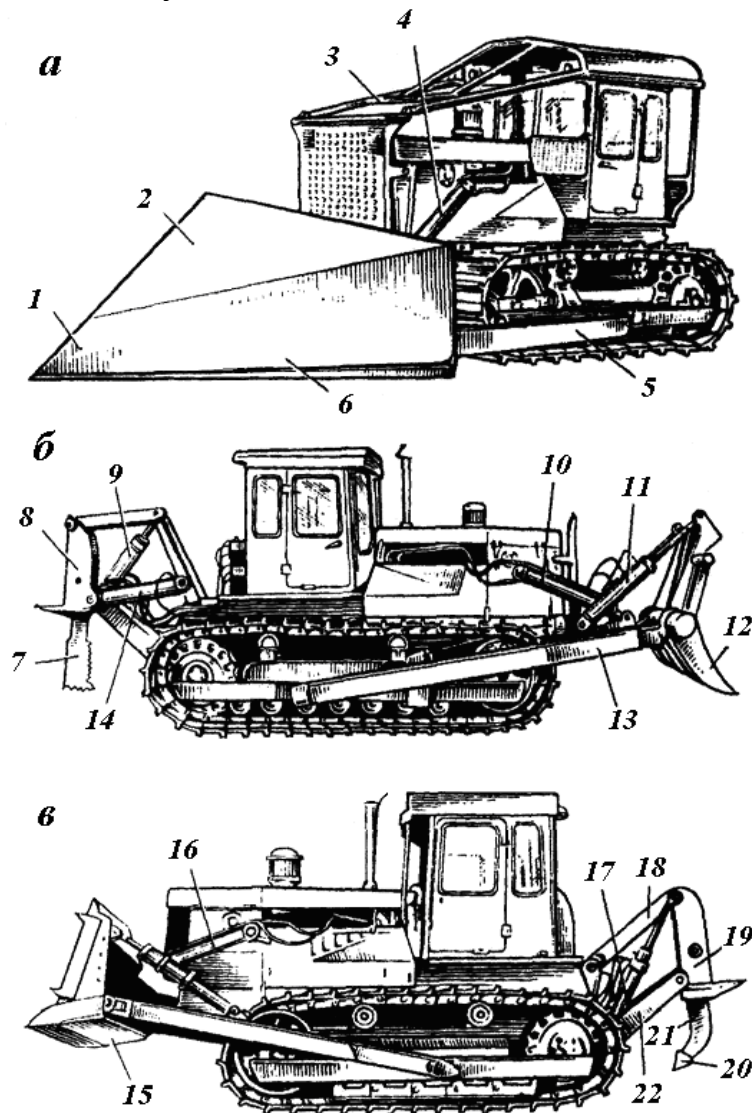


Рис. 7.4. Машины для подготовительных работ:
а – кусторез; б – корчеватель-собиратель; в – рыхлитель

Валка деревьев с корнями более целесообразна в теплое время года. Деревья толщиной до 30 см можно валить тракторами при помощи троса,

закрепленного одним концом на крюке трактора, а другим на стволе дерева. Очень толстые деревья валят при помощи трелевочной лебедки, установленной на заякоренном тракторе, и полиспада.

Для валки деревьев применяют также специальное оборудование, смонтированное на тракторе-древовале (рис. 7.5). Основная рама 1, изменяющая положение по высоте с помощью гидроцилиндров 2, оборудована корчевальными зубьями 3 и вынесенной вперед мощной рамой-упором 4. Упираясь в ствол на высоте 3 м, древовал валит дерево. Корчевальные зубья служат для поддевания и выкорчевки корней.

Корчеватели-собиратели применяют для извлечения (корчевания) из грунта камней массой до 3 т, пней диаметром до 0,45 м, корневых систем, сплошной корчевки кустарника и мелкокося, транспортирования на близкое расстояние толканием пней, камней, кустарника и поваленных деревьев, а также погрузки камней и крупных пней в транспортные средства. На рис. 7.4., б показан корчеватель-собиратель на базе гусеничного трактора класса 10 с передним и задним расположением навесных рабочих органов. Передний корчеватель имеет износостойкие сменные зубья 12, смонтированные на толкающей раме 13. Поворот зубьев относительно рамы в вертикальной плоскости и подъем-опускание рамы с зубьями осуществляются соответственно гидроцилиндрами 10 и 11. Процесс корчевания крупных камней, пней и корней деревьев производится путем заглубления под них зубьев корчевателя и одновременном поступательном движении машины вперед. Задний корчеватель 7 смонтирован на балке 8 подвески и меняет свое положение в вертикальной плоскости с помощью гидроцилиндров 9 и 14. Гидроцилиндры переднего и заднего корчевателей работают от гидросистемы трактора. Корчеватели-собиратели навешивают на гусеничные тракторы класса 3...35 мощностью 50...390 кВт. Часовая производительность при корчевании пней составляет до 45...55 шт., при уборке камней – до 15...20 м³, при сгребании срезанных деревьев, выкорчеванных пней и кустарника – до 2500...4000 м².

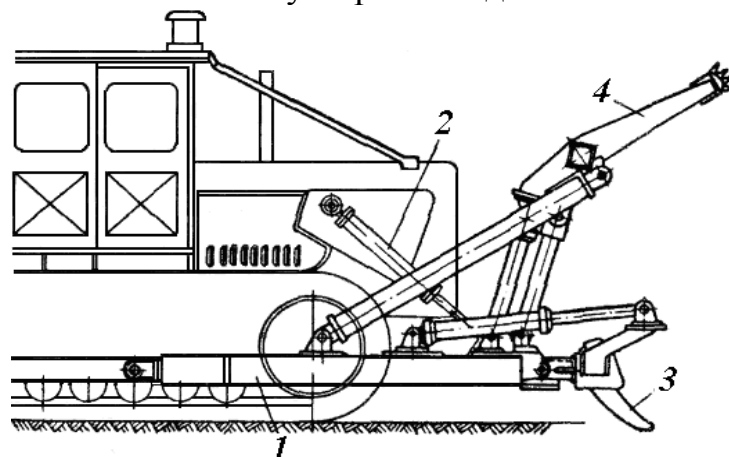


Рис. 7.5. Схема навески оборудования древовала на трактор

Рыхлители имеют одно- или трехзубое навесное рыхлительное оборудование заднего расположения с гидравлическим управлением. Рыхлительное оборудование навешивают на гусеничные бульдозеры с тягачами класса 10, 25, 35, 50 и 75 мощностью 118...636 кВт.

Главным параметром бульдозеров-рыхлителей является тяговый класс базового трактора. Индекс рыхлительного оборудования бульдозеров-рыхлителей включает две первые буквы ДП, за которыми следуют цифры порядкового номера модели и буквы, обозначающие очередную модернизацию (А; Б, В, ...) и северное (С, ХЛ) исполнение оборудования. Так, бульдозер-рыхлитель в северном исполнении на базе трактора Т-330 имеет индекс ДЗ-129АХЛ, а его рыхлительное оборудование в северном исполнении – ДП-29АХЛ. Крепление рыхлителей осуществляется к остову базового трактора или к корпусу его заднего моста.

Бульдозеры-рыхлители применяют для предварительного послойного рыхления и перемещения плотных каменистых, мерзлых и скальных грунтов при устройстве строительных площадок, рытье котлованов и широких траншей, а также для взламывания дорожных покрытий. Разрушение грунтов и пород происходит при поступательном движении машины и одновременном принудительном заглублении зубьев рабочего органа до заданной отметки. В процессе рыхления массив грунта разделяется на куски (глыбы) таких размеров, которые удобны для последующей их эффективной разработки, погрузки и транспортирования другими машинами.

Рыхление производят параллельными резами по двум технологическим схемам: без разворотов у края площадки с возвратом машины в исходное положение задним ходом (челночная схема) и с поворотом рыхлителя в конце каждого прохода (продольно-поворотная схема). Челночная схема наиболее рациональна при малых объемах работ в стесненных условиях, продольно-поворотная – на участках большой протяженности. Максимальные величины глубины и ширины захвата рыхления, рабочих скоростей движения и число зубьев рыхлителя определяются тяговым классом базовой машины. Наименьшая глубина рыхления за один проход должна на 20...30% превышать толщину стружки грунта, разрабатываемого землеройно-транспортными машинами, в комплексе с которыми работает рыхлитель. Рыхление высокопрочных грунтов осуществляется, как правило, одним зубом.

Рабочий орган рыхлителя состоит из несущей рамы, зубьев, подвески и гидроцилиндров управления. Зубья имеют сменные наконечники, лобовая поверхность которых защищена износостойкими пластинами. Для интенсификации процесса рыхления на зубья рыхлителей устанавливают уширители, которые позволяют за один проход разрушать большие объемы материала и выталкивать каменные глыбы на поверхность. Уширители обеспечивают более устойчивое движение базового трактора и работу рыхлителя, практически сплошное разрушение материала между соседними бороздами, снижение общего количества проходов.

Зубья выполняют неповоротными, жестко закрепленными в карманах рамы и поворотными в плане (на угол 10...15° в обе стороны) за счет их установки в специальных кронштейнах – флюгерах, прикрепляемых к раме шарнирно. Поворотные зубья способны обходить препятствия, встречающиеся в грунте. Подвеска рыхлителя к базовой машине – четырехзвенная (параллелограммная). Она обеспечивает постоянство угла рыхления зубьев

независимо от величины их заглубления, что позволяет при оптимальных значениях этого угла осуществлять процесс рыхления с пониженными энергозатратами, повысить производительность рыхлителя и уменьшить износ наконечников зубьев.

Бульдозер-рыхлитель на базе трактора класса 10 (рис. 7.4, в) имеет четырехзвенную подвеску рыхлителя с неповоротным зубом. Подвеска составлена из опорной рамы, жестко прикрепленной к базовому трактору, тяги 18, рабочей балки 19 и нижней рамы 22.

Балка имеет сменный зуб 21 с наконечником 20. Опускание, принудительное заглубление и фиксирование рыхлителя в определенном рабочем положении, а также подъем его при переводе в транспортное положение производятся двумя гидроцилиндрами 17.

Разрыхленный грунт перемещается бульдозерным оборудованием 15 с неповоротным отвалом. Бульдозер-рыхлитель может быть оборудован бульдозерным оборудованием с поворотным отвалом и универсальной рамой для навески корчевателя и кустореза, а также комплектом сменных уширителей. Гидроцилиндры рыхлителя 17 и бульдозера 16 работают от гидросистемы базовой машины. Рыхлители имеют наибольшую ширину захвата (при трех зубьях) 1480...2140 мм и рыхлят грунты высокой прочности на глубину 0,4... 1,2 м. Производительность навесных рыхлителей на грунтах IV...V категорий 60...150 м³/ч, средняя рабочая скорость движения 2,5...5 км/ч.

Эксплуатационная производительность навесного рыхлителя:

$$P_{\text{э}} = 3600V k_{\text{в}} / T_{\text{ц}} \text{ т/час,}$$

где V – объем грунта, разрыхляемого за цикл; $k_{\text{в}}$ – коэффициент использования машины по времени; $T_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла, с.

$$V = B h_{\text{ср}} l,$$

где B – средняя ширина полосы рыхления, зависящая от числа, шага и толщины зубьев, угла развала (15...60°) и коэффициента перекрытия (0,75...0,8) резцов, м; $h_{\text{ср}}$ – средняя глубина рыхления в данных грунтовых условиях, м; l – длина пути рыхления, м.

При челночной схеме работы рыхлителя

$$T_{\text{ц}} = (l/v_{\text{р}}) + (l/v_{\text{х}}) + t_{\text{с}} + t_{\text{о}},$$

где $v_{\text{р}}$ и $v_{\text{х}}$ – скорости движения машины соответственно при рыхлении и холостом (обратном) ходе, м/с; $t_{\text{с}}$ – время на переключение передачи ($t_{\text{с}} \approx 5$ с); $t_{\text{о}}$ – время на опускание рыхлителя ($t_{\text{о}} = 2...3$ с).

При разработке участка продольными проходами с разворотами на концах к времени цикла добавляется $t_{\text{р}}$ – продолжительность разворотов трактора в конце участка, а время холостого хода исключается.

Оборудование для открытого водоотлива. Для откачки дождевых, талых и грунтовых вод из траншей, котлованов, колодцев, а также мелких водоемов на строительных площадках, трассах строительства коммуникаций открытым способом применяют открытый водоотлив, осуществляемый с помощью насосов и насосных установок. Открытый водоотлив эффективен при малых скоростях притока грунтовых вод, когда этот способ не снижает несущей способности грунта под сооружением и обеспечивает устойчивость откосов траншей и котлованов. При открытом водоотливе наиболее часто

применяют диафрагмовые и самовсасывающие центробежные насосы, реже используют погружные насосы, опускаемые непосредственно в выемку с водой.

Диафрагмовый насос (рис. 7.6, а) состоит из корпуса 1 со всасывающим патрубком 7, крышки 4 с отводящим патрубком 3 и резиновой диафрагмы 6 с колпаком 5, которым от механического привода сообщаются возвратно-поступательные (колебательные) движения. При движении диафрагмы вверх в корпусе насоса, создается разрежение, за счет которого нагнетательный клапан 2 закрывается, а всасывающий 8 открывается, и происходит засасывание жидкости в полость корпуса насоса. При движении диафрагмы вниз вода вытесняется через открытый нагнетательный клапан 2 (клапан 8 закрыт) в отводящий патрубок 3, соединенный с отводящим шлангом. Насос с приводом монтируют на колесной тележке. В комплект насоса входит два резиноканевых шланга – всасывающий и отводящий. На свободном конце всасывающего шланга установлен сетчатый фильтр, предохраняющий насос от попадания в него посторонних частиц. Диафрагмовые насосы имеют сравнительно низкую производительность (до 30...45 м³/ч при высоте подъема до 5 м) и применяются для выполнения небольших объемов водоотливных работ.

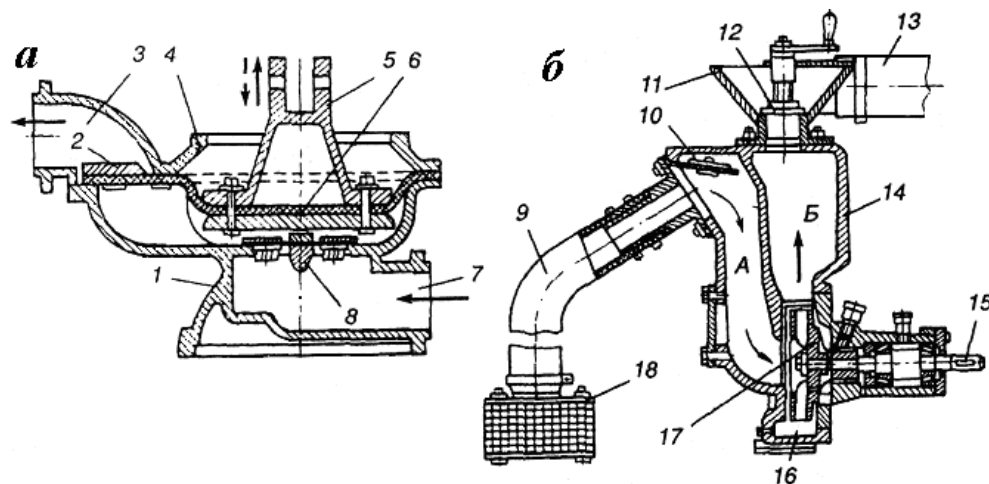


Рис. 7.6. Насосы:

а – диафрагменный; б – центробежный самовсасывающий

Значительно большую производительность (до 250...500 м³/ч) при высоте подъема до 4,5...6 м и манометрическом напоре до 0,12...0,2 МПа имеют центробежные насосы. Особенностью таких насосов является потребность в заливке их корпусов водой перед пуском в работу. Самовсасывающий центробежный насос (рис. 7.6, б) состоит из корпуса 14, рабочего колеса 17, всасывающего шланга 9 с фильтром 18, напорного шланга 13, заливной горловины 11 с быстродействующим запорным клапаном 12 и обратного клапана 10. Внутри корпуса насоса имеются два резервуара – всасывающий А и напорный Б, сообщающиеся между собой через спиральную камеру 16, в которой расположено рабочее колесо 17 с тремя лопастями специального профиля, закрепленное на приводном валу 15.

Перед пуском насоса в его корпус через горловину заливают воду, после чего включают привод насоса. С началом вращения рабочего колеса вода из резервуара А нагнетается в напорный резервуар Б. В результате разрежения,

создаваемого во резервуаре *A* (всасывающем), обратный клапан *10* открывается, и воздух из всасывающего шланга начинает поступать в корпус насоса. По мере создания необходимого разрежения во всасывающей магистрали (шланг *9* и резервуар *A*) последняя заполняется водой через фильтр *18*, самовсасывание насоса прекращается, и он переходит на нормальный режим работы по откачиванию воды.

Центробежные насосы приводятся в действие от электромотора или двигателя внутреннего сгорания через редуктор. Для быстрой доставки к месту откачки насосы монтируют на прицепных колесных тележках, автомобилях, гусеничных и колесных тракторах. Привод насосов самоходных установок осуществляется от вала отбора мощности базовой машины.

Оборудование для понижения уровня грунтовых вод. Для искусственного понижения уровня грунтовых вод при рытье траншей и котлованов и закрытой прокладке коммуникаций в песчаных и супесчаных водонасыщенных грунтах применяют иглофильтровые установки с погружаемыми в грунт вакуумными или эжекторными иглофильтрами. Иглофильтровые установки откачивают воду из вертикальных скважин, закладываемых по контуру осушаемой выемки, или строящегося подземного сооружения и располагаются на расстоянии до 1,5...2 м. Глубина погружения иглофильтров должна быть ниже отметки заложения сооружения на 1...2 м. Одним из основных средств водопонижения на глубину до 4...5 м являются вакуумные легкие иглофильтровые установки (ЛИУ). Водопонижение на большую глубину обеспечивается многоярусным расположением установок ЛИУ или установками с эжекторными иглофильтрами.

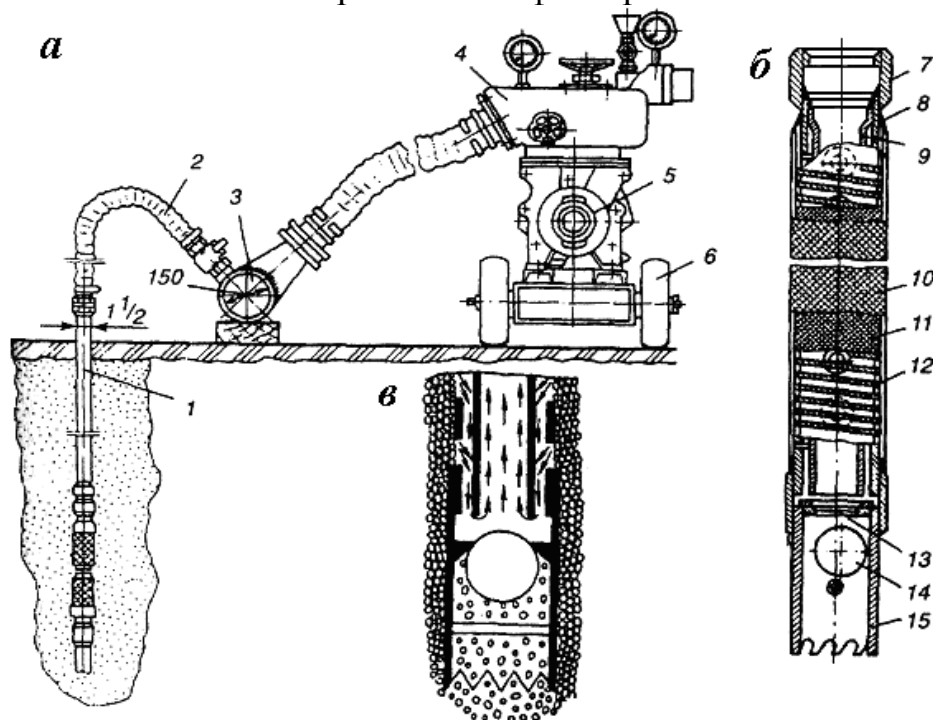


Рис. 7.7. Установка ЛИУ

Установка ЛИУ (рис. 7.7, *a*) состоит из иглофильтров *1*, всасывающего водосборного коллектора *3* и самовсасывающего или центробежного насоса *4* с электроприводом *5* на колесном ходу *6*. Установки ЛИУ выполнены по единой

принципиальной схеме, комплектуются однотипными иглофильтрами и отличаются одна от другой количеством иглофильтров, типом всасывающего насоса и размерами водосборного коллектора. Последний составлен из звеньев стальных труб, соединяемых муфтами. На каждом звене коллектора имеются патрубки, к которым с помощью гибких шлангов 2 подсоединяются погруженные в грунт иглофильтры (рис. 7.7, б).

Они служат для очистки и накопления во внутренней своей полости грунтовых вод и состоят из фильтрового звена с наконечником и глухой надфильтровой трубы, соединяемой с водосборным коллектором.

Фильтровое звено выполнено из перфорированной наружной 8 и сплошной внутренней 9 труб. На спиральную проволочную обмотку 12 наложены две сетки – латунная фильтрационная 11 и защитная бронзовая 10. Наружная труба соединяется с надфильтровой соединительной муфтой 7. Внутри наконечника 15 наружной трубы установлен шаровой клапан 14, плотно прилегающий к седлу 13 в торце внутренней трубы 9 за счет вакуума, создаваемого насосом при отсасывании воды из иглофильтра. Иглофильтры погружают в грунт гидравлическим способом (подмывом) или в предварительно пробуренные скважины. В первом случае клапан 14 (рис. 7.7, в) открывается под напором воды, подаваемой в фильтровое звено от насоса, и погружение иглофильтра происходит под собственной тяжестью при интенсивном размыве грунта впереди фильтрового звена. Размытый грунт поднимается по затрубному пространству на поверхность. Величина необходимого заглубления иглофильтра в грунт в зависимости от требуемого понижения уровня грунтовых вод обеспечивается применением надфильтровых труб длиной 3; 4 и 5 м. Общая длина иглофильтра достигает 8,5 м. Установки ЛИУ обеспечивают подачу 60... 140 м³/ч, высота всасывания до 7 м при полном напоре 0,24...0,36 МПа. Мощность привода установок 5,5...20 кВт.

Для понижения уровня грунтовых вод до 15...20 м применяют установки с эжекторными иглофильтрами. Подъем откачиваемой воды в эжекторных иглофильтрах (рис. 7.8) осуществляется с помощью водоструйных насосов-эжекторов, принцип действия которых основан на непосредственной передаче энергии от одного движущегося потока жидкости другому. Принцип работы следующий. Рабочая вода 2 от центробежного насоса подается под напором по пространству, образованному между внутренней водоподъемной 5 и наружной 6 трубами иглофильтра к входному окну 9 эжектора, состоящего из камеры смешения 8 и диффузора 7 с насадкой диаметром 7...18 мм. Выходя с большой скоростью из насадки в камеру смешения, вода создает в ней вакуум, под действием которого грунтовая вода 1 через фильтровое звено 10 (такое же, как у ЛИУ) подсасывается в камеру смешения и в смеси 4 с рабочей водой подается вверх по внутренней трубе иглофильтра в сливную трубу 3.

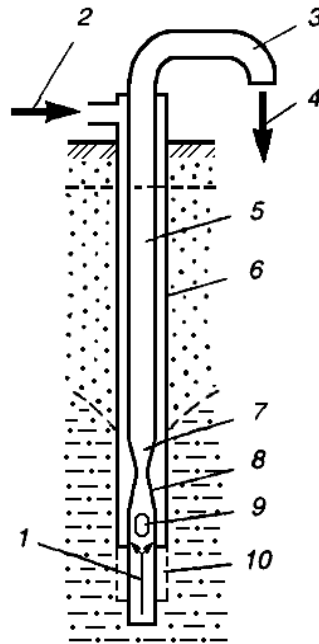


Рис. 7.8. Схема эжекторного иглофильтра

7.3. Землеройно-транспортные машины

Землеройно-транспортными машинами (ЗТМ) называют машины, выполняющие одновременно послойное отделение от массива и перемещение грунта к месту укладки или в отвал. К таким машинам относят бульдозеры, скреперы, автогрейдеры, грейдер-элеваторы. Эти машины широко используют в строительстве всех видов: промышленном, гражданском, гидротехническом, транспортном, прокладке коммуникаций и др. С их помощью возводят насыпи, делают выемки и котлованы, профилируют земляное полотно, планируют площади и выполняют работы многие других видов.

Рабочий процесс ЗТМ включает копание грунта, его транспортировку и выгрузку, выполняющиеся при движении машины. В зависимости от конструкции рабочих органов различают ковшовые (скреперы) и ножевые (бульдозеры, грейдеры и грейдер-элеваторы) землеройно-транспортные машины. Землеройно-транспортные машины выпускают самоходными, а также прицепными и полуприцепными.

Основные конструктивные схемы ножевых и ковшовых землеройно-транспортных машин показаны на рис. 7.9 с обозначением распределения сил тяжести по осям.

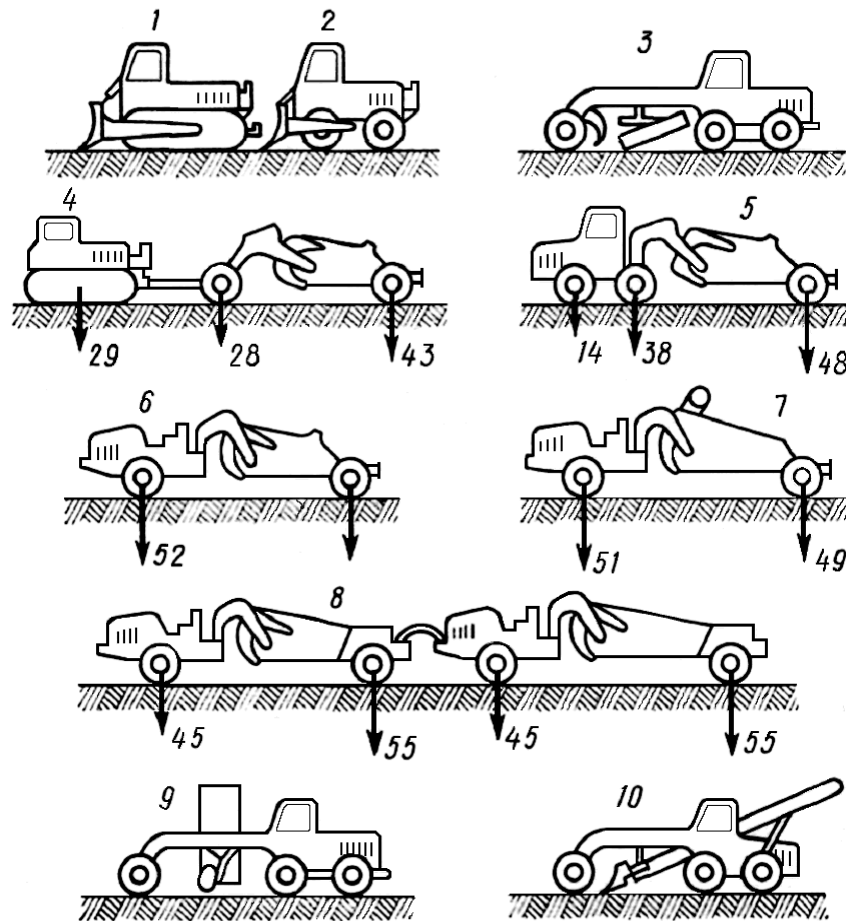


Рис. 7.9. Конструктивные схемы основных землеройно-транспортных машин:
 1, 2 – бульдозеры гусеничный и колесный; 3 – автогрейдер; 4 – прицепной скрепер; 5 – полуприцепной скрепер к двухосному тягачу; 6 – полуприцепной скрепер к одноосному тягачу; 7 – скрепер самозагружающийся с элеватором; 8 – скреперный поезд из двух скреперов; 9 – грейдер-элеватор с дисковым сферическим ножом; 10 – грейдер-элеватор с совковым режущим инструментом; цифрами 14, 28, 29, ... 55 обозначены нагрузки на оси (т) для различных вариантов агрегатирования машин

По мощности силовых установок землеройно-транспортные машины подразделяют на машины малой мощности (до 100 кВт), средней (100...200) и большой (свыше 200).

Эффективность работы ЗТМ в значительной степени зависит от рельефа местности, климатических условий, физико-механических свойств и состояния грунта (прочность, влажность, липкость, абразивность, сопротивление сдвигу, разрыхляемость). Тяжелые условия работы машин возникают также при часто чередующихся крутых подъемах и спусках, в случаях движения по рыхлым и переувлажненным грунтам, а также при копании сухих, сильно пылящих грунтов. Землеройно-транспортные машины должны быть простыми в обслуживании, ремонте и надежными в работе; обладать хорошей проходимостью по рыхлым и переувлажненным грунтам и пескам, иметь высокий коэффициент сцепления двигателей с грунтом, а также достаточную устойчивость как в продольном, так и в поперечном направлении при движении по косогорам. Все механизмы и кабину необходимо надежно защищать от проникания пыли. На рабочих органах машин нужно предусматривать устройства для очистки их от налипающего грунта. Эти машины должны иметь хорошую проходимость.

ЗТМ отличаются высокой маневренностью и мобильностью, простотой конструкции и обслуживания, включая подготовку к работе. Непрерывность их цикла обеспечивается тем, что в одном агрегате может совмещаться землеройное, транспортное и планирующее оборудование. Благодаря этому землеройно-транспортными машинами в комплексе можно выполнять большинство основных и вспомогательных земляных работ во всех отраслях строительства.

Бульдозеры предназначены для послойной разработки грунта I..IV категорий и его перемещения при возведении и предварительном профилировании грунтовых насыпей; разравнивании грунта, отсыпанного в бурты и валы; чернового выравнивания и планировки поверхностей; копании траншей под фундаменты и коммуникации. Их используют для разработки выемок и котлованов, нарезки террас на склонах, засыпки рвов, ям, траншей, котлованов и пазух фундаментов зданий, а также для расчистки территорий от снега, камней, кустарника, пней, мелких деревьев, строительного мусора, уплотнения бытовых отходов на свалках и т.п. Бульдозеры со специальным оборудованием используются для толкания скреперов при их загрузке.

Бульдозерное навесное оборудование на базовый гусеничный (рис. 7.10) или пневмоколесный трактор (двухосный колесный тягач), включает отвал с ножами, толкающее устройство в виде брусьев или рамы и систему управления отвалом. Тягачи современных бульдозеров оснащаются дизельным двигателем с увеличенным запасом мощности и крутящего момента, механической или гидромеханической (динамической или объемной) ходовой трансмиссией с коробкой переключения передач под нагрузкой и гидросистемой управления бульдозерным отвалом. Последняя позволяет заглублять и выглублять отвал, переводить его в плавающее положение, перекашивать в поперечной плоскости, изменять угол резания, а в бульдозерах с поворотным отвалом – поворачивать его в плане на угол до 25° в обе стороны (рис. 7.11). Современные бульдозеры являются конструктивно подобными машинами, базовые тракторы и навесное оборудование которых унифицированы. Главный параметр бульдозеров – тяговый класс базового трактора (тягача).

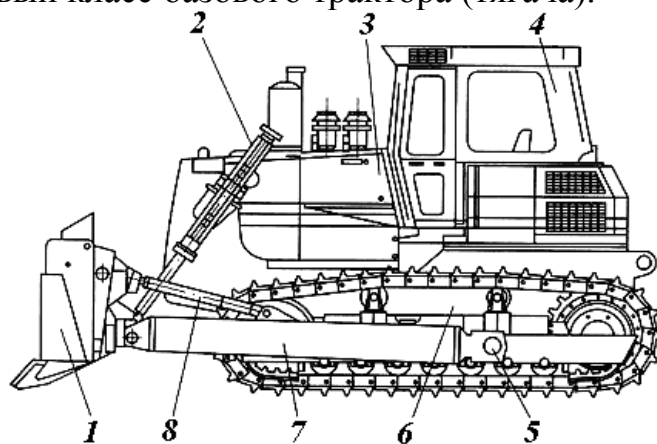


Рис. 7.10. Гусеничный бульдозер:

- 1 – отвал; 2 – гидроцилиндры подъема/опускания отвала; 3 – моторный отсек;
 4 – кабина машиниста; 5 – упряжной шарнир; 6 – гусеничная тележка;
 7 – толкающий брус; 8 – винтовой подкос

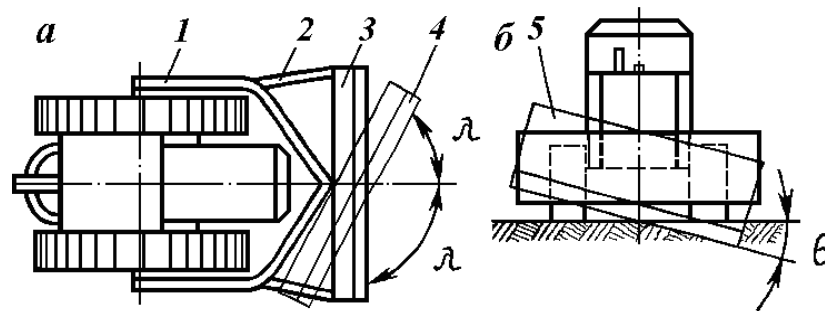


Рис. 7.11. Схема установки отвала бульдозера:

a – поворот отвала в плане; *б* – поворот отвала в вертикальной плоскости;
 1 – толкающая рама; 2 – боковой толкатель отвала; 3 – отвал; 4 – отвал, повернутый в плане; 5 – отвал, повернутый в вертикальной плоскости

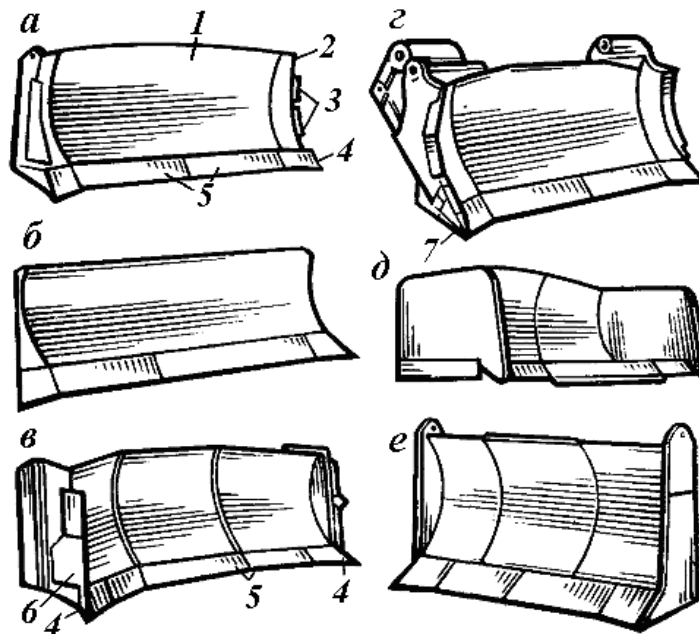


Рис. 7.12. Формы отвалов бульдозера:

a – прямой; *б* – универсальный; *в* – сферический; *г* – с боковыми рыхлящими зубьями;
д – совковый для уборки; *е* – короткий толкающий; 1 – лобовой лист вместе с козырьком; 2 – боковые щитки;
 3 – боковые ножи; 4 – угловые ножи; 5 – средние ножи; 6 – открылки; 7 – выдвижные зубья

Универсальный отвал (рис. 7.12, *б*) используют для планировочных работ в грунтах с нарушенной структурой. *Сферический отвал* (рис. 7.12, *в*) применяют для разработки мягких и средней крепости грунтов. Изогнутая в плане форма отвала предусмотрена для косо́го резания грунтов, при котором уменьшается сопротивление резанию и можно увеличить на 10...12% длину отвала. За счет выступающих вперед концов отвала объем перемещаемого грунта увеличивается на 20...25% по сравнению с прямым отвалом. *Отвал с рыхлящими боковыми зубьями* (рис. 7.12, *г*) используют для разработки крепких каменистых грунтов бульдозерами большой мощности. Зубья выдвигаются гидроцилиндрами ниже ножей на 20...30 см. *Совковый отвал* (рис. 7.12, *д*) имеет боковые щитки, снижающие потери грунта при перемещении и выступающую вперед часть ножа для лучшего врезания в грунт. Применяют его для разработки малосвязных грунтов в случае перемещении их на большие расстояния. Ширину неповоротного отвала выбирают в 2,8...3,0 раза больше его высоты. Ширина поворотного отвала на 30...35% больше неповоротного. Вместе с тем ширина отвала должна превышать ширину базовой машины не

менее чем на 100 мм для обеспечения возможности ее движения в траншее. *Короткие прямые отвалы* (рис. 7.12, е) снабжают амортизаторами, предназначают для бульдозеров-толкателей, толкающих при работе землеройно-транспортные машины для получения большего тягового усилия. Толкающие брусья таких отвалов устанавливают с внутренней стороны гусеничных тележек.

Кроме указанных типов отвалов внедряют в производство дополнительные виды сменного рабочего оборудования для отделки откосов насыпей, рыхления грунта, удаления кустарника и др. Использование их значительно повышает универсальность бульдозеров.

В зависимости от условий работы, мощности и типа тягача гусеничные бульдозеры работают на скоростях 2,4...6,0 км/ч, на колесных тягачах – 3,5...8,0, а перемещают грунты соответственно на скоростях 4...8 и 6...12 км/ч (холостой ход – 10...12 и 20...25 км/ч).

Преимущественное распространение получили гусеничные бульдозеры, обладающие высокими тяговыми усилиями и проходимостью. Чем выше тяговый класс машины, тем больший объем земляных работ она способна выполнять и разрабатывать более прочные грунты.

При копании режущая часть отвала заглубляется в грунт и бульдозер одновременно движется вперед. Максимально возможный объем призмы волочения современные бульдозеры набирают на участке длиной 6...10 м. Экономически целесообразная дальность перемещения грунта не превышает 60...80 м для гусеничных и 100...140 м для пневмоколесных машин. Вырезаемый из забоя грунт накапливается перед отвалом, формируя призму грунта, которую называют призмой волочения. После этого отвал выглубляют и бульдозер перемещает грунт к месту укладки. Далее бульдозер разравнивает призму грунта несколько приподнятым предварительно отвалом. Разравнивать грунт можно передним и задним ходом машины. При транспортировании грунта часть его теряется. Потери, зависящие от дальности перемещения, могут достигать до 30% и более от объема призмы волочения.

Производительность бульдозера:

$$П_э = 3600q_{пр} k_в / t_ц k_p,$$

где $q_{пр}$ – объем призмы волочения; $k_в$ – коэффициент использования машины по времени; $t_ц$ – время цикла; k_p – коэффициент разрыхления грунта.

Объем призмы волочения зависит от геометрических размеров отвала и свойств грунта:

$$q_{пр} = F_{пр} B_{от} / k_{пр}; \quad k_{пр} = \operatorname{tg} \delta \cdot k_p;$$

(для песка $k_{пр} = 1,0 \dots 1,2$; для суглинка $k_{пр} = 1,2 \dots 1,4$; для глины $k_{пр} = 1,2 \dots 1,3$).

$$F_{пр} = (H_{от} - h)l / 2 = (H_{от} - h)^2 / 2 \operatorname{tg} \delta,$$

где $F_{пр}$ – площадь поперечного сечения призмы волочения; $B_{от}$ – длина отвала; $H_{от}$ – высота отвала; h – толщина срезаемого слоя грунта; l – длина (по оси бульдозера) призмы волочения; δ – угол естественного откоса грунта (град).

Продолжительность работы машины за цикл

$$t_{\text{ц}} = \frac{L_{\text{р}}}{v_{\text{к}}} + \frac{L_{\text{пер}}}{v_{\text{п}}} + \frac{L_{\text{р}} + L_{\text{пер}}}{v_{\text{х}}} + 2t_{\text{пов}} + t_{\text{п.п}} + t_{\text{о.п}},$$

где $L_{\text{р}}$ и $L_{\text{пер}}$ – длина путей резания и перемещения грунта; $v_{\text{к}}$, $v_{\text{п}}$ и $v_{\text{х}}$ – скорости копания и перемещения грунта, холостая скорость; $t_{\text{пов}}$, $t_{\text{п.п}}$, $t_{\text{о.п}}$ – время разворота (10...15 с), переключения передач (6...8 с), опускания и подъема отвала за один цикл (4...5 с).

На планировочных работах производительность бульдозера

$$П_{\text{э}} = \frac{3600L_{\text{пл}}(B_{\text{от}} \sin \lambda - 0,5)k_{\text{в}}}{n(L_{\text{пл}} / v_{\text{раб}} + t_{\text{пов}})},$$

где n – число проходов по одному месту.

При небольшом пути возврат может осуществляться задним ходом без разворота.

Скрепер предназначен для послойной разработки грунта, транспортирования и послойной укладки его в земляное сооружение или отвал с разравниванием. При движении по свежесыпанному слою грунта скрепер одновременно частично уплотняет его. Скреперы используют в дорожном, промышленном и гидротехническом строительстве для устройства насыпей из боковых резервов, выемок с перемещением грунта в насыпь, возведения плотин, отрывки котлованов, на вскрышных, мелиоративных и ирригационных работах, в карьерах, подготавливаемых для добычи каменных материалов, и на других земляных работах при послойной разработке грунта. Скреперы могут работать на самых разнообразных грунтах, кроме заболоченных. На влажных глинах и черноземах грунты налипают на стенки ковша скрепера и забивают его. Сыпучий песок также плохо заполняет ковш и плохо выгружается из него. Лучше всего скреперы работают на непереувлажненных супесях и суглинках, т.к. эти грунты хорошо заполняют ковш, т.е. сверх геометрической или номинальной емкости. Нельзя применять скреперы на грунтах, содержащих крупные камни. Очень плотные грунты требуют предварительного рыхления. Скреперами можно разрабатывать грунт до IV категории включительно. Для повышения эффективности работы скреперов с грунтами III...IV категорий их предварительно разрыхляют.

При работе скрепера на тяжелых грунтах сила тяги одного трактора или одноосного колесного тягача может оказаться недостаточной для срезания стружки и наполнения ковша. В таких случаях в качестве толкача применяются гусеничный трактор или двухосный колесный тягач, которые оборудуются толкающим приспособлением. Толкач упирается этим приспособлением в задний буфер скрепера и вместе с тягачом создает необходимое для наполнения ковша скрепера тяговое усилие. Используется поочередное заполнение двух скреперов, работающих в сцепке цугом, когда грунт набирается скреперами по очереди с использованием силы тяги обеих машин (рис. 7.9, 8). Скребокковые питатели и элеваторы повышают степень наполнения ковша скрепера и дают более равномерную нагрузку скреперу и уменьшают потребную силу тяги.

Вследствие малой скорости движения гусеничных тракторов целесообразно применение прицепных скреперов для перемещения грунта на расстояние от 100 до 300 м. При дальности транспортирования грунта менее

100 м целесообразнее использовать бульдозеры, а при дальности перемещения грунта от 300 до 5000 м более эффективным является применение самоходных скреперов, у которых транспортные скорости примерно в 2..3 раза выше, чем у гусеничных машин.

Скреперы классифицируют по следующим признакам:

по геометрической емкости ковша: 1,5; 3,0; 6,0; 10,0; 15,0; 25 м³;

по способу передвижения: прицепные, полуприцепные, самоходные;

по способу разгрузки: со свободной, полупринудительной и принудительной разгрузкой (рис. 7.13).

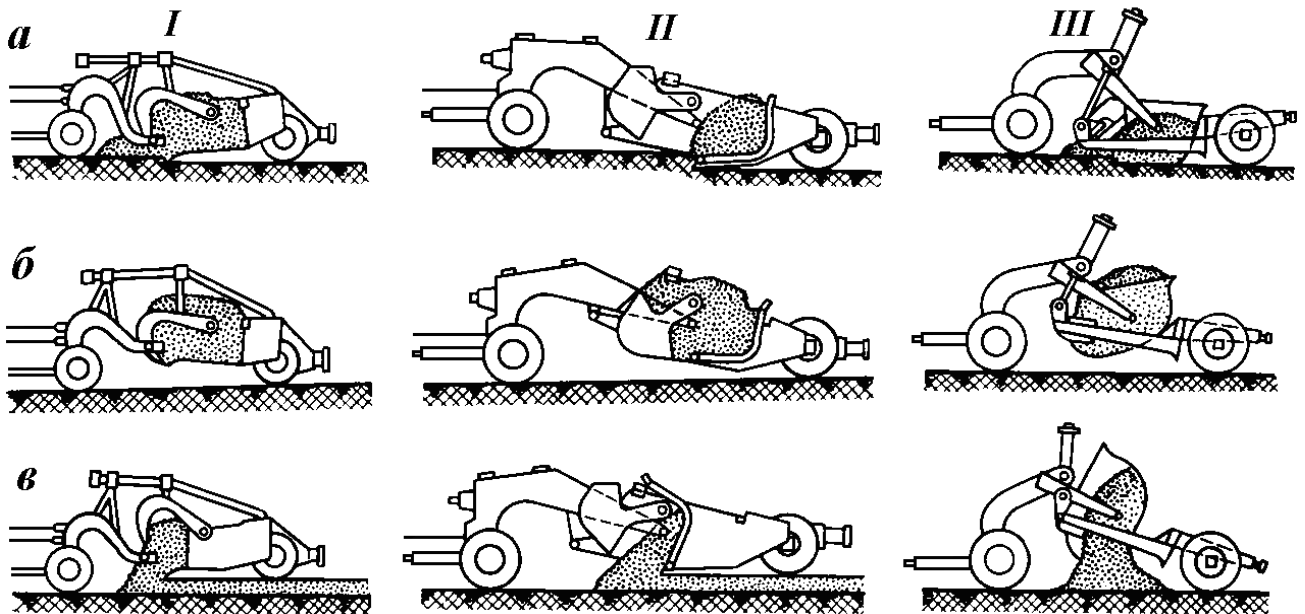


Рис. 7.13. Схемы устройства и работы скреперов:

I – скрепер с принудительной разгрузкой; *II* – скрепер с полупринудительной разгрузкой; *III* – скрепер со свободной разгрузкой; *а* – загрузка; *б* – транспортное положение; *в* – разгрузка

Свободная разгрузка не обеспечивает хорошего опорожнения ковша при липких и влажных грунтах и применяется только в машинах малой емкости. Самой надежной, хотя и несколько более энергоемкой, является принудительная разгрузка.

Гидравлическое управление у скрепера, так же как и у бульдозера, позволяет принудительно заглублять нож в грунт, что уменьшает длину пути загрузки скрепера. У самоходных скреперов с дизель-электрической силовой установкой целесообразнее применять индивидуальные электродвигатели.

Схема самоходного скрепера на базе одноосного тягача с одноосным ковшовым прицепом и с принудительной разгрузкой показана на рис. 7.14. Рабочим органом машины является ковш 9. Боковым стенкам и днищу ковша для усиления жесткости обычно придают коробчатую форму. Передняя балка обеспечивает жесткость всей конструкции, к ней присоединяют гидроцилиндры подъема и опускания ковша. Стенки ковша скошены для уменьшения налипания грунта. В плане ковш чаще всего несколько сужается назад (на 2...3°). Все скреперы снабжают буферами 12 – пространственными фермами коробчатого сечения, на которые воздействуют толкачи. К балкам фермы приваривают кронштейны для крепления оси задних колес. В буферах

устанавливают направляющие балки, по которым на роликах передвигается задняя стенка. Ножи ковша изготавливают составными, что обеспечивает смену только одной части при затуплении и поломке. Режущую часть ножа наплавляют твердыми сплавами. Для уменьшения сопротивления при разработке тяжелых грунтов ковши снабжают зубьями.

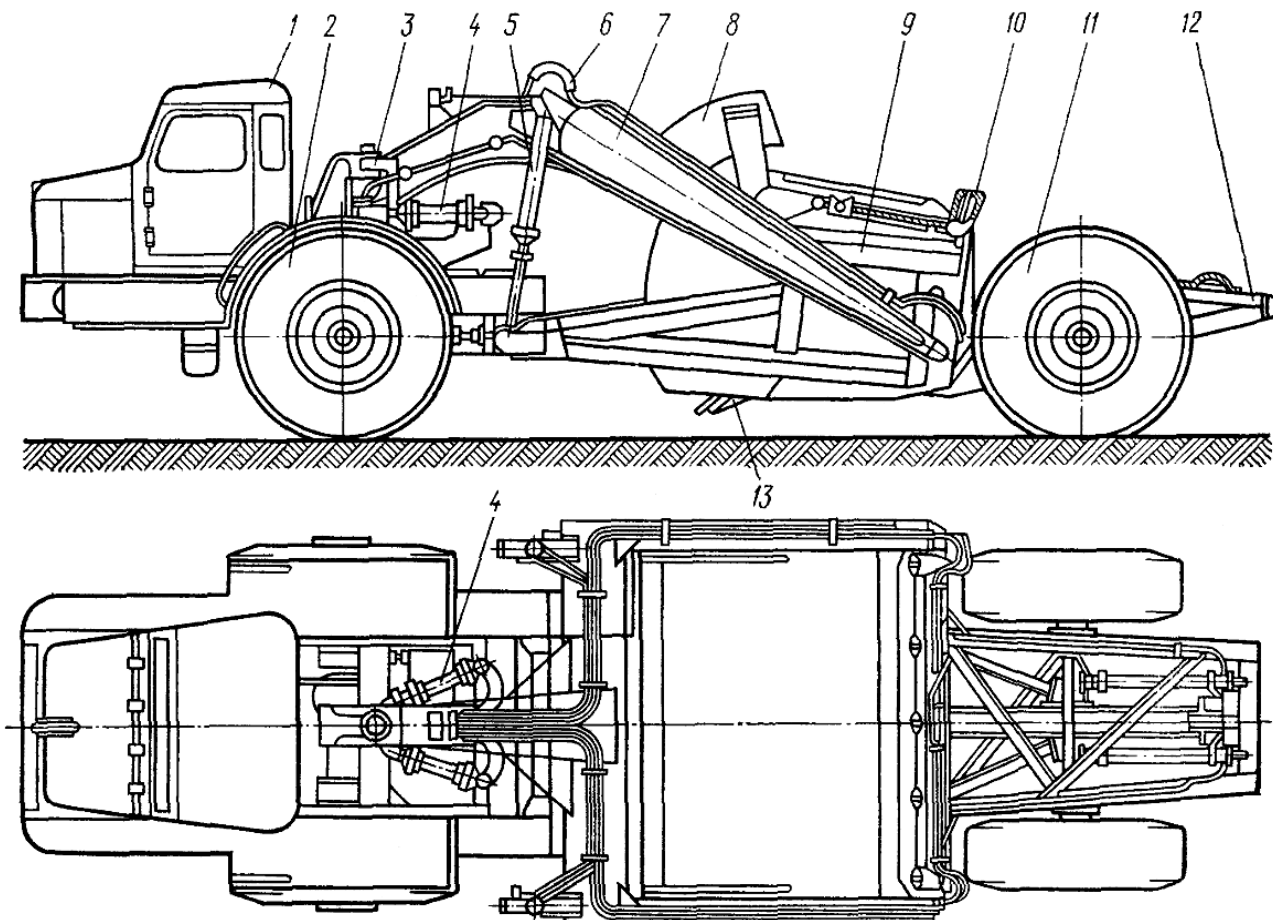


Рис. 7.14. Конструктивная схема полуприцепного скрепера:

1 – тягач; 2 – ведущие колеса; 3 – сцепное устройство; 4 – гидроцилиндры поворота; 5 – гидроцилиндр подъема ковша; 6 – гидросистема; 7 – передок; 8 – заслонка; 9 – ковш и задняя рама; 10 – задняя стенка; 11 – ведомые колеса; 12 – буферное устройство; 13 – ножи

Заслонка ковша предназначена для удержания в нем грунта. Она также создает условия для наиболее интенсивного поступления грунта в ковш при наборе. Форма заслонки влияет на образование призмы волочения, и от нее зависит место расположения ножа скрепера. Ковш заполняется грунтом лучше, а призма волочения получается меньшей при заслонке с более выпуклой стенкой. В современных скреперах применяют заслонки с наружным и внутренним креплением рычагов к ковшу. В последнем случае можно уменьшить габаритную ширину скрепера на 30...40 см. Работой заслонок управляют с помощью гидроцилиндров. Стенка перемещается внутри ковша, выталкивая из него грунт при разгрузке. Для передвижения и центрирования на задней стенке имеются ролики. Выдвигают заднюю стенку гидроцилиндрами.

Тяговая рама скрепера 7 (рис. 7.14), предназначенная для соединения ковша с тягачом, состоит из хобота, который соединен с рамой седельного устройства тягача, трубчатой поперечной балки и упряжных тяг, охватывающих ковш и соединенных с ним шарнирами. Ковш поднимают два

гидроцилиндра, укрепленные в кронштейнах хобота. Штоки цилиндров прикреплены шарнирно в передней части боковых стенок ковша.

Производительность скрепера

$$П_3 = 3600 q_k k_b k_n / (t_{\text{ц}} k_p),$$

где q_k – объем ковша; k_b – коэффициент использования машины по времени; k_n – коэффициент наполнения; $t_{\text{ц}}$ – время цикла; k_p – коэффициент разрыхления грунта.

При этом

$$t_{\text{ц}} = \frac{L_p}{v_k} + \frac{L_{\text{пер}}}{v_{\text{тр}}} + \frac{L_y}{v_y} + \frac{L_p + L_{\text{пер}} + L_y}{v_x} + 2t_{\text{пов}} + t_{\text{п.п}} + t_{\text{оп}},$$

где L_p , $L_{\text{пер}}$ и L_y – длина путей наполнения ковша и перемещения грунта, а так же выгрузки (уплотнения); v_k , $v_{\text{тр}}$, v_y и v_x – скорости копания, перемещения выгрузки грунта и холостая скорость; $t_{\text{пов}}$, $t_{\text{п.п}}$, $t_{\text{оп}}$ – время поворота (15...20 с), переключения передач (6...8 с), операций с ковшом (7...10 с).

Коэффициенты наполнения ковша скрепера зависят от грунта. При работе в сухом рыхлом песке их принимают равными 0,5...0,7 без толкача и 0,8...1,0 с толкачом, при работе в супеси и среднем суглинке соответственно 0,8...0,9 и 1,0...1,2, в тяжелом суглинке и глине – от 0,6...0,8 до 1,0...1,2.

Длина пути наполнения ковша

$$L_p = q_k k_n k_{\text{п}} / (0,7 B_n h k_p),$$

где 0,7 – коэффициент, учитывающий неравномерность стружки; $k_{\text{п}}$ – коэффициент потери грунта при образовании призмы волочения и боковых валиков; ($k_{\text{п}} = 1,2...1,6$); B_n – ширина режущих кромок ножей; h – толщина стружки.

Автогрейдеры (рис.7.15) предназначены в основном для производства планировочных работ и профилировки земляного полотна при строительстве автомобильных и железных дорог. Рабочим органом машины является отвал. Изменяют положение отвала в горизонтальной плоскости вращением поворотного круга. Отвал можно также наклонять и выносить в стороны для профилирования откосов при работе на косогорах. Передние колеса автогрейдера могут наклоняться относительно своей оси, что облегчает работу машины на косогорах. Задние мосты машины подвешены к основной раме посредством опорных балансиров и реактивных штанг, передний мост – посредством шкворня, обеспечивающего поворот переднего моста в вертикальной плоскости. Наличие шкворня и балансиров позволяет автогрейдеру плавно передвигаться по неровной местности.

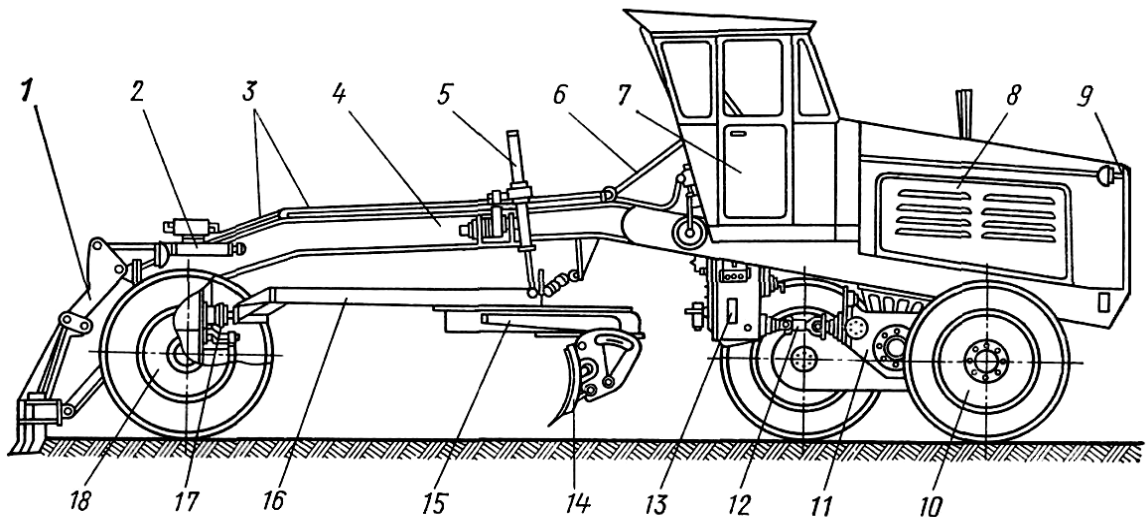


Рис. 7.15. Конструктивная схема автогрейдера:

1 – рыхлитель; 2, 5 – гидроцилиндры; 3, 12 – карданные валы; 4 – основная рама; 6 – вал рулевого колеса; 7 – кабина; 8 – двигатель; 9 – радиатор; 10 – задний мост; 11 – сцепление; 13 – коробка перемены передач; 14 – отвал; 15 – поворотный круг; 16 – рама поворотного круга; 17 – цапфа переднего моста; 18 – передний мост

Планировка поверхности разрабатываемой площади или профилировка дорожного полотна выполняется за несколько проходов с различными установками отвала и состоит из операций вырезания грунта и перемещения его вдоль отвала при движении автогрейдера. Для расширения области применения и увеличения времени использования машины в течение года автогрейдеры снабжают сменным рабочим оборудованием различного назначения: снегоочистителями плужным и роторным, грейдер-элеватором, дорожной фрезой, распределителем цемента. Дополнительным рабочим оборудованием автогрейдера является бульдозерное или рыхлитель.

В качестве силовых установок на автогрейдерах используют двигатели внутреннего сгорания. В узел трансмиссии входят многоступенчатая коробка перемены передач, раздаточная коробка, демультпликатор, главная передача и балансирные редукторы, что обеспечивает до десяти рабочих и транспортных скоростей. Выпускают автогрейдеры с гидромеханической трансмиссией, а также машины с гидромотор-колесами. Основные рамы автогрейдеров изготавливаются однобалочными трубчатого или коробчатого сечения. Ось рамы совпадает с продольной осью машины, что дает возможность в широких пределах изменять углы установки отвала в вертикальной плоскости и облегчает операцию по его выносу в стороны.

Основными параметрами автогрейдера являются общая массы машины, мощность двигателя N , сила тяги P_T , рабочие $v_{\text{раб}}$ и транспортные $v_{\text{тр}}$ скорости, колесная схема, а также максимальное давление P_n , которое передается через нож на грунт от массы машины.

Сцепной $G_{\text{сц}}$ и общий вес автогрейдера G_a связаны зависимостью:

$$G_{\text{сц}} = G_a \xi,$$

где коэффициент $\xi = 1$ для колесных формул $3 \times 3 \times 3$, $1 \times 3 \times 3$, $2 \times 2 \times 2$ и $\xi = 0,70 \dots 0,75$ при формуле $1 \times 2 \times 3$.

Максимальная сила тяги грейдера определяется по сцепному весу

$$P_T = G_{\text{сц}} \varphi_{\text{сц}} = G_a \xi \varphi_{\text{сц}},$$

где $\varphi_{\text{сц}}$ – коэффициент сцепления.

Тяговое усилие силу определяет силу, затрачиваемую на срезание грунта, что выражается равенством $\xi\varphi_{\text{сц}}G_a = k_{\text{рез}}F_c$. По этому уравнению можно определить то сечение стружки F_c , которое можно снять при известной массе машины. При профилировочных работах ввиду больших площадей сечения корыта (кювета) их вырезают за n проходов. Если F_k – общая площадь поперечного сечения корыта (кювета), то

$$F_c n = k_c F_k; \quad n = k_c F_k / F_c,$$

где k_c – коэффициент, учитывающий неравномерность сечения стружки при отдельных проходах; $k_c = 1,3$.

Отсюда можно определить оптимальную массу машины:

$$G_a = k_c F_k k_{\text{рез}} / (\xi\varphi_{\text{сц}} n).$$

Опыт использования автогрейдеров показывает, что число проходов для вырезания корыта обычно составляет 6...8. При расчете сил сопротивления движению автогрейдера следует исходить из наиболее тяжелых условий работы – копания и перемещения грунта.

Сила сопротивления копанию грунта автогрейдером

$$P_{\text{коп}} = P_{\text{рез}} + P_{\text{тр1}} + P'_{\text{пр}} + P'_{\text{тр2}} + P''_{\text{тр2}},$$

где сила сопротивления грунта резанию $P_{\text{рез}} = k_{\text{рез}}F_c$.

Если стружка грунта вырезается половиной длины отвала, то

$$F_c = \frac{L_{\text{от}}^2 h \sin \lambda}{4\sqrt{L_{\text{от}}^2 - 4h^2}},$$

где λ – угол между отвалом и осью машины.

Сила на преодоление трения ножа о грунт $P_{\text{тр1}} = \mu_1 P_n$.

Сила на перемещение призмы волочения $P'_{\text{пр}} = \mu_2 G_{\text{пр}} \sin \lambda$.

Приближенное значение веса призмы волочения $G_{\text{пр}}$, можно определить по уравнению

$$G_{\text{пр}} = \rho_{\Gamma} L_{\text{отв}} g (H_{\text{отв}} - 0,25h)^2 / 2k_p \operatorname{tg} \delta,$$

где δ – угол естественного откоса грунта (град).

Сила трения грунта при движении его вверх по отвалу

$$P'_{\text{тр2}} = \mu_1 G_{\text{пр}} \cos^2 \alpha,$$

где α – угол резания (между отвалом в нижней части и грунтом), $\alpha = 30...80^\circ$, обычно принимают $\alpha = 30...45^\circ$.

Сила трения грунта при перемещении его вдоль по отвалу

$$P'_{\text{тр2}} = \mu_1 \mu_2 G_{\text{пр}} \cos \lambda.$$

Развиваемое автогрейдером тяговое усилие должно быть больше возникающих при работе машины сопротивлений, к которым относятся силы резания, перемещения грунта по отвалу и грунта по грунту, сопротивления перемещения автогрейдера по грунту.

Если работа производится на участке протяженностью L_p , км, то объем грунта, срезанного автогрейдером за один проход туда и обратно, составит

$q = 2 \cdot 1000 L_p F_c$, а время цикла $t_{\text{ц}} = t_{\text{рез}} + t_{\text{пер}} + 2t_{\text{пов}}$, где $t_{\text{пов}}$ – время разворота автогрейдера в конце участка. Время вырезания грунта будет равно $t_{\text{рез}} = 2L_p/v_k$, а время перемещения грунта $t_{\text{пер}} = 2L_{\text{пер}}/v_{\text{тр}}$, где $v_k = 0,83 \dots 1,10$ м/с, $v_{\text{тр}} = 1,6 \dots 2,2$ м/с.

Производительность автогрейдера при профилировании дорожного полотна можно определить по формуле

$$P_{\text{э}} = L_{\text{п}} k_{\text{в}} / t_{\text{п}},$$

где $t_{\text{п}}$ – время профилирования, ч; $L_{\text{п}}$ – длина участка профилирования, км;

$$t_{\text{п}} = L_{\text{п}} n / v_{\text{п}} + t_{\text{пов}} (n - 1) / 60,$$

где n – число проходов, необходимое для профилирования.

Анализ использования автогрейдеров на строительстве автомобильных дорог показал, что на создание заданного профиля земляного полотна требуется от 10 до 16 проходов.

Передние управляемые колеса могут наклоняться вправо или влево от вертикали на угол до 20° , что улучшает курсовую устойчивость машины при боковых и внецентровых нагрузках. Наклон передних колес также осуществляется гидроцилиндрами. На ведущие передние колеса крутящий момент с переднего моста передается с помощью шарниров равных угловых скоростей (в случае механической и гидромеханической трансмиссии), обеспечивающих поворот и наклон колес. Передний мост, а с ним и передние колеса могут отклоняться относительно рамы автогрейдера до 35° , что выравнивает их давление на опорную поверхность и силу тяги, развиваемую ведущими колесами.

Качество планировочных работ, выполняемых автогрейдером, обусловлено длиной колесной базы, что сопряжено с плохой маневренностью машины из-за большого радиуса поворота. Поэтому значительная часть современного парка автогрейдеров изготавливается с шарнирно-сочлененной рамой, а некоторые модели машин выпускаются в двух вариантах: с моноблочной и шарнирно-сочлененной рамой. Шарнирно сочлененная рама улучшает маневренность машин и позволяет расширить перечень технологических приемов работой с боковым смещением передних колес и отвала (рис. 7.16). При этом повышается курсовая устойчивость машины и снижает возможность прохождения задних колес по отделанной поверхности или предотвращает его.

В автогрейдерах шарнирное сочленение, как правило, соединяет хребтовую балку, к которой крепится передняя ось, тяговая рама отвала и гидроцилиндры управления ими, и моторную раму, на которой размещаются двигатель, трансмиссия, кабина и органы управления. Поворот хребтовой балки относительно моторной рамы на угол до $\pm 30^\circ$ обеспечивается двумя гидроцилиндрами.

У автогрейдера система управления «изломом» рамы используется только при необходимости уменьшения радиуса поворота или при движении «крабом» (т.е. с боковым смещением передних колес относительно балансирной тележки), поэтому ее работа не синхронизирована с поворотом передних колес.

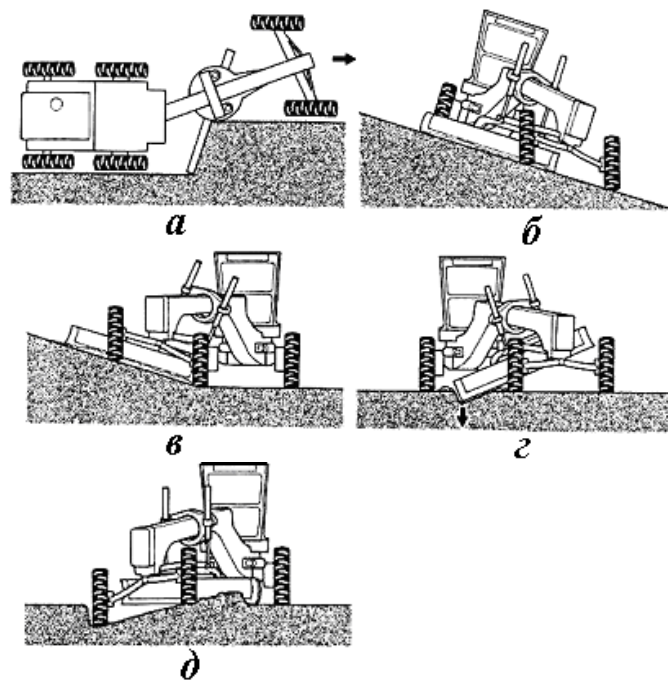


Рис. 7.16. Технологические приемы, доступные благодаря шарнирно-сочлененной раме: а – отделка поверхности (благодаря сдвигу передних колес все колеса идут по выровненной поверхности); б – работа на откосе (сдвиг наклоненных передних колес под уклон повышает устойчивость машины); в – профилирование откоса (движение задних колес по горизонтальной поверхности повышает точность профилирования); г – копание прочных грунтов (размещение срезающего конца отвала по продольной оси машины уменьшает усилия, разворачивающие машину, и повышает ее силу тяги); д – засыпка выемки (перекатывание передних колес по дну выемки предотвращает боковой увод и повышает точность отделки, т.к. задние колеса двигаются по ровной поверхности)

Практически все современные автогрейдеры оборудуются автоматическими системами управления, основной функцией которых является сохранение заданной ориентации грейдерного отвала в пространстве. Положение грейдерного отвала, заданное в начале движения машины, должно сохраняться независимо от колебаний автогрейдера, вызванных профилем грунта.

Реальные автоматические системы профилирования обеспечивают ровность обрабатываемой поверхности в пределах допусков, предписываемых строительными нормами и правилами. Для создания независимой системы координат грейдерного отвала могут использоваться маятниковые, копирные (проволочные и лазерные) и гироскопические задатчики. Эффективность автоматической системы профилирования определяется соотношением ее цены и производительности автогрейдера, получаемой с ее помощью.

Грейдер-элеватор – это землеройно-транспортная машина, используемая для послойной разработки грунта с помощью рабочего органа в виде ножа или совка и перемещения его ленточным конвейером или метателем в отвал или транспортные средства. Грейдер-элеваторы обеспечивают высокую производительность. Применяют их для возведения невысоких насыпей автомобильных и железных дорог из боковых резервов преимущественно в равнинной местности, разработки выемок с перемещением вынутого грунта в отвал, устройства полунасыпей на косогорах с поперечным уклоном до 12° и рытья небольших каналов для орошения земель.

Грейдер-элеваторами можно разрабатывать грунты I...III категорий без крупных каменистых включений. Высокой производительности грейдер-элеваторов в значительной степени способствует разделение функций резания и перемещения грунта между рабочими органами – ножами и транспортерами. Их целесообразно применять лишь на линейных работах при большой протяженности участков, где можно обеспечить работу в постоянном режиме.

По типу рабочих органов различают грейдер-элеваторы с дисковым сферическим (рис. 7.1, в, 7.9, 9), плоским или полукруглым ножом, с совковым режущим инструментом (рис. 7.9, 10) и с системой прямых или полукруглых ножей.

В зависимости от расположения отвальных конвейеров их разделяют на машины с диагональным и поперечным расположением конвейеров. Некоторые конструкции грейдер-элеваторов оборудованы поворотными конвейерами или имеют транспортирующие устройства в виде метателей.

Грейдер-элеваторы с системой прямых или полукруглых ножей и диагональным расположением конвейеров называют стругами, и ими обычно перемещают грунт только в транспортные средства.

В зависимости от мощности и категории грунта грейдер-элеваторы могут иметь производительность 400, 630, 1000 и 1600 м³/ч. По способу перемещения грейдер-элеваторы разделяют на прицепные, полуприцепные, навесные и самоходные. Основным типом является полуприцепной вариант. Навесные грейдер-элеваторы выпускают в виде сменного навесного оборудования к автогрейдерам.

По типу приводов грейдер-элеваторы разделяют на машины с механическим, гидравлическим и многомоторным дизель-электрическим приводом. В конструкциях самоходных грейдер-элеваторов применяют мотор-колеса.

При работе грейдер-элеватор последовательно проходит по обрабатываемому участку, вырезая грунт и подавая его конвейером в транспортные средства или отвал. Двигаясь за буксирующей машиной, нож опускается и поднимается с плужной балкой гидроцилиндрами, которые позволяют регулировать сечение снимаемой стружки в зависимости от сопротивления грунта резанию. Вырезанная стружка грунта отваливается на приемную часть конвейера, которая расположена наклонно в плоскости, перпендикулярной оси машины.

Конвейер состоит из двух шарнирно соединенных секций, подвешенных в трех точках к раме машины. Угол наклона верхней секции конвейера и, следовательно, высоту подъема грунта для разгрузки регулируют гидроцилиндрами соответственно высоте отсыпаемой насыпи. Нижняя секция конвейера во время работы поддерживается лыжей, скользящей по грунту. Конвейеры грейдер-элеваторов снабжают очистительными устройствами в виде шнеков, подвижных и неподвижных скребков, предназначенных для снятия налипшего на ленту грунта.

7.4. Экскаваторы

Экскаваторы предназначены для копания и перемещения грунта. Различают одноковшовые экскаваторы периодического (циклического) действия с основным рабочим органом в виде ковша определенной вместимости и экскаваторы непрерывного действия с многоковшовыми, скребковыми и фрезерными (бесковшовыми) рабочими органами. Одноковшовые экскаваторы осуществляют работу отдельными многократно повторяющимися циклами, в течение которых операции копания и перемещения грунта выполняются отдельно и последовательно. В процессе работы машина периодически перемещается на небольшие расстояния для продолжения работы. Экскаваторы непрерывного действия копание и перемещение грунта осуществляют одновременно и непрерывно. Производительность таких экскаваторов выше, чем одноковшовых, затрачивающих около $2/3$ рабочего времени на перемещение грунта и рабочего оборудования в исходное положение.

По назначению одноковшовые экскаваторы делят на строительные универсальные для земляных и погрузочно-разгрузочных работ в строительстве, карьерные – для разработки карьеров строительных материалов, рудных и угольных месторождений и вскрышные для обеспечения разработки полезных ископаемых открытым способом.

Экскаваторы непрерывного действия по назначению делят на машины продольного копания для рытья протяженных выемок прямоугольного и трапецеидального профиля – траншей для трубопроводов и коммуникаций различного назначения (траншейные экскаваторы), каналов и водоводов (каналокопатели), поперечного копания для карьерных, планировочных и мелиоративных работ, радиального копания для вскрышных и карьерных работ большого объема.

В городском строительстве преимущественно используют одноковшовые строительные и траншейные экскаваторы.

7.4.1. Одноковшовые экскаваторы

Строительными называют одноковшовые универсальные экскаваторы с основными ковшами вместимостью $0,25...2,5 \text{ м}^3$, оснащаемые различными видами сменного рабочего оборудования. Строительные экскаваторы предназначены для земляных работ в грунтах I...IV категорий. С помощью унифицированного сменного рабочего оборудования (до 40 видов) они могут выполнять также погрузочно-разгрузочные, монтажные, сваебойные, планировочные, зачистные и другие работы (рис. 7.17). Незначительное количество их работает с каким-либо одним видом оборудования. В основном это бывает на машинах большой мощности.

Рабочий цикл одноковшового экскаватора при разработке грунтов состоит из следующих последовательно выполняемых операций: копание грунта (заполнение ковша грунтом), подъем ковша с грунтом из забоя, поворот ковша к месту разгрузки, разгрузка грунта из ковша в отвал или в транспортные средства, поворот порожнего ковша к забою и опускание его в исходное положение для следующей операции копания. Для сокращения продолжительности цикла отдельные операции можно совмещать (например, подъем или опускание ковша с поворотом).

Классификация. Одноковшовые строительные экскаваторы классифицируют по следующим признакам:

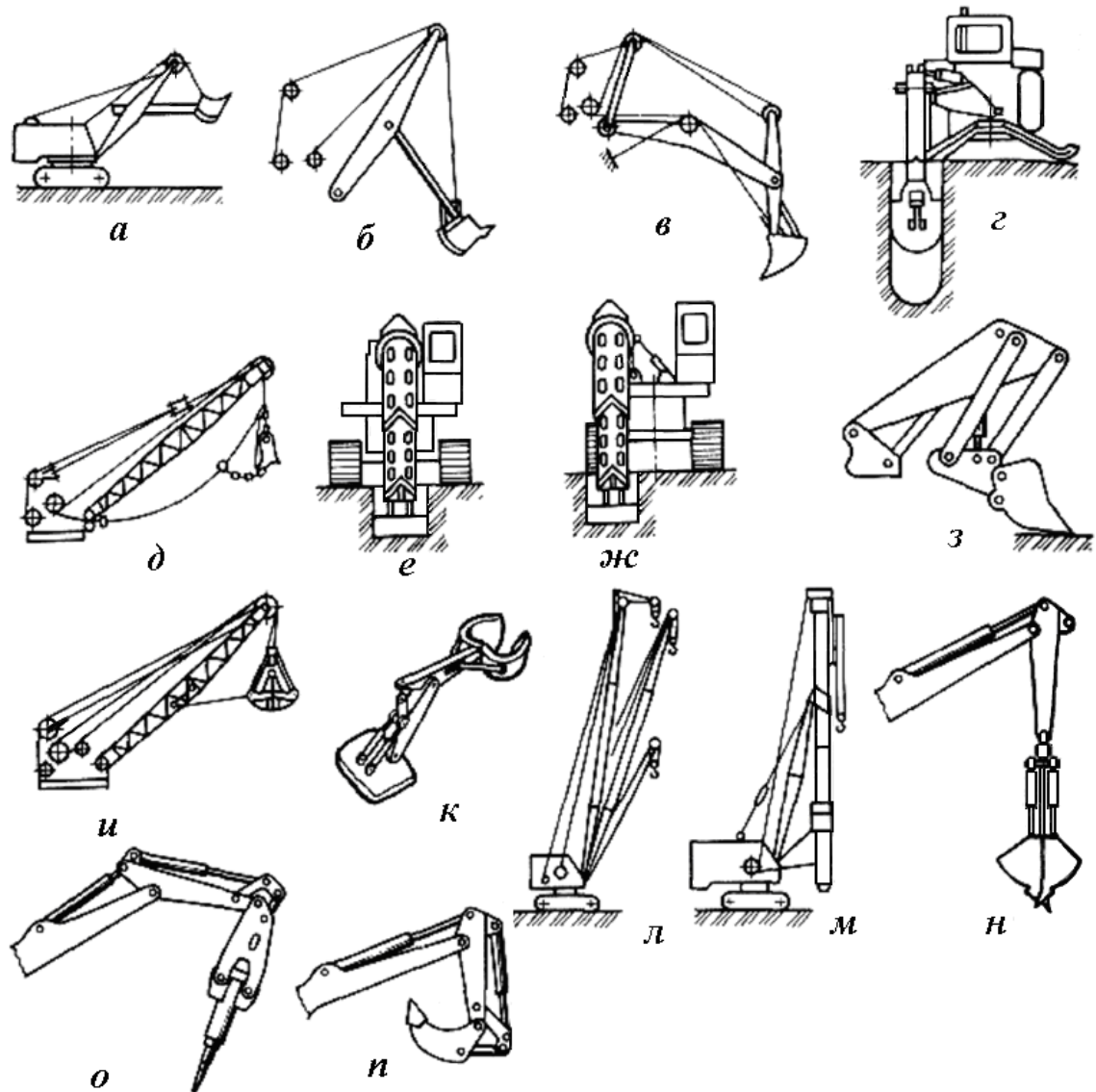


Рис. 7.17. Основные виды рабочего оборудования одноковшового экскаватора:

a – прямая лопата с принудительным напором; *б* – маятниковая прямая лопата; *в* – обратная лопата; *г* – боковая обратная лопата; *д* – драглайн; *е* – планировочное телескопическое оборудование; *жс* – боковое телескопическое оборудование; *з* – погрузочное оборудование; *и* – грейфер на канатной подвеске; *к* – челюстной захват; *л* – кран; *м* – копер; *н* – грейфер на жесткой подвеске; *о* – молот; *п* – рыхлитель

по назначению – строительные и строительно-карьерные, имеющие обычно ковш вместимостью $0,015...10 \text{ м}^3$ и массу $0,25...250 \text{ т}$, карьерные с ковшем вместимостью $2...20 \text{ м}^3$ и массой $40...900 \text{ т}$, вскрышные с ковшем вместимостью $4...160 \text{ м}^3$ и массой $170...13000 \text{ т}$, предназначенные для выполнения земляных работ больших объемов в горной промышленности, гидротехническом строительстве и т.п., туннельные и шахтные с ковшами вместимостью $0,5...1 \text{ м}^3$, массой $15...30 \text{ т}$ и уменьшенными размерами рабочего оборудования, предназначенные для подземных работ;

по типу ходового устройства – гусеничные с нормальной и увеличенной опорной поверхностью гусениц, пневмоколесные, на специальном шасси автомобильного типа, на шасси грузового автомобиля или трактора;

по типу привода – с механическим и гидромеханическим (одноmotorные), гидравлическим и электрическим (многоmotorные) приводом (название привода обычно соответствует типу примененной передачи);

по типу опорно-поворотного устройства – полноповоротные (не ограниченный в плане угол поворота рабочего оборудования обеспечивает унифицированный роликовый опорно-поворотный круг) и неполноповоротные (угол поворота рабочего оборудования в плане ограничен 270°);

по способу подвески рабочего оборудования – с гибкой подвеской на канатных полиспадах и с жесткой подвеской с помощью гидроцилиндров;

по виду исполнения рабочего оборудования – с шарнирно-рычажным и телескопическим рабочим оборудованием.

К основным параметрам одноковшовых экскаваторов относятся: вместимость ковша и продолжительность рабочего цикла. Также важны радиусы копания и выгрузки, высота и глубина копания, высота нагрузки, преодолеваемый экскаватором уклон пути, конструктивная и эксплуатационная массы машины, среднее давление на грунт у гусеничных машин и нагрузка на одно ходовое колесо у пневмоколесных, колея и база ходового устройства.



Рис. 7.18. Структура индексов одноковшовых универсальных экскаваторов

Индексация. Действующая система индексации предусматривает следующую структуру индекса (рис. 7.18), дающего более полную характеристику эксплуатационных возможностей машины. Буквы ЭО означают – экскаватор одноковшовый универсальный. Четыре основные цифры индекса последовательно означают: размерную группу машины, тип ходового

устройства, конструктивное исполнение рабочего оборудования (вид подвески) и порядковый номер данной модели. Восемь размерных групп экскаваторов обозначаются цифрами с 1 по 8. Размер экскаватора характеризуют масса машины и мощность основного двигателя, а также геометрическая вместимость основного ковша.

В настоящее время серийно выпускаются экскаваторы 2...6-й размерных групп. В стандартах на экскаваторы для каждой размерной группы обычно приводятся несколько вместимостей ковшей – основного и сменных повышенной вместимости, причем для последних предусмотрены меньшие линейные рабочие параметры (глубина и радиус копания, радиус и высота выгрузки и т.п.) и более слабые грунты, чем при работе с основным ковшом. Основным считается ковш, которым экскаватор может разрабатывать грунт IV категории на максимальных линейных рабочих параметрах. Вместимость основных ковшей экскаваторов составляет: для 2-й размерной группы – 0,25...0,28 м³; 3-й – 0,40...0,65 м³; 4-й – 0,65...1,00 м³; 5-й – 1,00...1,60 м³; 6-й – 1,60...2,50 м³; 7-й – 2,50...4,00 м³.

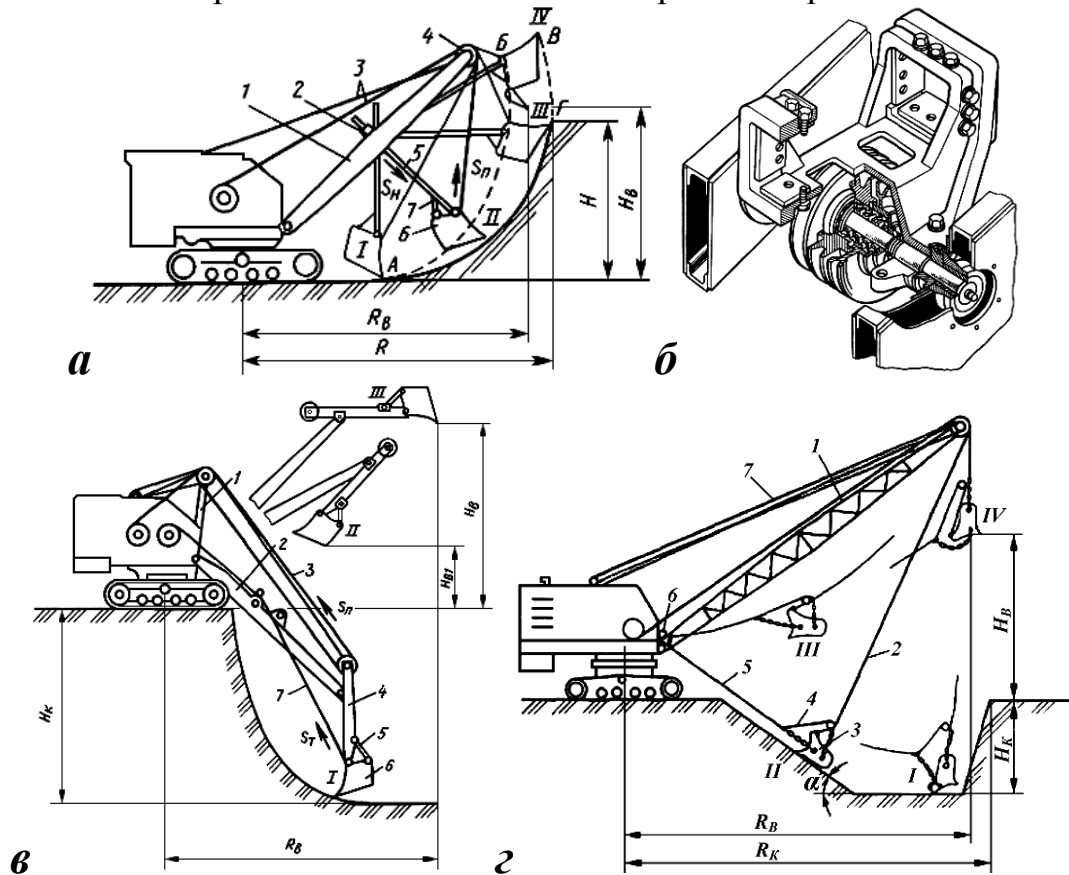
Тип ходового устройства указывается цифрами с 1 по 9: 1 – гусеничное (Г); 2 – гусеничное уширенное (ГУ); 3 – пневмоколесное (П); 4 – специальное шасси автомобильного типа (СШ); 5 – шасси грузового автомобиля (А); 6 – шасси серийного трактора (Тр); 7 – прицепное ходовое устройство (Пр); 8,9 – резерв. Конструктивное исполнение рабочего оборудования указывается цифрами: 1 (с гибкой подвеской), 2 (с жесткой подвеской), 3 (телескопическое). Последняя цифра индекса означает порядковый номер модели экскаватора. Первая из дополнительных букв после цифрового индекса (А, Б, В и т.д.) означает порядковую модернизацию данной машины, последующие – вид специального климатического исполнения (С или ХЛ – северное, Т – тропическое, ТВ – для работы во влажных тропиках). Например, индекс ЭО-5123ХЛ расшифровывается так: экскаватор одноковшовый универсальный, 5-й размерной группы, на гусеничном ходовом устройстве, с жесткой подвеской рабочего оборудования, третья модель в северном исполнении. Экскаватор оборудуется основным ковшом вместимостью 1,0 м³, соответствующим 5-й размерной группе, и сменными вместимостью 1,25 и 1,6 м³.

Экскаваторы с гибкой подвеской рабочего оборудования представляют собой полноповоротные машины (рис. 7.19) с одномоторным и многомоторным (дизель-электрическим) приводом. На поворотной платформе таких машин смонтирована двуногая опорная стойка, несущая стрелоподъемный полиспаст. Промышленность выпускает строительные экскаваторы с одномоторным приводом 3...5 размерных групп, с многомоторным приводом – 6-й размерной группы.

Основными видами сменного рабочего оборудования таких экскаваторов являются прямая и обратная лопаты, драглайн, грейфер и кран. Кроме указанных видов экскаваторы оснащаются также оборудованием для погружения свай и шпунта, планировки и зачистки площадок и откосов, засыпки траншей, корчевания пней, рыхления мерзлых и скальных грунтов,

взламывания дорожных покрытий, разрушения старых фундаментов зданий и стен и т.п.

Экскаватор с рабочим оборудованием прямой лопаты (рис. 7.19, а) разрабатывает грунт в забое, расположенном выше уровня стоянки машины, и состоит из стрелы 1, рукояти 5 и ковша 6 с открывающимся днищем. Ковш шарнирно соединен с рукоятью и может быть установлен в нужное положение с помощью тяг 7. В процессе работы в забое это положение ковша относительно рукояти остается неизменным. Стрела нижним концом шарнирно соединена с проушинами, расположенными в передней части платформы. Другим концом стрела там, где она имеет головные блоки 4, подвешена стрелоподъемными канатами 3 к двуногой стойке, размещенной на платформе. С помощью этих канатов стрелу при копании устанавливают под углом $45 \dots 60^\circ$ к площадке, на которой стоит машина в забое. В процессе работы этот угол установки стрелы не меняют. В средней части к стреле посредством седлового подшипника 2 (рис. 7.19, б) шарнирно присоединена рукоять с ковшом. Подшипник позволяет рукояти совершать возвратно-поступательные движения вдоль ее оси и поворачиваться относительно стрелы в вертикальной плоскости.



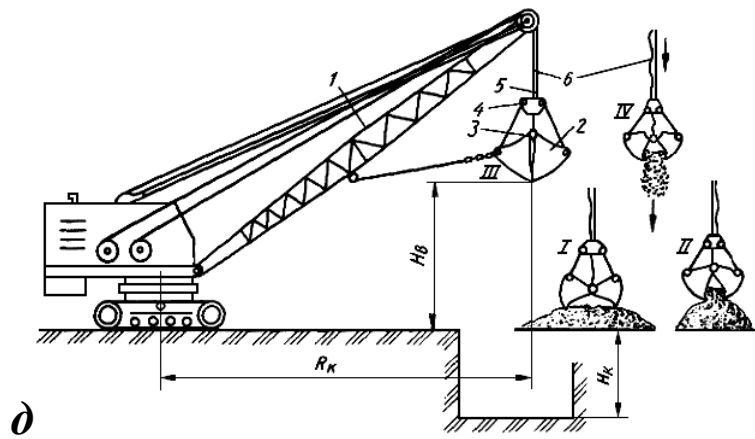


Рис. 7.19. Экскаваторы с гибкой подвеской рабочего оборудования:

a – прямая лопата; *б* – седловой подшипник прямой лопаты; *в* – обратная лопата;
г – драглайн; *д* – грейфер

Из положения *I* (начало копания) под действием подъемного усилия $S_{\text{п}}$ зубья ковша перемещаются из положения *A* по траектории *A—Г—B*, близкой к дуге с центром в оси вала седлового подшипника 2. Отделение стружки грунта нужной толщины осуществляется приложением к ковшу через рукоять напорного $S_{\text{н}}$ или возвратного $S_{\text{в}}$ усилий. В зависимости от свойств разрабатываемого грунта и варьирования сил $S_{\text{п}}$ и $S_{\text{н}}$ траектория движения зубьев может существенно отличаться от траектории *A—Г—B*. С одной стоянки в забое машина может разрабатывать грунт в зоне досягаемости (*A—B—B—Г—A*). Сравнивая ее с аналогичной у гидравлического экскаватора, оборудованного прямой лопатой (рис. 7.21, *б*), видно, что она более благоприятна. Машина может разрабатывать в связных грунтах высокий (в пределах возможной высоты подъема ковша) забой без образования навеса. После наполнения ковша грунтом совершается поворот платформы с рабочим оборудованием на выгрузку грунта из ковша, выгрузка и обратный поворот в забой. Выгрузка ковша осуществляется открыванием его днища. По мере выработки грунта машина передвигается вдоль забоя.

Экскаватор с оборудованием обратной лопаты (рис. 7.19, *в*) предназначается для рытья траншей и котлованов, расположенных ниже уровня его стоянки. Рабочее оборудование обратной лопаты состоит из ковша *б*, рукояти 4, стрелы 2, передней стойки 1 и полиспастов: тягового 7, подъемного 3 и стрелового (для удержания передней стойки). Ковш шарнирно прикреплен к рукояти. Его положение фиксируется с помощью тяг 5. Наполнение ковша, врезаемого в грунт под действием веса рабочего оборудования, происходит при подтягивании его к экскаватору тяговым полиспастом 7 и одновременном ослаблении натяжения подъемного полиспаста 3. Выгрузка грунта из ковша осуществляется поворотом рукояти от забоя при ослаблении тягового полиспаста и подъеме рабочего оборудования подъемным полиспастом.

Положение ковша при копании грунта в забое, повороте на выгрузку и при выгрузке (положения *I*, *II* и *III*) достигается приложением к ковшу и верхнему концу рукояти через канаты 7 и 3 соответственно тягового $S_{\text{т}}$ и подъемного $S_{\text{п}}$ усилий. Для снижения усилия $S_{\text{п}}$ в подъемных канатах и

простоты направления последних на барабан лебедки в передней части платформы установлена дополнительная стойка *1*.

Экскаватор с оборудованием драглайна (рис. 7.19, *з*) разрабатывает грунт ниже уровня своей стоянки и применяется для рытья котлованов, водоемов и траншей, а также для разработки различных выемок под водой. Сменное рабочее оборудование драглайна включает удлинненную решетчатую стрелу *1*, специальный ковш совкового типа *3* с подъемными и тяговыми цепями, стрелоподъемный полиспаст *7*, подъемный *2*, тяговый *5* и разгрузочный *4* канаты и механизм наводки (систему направляющих блоков) *6* тягового каната.

Работает драглайн следующим образом. В начале рабочего цикла ковш удерживается на подъемном канате у головы стрелы. Для копания ковш опускается на грунт (положение *I*) или предварительным натяжением и последующим отпуском тягового каната приводится в колебательное состояние, как маятник, относительно головы стрелы. Опускание в последнем случае проводится, когда ковш максимально отклонится от машины. Это позволяет вести разработку грунта на большем удалении от оси машины, чем в положении *I*. При опускании (падении) на грунт ковш касается выдвинутой вперед верхней частью (аркой) и с помощью управления тяговым и подъемным канатами переводится в исходное для копания грунта состояние (положение *II*).

Копание совершается натяжением тягового каната. Зубья ковша или его кромка при этом врезаются в грунт, и эффективность его работы будет зависеть от категории грунта, массы ковша *3*, угла наклона α забоя и степени натяжения подъемного каната. Обычно ковш заполняется грунтом, пройдя путь, равный $3 \dots 5$ его длинам.

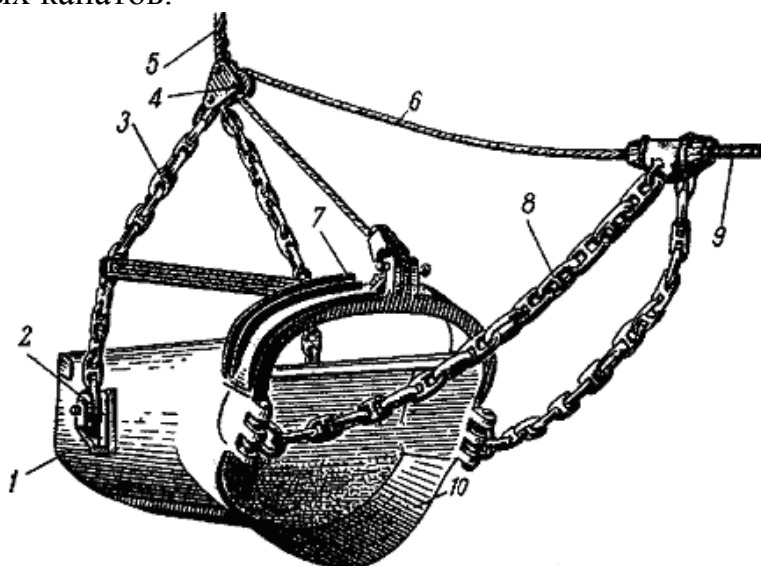
После заполнения грунтом ковш натяжением тягового и подъемного канатов подтягивается к стреле (положение *III*) и затем постепенным ослаблением тягового и натяжением подъемного канатов переводится к головным блокам. Это перемещение машинист совершает, как правило, одновременно с поворотом на выгрузку: грунта из ковша. Для предупреждения выгрузки грунта из ковша в процессе его транспортирования ковш дополнительно соединяется с подъемным и тяговым канатами разгрузочным тросом *4*. Выгрузка грунта (положение *IV*) осуществляется ослаблением тягового каната при заторможенном подъемном. После разгрузки грунта ковш поворачивается в забой, и рассмотренный цикл работы машины повторяется.

Ковш драглайна (рис. 7.20, *а*) имеет днище с режущей передней кромкой, выполненной в виде дуги *10* или снабженной зубьями. Зубья направлены вперед и вниз. Две боковые стенки *1* и задняя стенка соединены между собой сваркой. В некоторых случаях при работе машины в обводненных грунтах или при углублении водоемов в хвостовой части ковша имеются отверстия. К проушинам передней части боковых стенок, соединенных аркой *7*, крепят тяговые цепи *8*, а к ним – тяговый канат *9*. К подъемному канату *5* ковш крепят подъемными цепями *3* при помощи подъемных проушин *2* и опрокидного блока *4*. При натяжении тягового каната *9* благодаря разгрузочному канату *6* ковш занимает горизонтальное положение, срезает грунт и, приближаясь к экскаватору, заполняется. Поднимаясь на канате *5* при натянутом канате *9*,

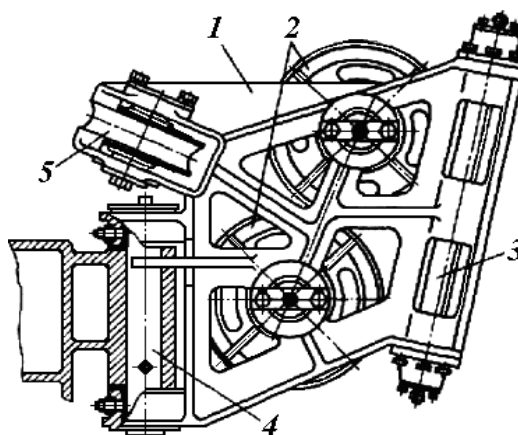
ковш остается в горизонтальном положении. При ослаблении тягового каната ковш наклоняется и опорожняется. Цепи по сравнению с канатами обладают большей гибкостью и износостойкостью.

Устройство для наводки тягового каната (рис. 7.20, б) на строительных экскаваторах имеет по два блока с осями в горизонтальном 2 и вертикальном 5 направлениях. Они установлены в одном литом корпусе 1, связанном с платформой с помощью вертикальной оси 4. В передней части корпуса перед блоками 2 установлены два вертикальных ролика 3.

Стрелы на драглайных средней и большой мощности в настоящее время чаще выполняют трехгранными. Первые такие экскаваторы (ЭШ-14/65) использовались на строительстве Волго-Донского канала. В настоящее время такие и более мощные драглайны применяются на вскрышных работах. Каждая из граней представляет собой ферму. В плане такая стрела имеет вид треугольника. Поясные элементы нижней грани внизу заканчиваются пятками для присоединения стрелы к платформе. Раскосы ее здесь образуют окно для пропуска тяговых канатов.



а



б

Рис. 7.20. Ковш (а) и устройство для наводки тягового каната (б) драглайна

Грейферы обычно имеют экскаваторы малой и средней мощности с вместимостью ковша до 2 м³. Этот рабочий орган применяют для рытья

глубоких котлованов (колодцев) в малосвязных грунтах и для перегрузки сыпучих материалов (песка, щебня, гравия, угля и др.).

Рабочее оборудование грейфера (рис. 7.19, д) состоит из решетчатой стрелы 1 и двухчелюстного ковша 2, подвешенного к голове стрелы; на подъемном 5 и замыкающем 6 канатах. Челюсти шарнирно связаны в точке 3 и соединяются с подъемным канатом через тяги и траверсу 4. Когда ковш находится у головы стрелы при натянутых подъемном и замыкающем канатах, он закрыт и его челюсти сведены (сомкнуты) (положение III). Для заполнения ковша опускается на грунт на подъемном канате при ослабленном замыкающем. Раскрытие челюстей (положение I) происходит под действием их веса, т.к. центр тяжести находится около шарнира 3. Захват грунта челюстями осуществляется после натяжения замыкающего и ослабления подъемного канатов (положение II). Заполненный грунтом ковш поднимается на замыкающем канате. Подъемный канат при этом натягивается лишь настолько, чтобы не образовывалось его провисание. Разгрузка ковша (положение IV) осуществляется при вывешивании его на подъемном канате и одновременном ослаблении замыкающего.

Экскаватор с крановым оборудованием используют на различных монтажных и погрузочно-разгрузочных работах. В комплект кранового оборудования входят удлиненная решетчатая стрела, стрелоподъемный и грузовой полиспасты, крюковая подвеска или специальные устройства для захвата грузов.

Гидравлические экскаваторы. Одноковшовые экскаваторы с гидравлическим приводом представляют собой много моторные полно- и неполноповоротные машины с жесткой подвеской рабочего оборудования, у которых для передачи мощности от двигателя к рабочим механизмам используется гидравлический объемный привод. По сравнению с механическими гидравлические экскаваторы имеют более широкую номенклатуру сменных рабочих органов, число которых постоянно растет, большее количество основных и вспомогательных движений рабочего оборудования, что значительно расширяет их технологические возможности и обеспечивает высокий уровень механизации земляных работ, особенно в стесненных условиях городской застройки.

Различают гидравлические экскаваторы с шарнирно-рычажным и телескопическим рабочим оборудованием, для удержания и приведения в действие которого используют жесткие связи – гидравлические цилиндры. Основными рабочими движениями шарнирно-рычажного оборудования являются изменение угла наклона стрелы, поворот рукояти с ковшом относительно стрелы и поворот ковша относительно рукояти, телескопического – выдвижение и втягивание телескопической стрелы.

Гидравлические *полноповоротные* экскаваторы с *шарнирно-рычажным рабочим оборудованием* созданы на базе единых конструктивных схем, широкой унификации агрегатов и узлов. Они серийно выпускаются 3...6-й размерных групп. Привод сменного рабочего оборудования таких экскаваторов осуществляется от гидроцилиндров двустороннего действия, а поворот

платформы и передвижение машины – от индивидуальных гидромоторов. К основным видам сменного рабочего оборудования относятся прямая и обратная лопаты, грейфер и погрузчик.

В качестве сменных рабочих органов гидравлических экскаваторов при выполнении обычных земляных работ используют: ковши обратных и прямых лопат различной вместимости; ковши для дренажных работ и рытья узких траншей; ковши с зубьями и со сплошной режущей кромкой для планировочных и зачистных работ; двухчелюстные грейферы для рытья траншей и котлованов и погрузки крупнокусковых материалов и камней; погрузочные ковши большой вместимости; бульдозерные отвалы для засыпки ям, траншей и небольших котлованов; захваты для погрузки труб и бревен; крановую подвеску для различных грузоподъемных и монтажных работ; многозубые и однозубые рыхлители для рыхления мерзлых и плотных грунтов и взламывания асфальтовых покрытий; пневматические, гидравлические и гидропневматические молоты многоцелевого назначения со сменными рабочими инструментами для разрушения скальных и мерзлых грунтов, железобетонных конструкций, кирпичной кладки и фундаментов, дорожных покрытий, дробления негабаритов горных пород, трамбования грунтов, погружения свай и шпунта; бурами для бурения шпуров и скважин и т.п.

На гидравлических строительных экскаваторах наиболее широко используемым рабочим оборудованием является обратная лопата. Это объясняется, в основном, тем, что машина при этом виде оборудования может наиболее полно реализовать свои технические возможности в части мощности привода и усилий на рабочем органе. В процессе рабочего цикла гидравлический экскаватор разрабатывает грунт, перемещает его к месту выгрузки, выгружает, а рабочее оборудование возвращается в забой в исходное положение.

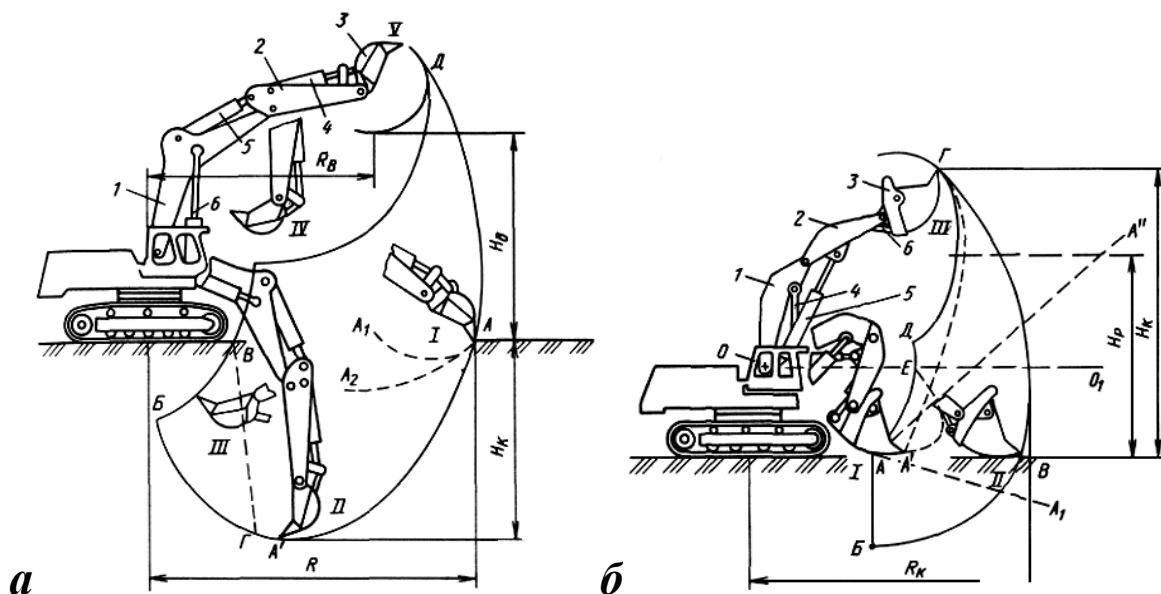
Экскаватор, оборудованный обратной лопатой (рис. 7.21, а), копает грунт движением ковша в сторону машины. Начинается копание обычно при наиболее удаленном от экскаватора положении *I* ковша на максимальном радиусе *R* копания. Для этого в зависимости от исходного положения оборудования, например, при нахождении его в положении *IV* втягиваются штоки гидроцилиндров *б* стрелы, *5* рукояти и *4* ковша. При квалифицированном управлении машиной перевод ковша в положение *I* совмещается с поворотом в забой оборудования после выгрузки (из положения *V*).

Копание грунта на начальной стадии работы машины в забое может выполняться при повороте ковша *3* относительно рукояти *2*, когда зубья перемещаются по траектории $A-A_1$ при повороте рукояти с ковшом относительно стрелы *1* (по траектории $A-A_2$) или при совмещении движений ковша и рукояти. По мере выработки грунта в забое начало копания (точка *A*) смещается вниз от уровня установки машины к точке *A'* (положение *II*). Здесь копание чаще выполняется поворотом рукояти с ковшом относительно стрелы и опусканием последней.

Копание в каждом из этих случаев продолжается до заполнения ковша грунтом. После этого рабочее оборудование переводится в положение *IV*, и платформа поворачивается на угол обычно $70...10^\circ$ для выгрузки грунта из ковша в отвал или в транспортные средства. Выгружается грунт после перевода оборудования в положение *V*. Разгрузив ковш, платформу поворачивают в обратном направлении в забой, и цикл работы машины повторяется.

Копание с одной стоянки машины в забое заканчивается после выработки в нем грунта на глубину H_k – в границах области *АГВА*, определяемой частью зоны возможного перемещения зубьев ковша ниже уровня площадки, на которой находится экскаватор. Полная зона, называемая зоной досягаемости ковша, значительно больше области *АГВА*. При нижнем копании зубья ковша могут находиться и в области *ГБВГ* (положение *III*). Однако здесь копание не производится ввиду невозможности наблюдения за ковшом из кабины машины.

Выше площадки, где установлена машина, зону досягаемости дополняет область *АДВА*. Однако разработка грунта здесь и в области *АГВА* одновременно возможна только в забоях с малым объемом земляных работ. При значительном объеме, выполнение второго связано с передвижениями машины, грунт может разрабатываться только раздельно, так как после выработки грунта в верхней области машина должна передвинуться в сторону забоя, а при выработке в нижней области – в обратную сторону.



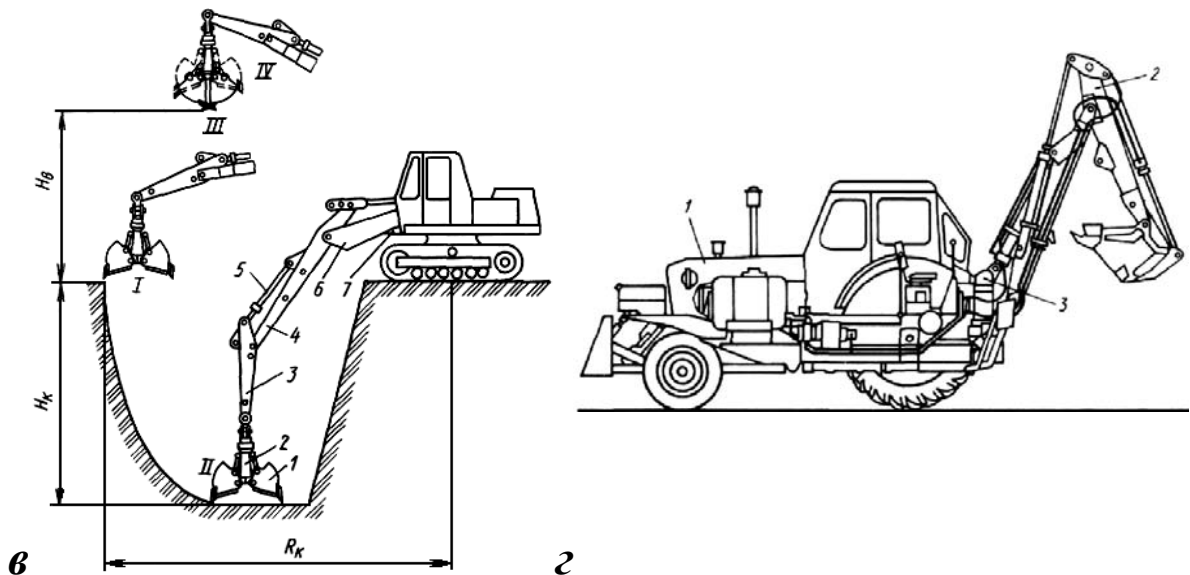


Рис. 7.21. Экскаваторы с гидроприводом:

а – обратная лопата; *б* – прямая лопата; *в* – грейфер; *г* – обратная лопата на базе трактора «Беларусь»: 1 – базовая машина; 2 – рабочее оборудование экскаватора; 3 – поворотное устройство

Знание полной зоны досягаемости ковша важно при установке на обратной лопате вместо ковша других видов рабочих органов, например, грейфера, рыхлителя, гидромолота. После выработки грунта в пределах зоны досягаемости ковша экскаватор при нижнем копании отодвигается на 1,5...2 м от забоя, и рабочий процесс продолжается.

Экскаватор, оборудованный прямой лопатой (рис. 7.21, б), копает выше уровня стоянки машины. Начинается копание тогда, когда ковш находится вблизи от машины, например, гусениц (положение *I*). Для перевода ковша, например из положения *III*, стрела 1 и рукоять 2 с ковшом 3 поворачиваются по часовой стрелке. Это достигается втягиванием штоков гидроцилиндров 4 стрелы и 5 рукояти. Отдельно эту операцию практически не проводят. Опытный машинист, как правило, выполняет ее в процессе поворота машины в забой.

Процесс копания на начальной стадии образования и разработки забоя может осуществляться перемещением зубьев ковша по траектории $A-A_1$. После образования забоя площадка, на которой установлена машина, располагается горизонтально. С одной установки на этой площадке экскаватор может разрабатывать грунт в пределах зоны $ABГДЕA$ досягаемости ковша. Это он осуществляет за несколько рабочих циклов.

Анализируя конфигурацию зоны досягаемости, видно, что по мере разработки забоя наблюдается ускоренное образование навеса грунта в нем. На максимальном радиусе копания навес не образуется только ниже горизонтали $O-O_1$ проведенной через ось пяты стрелы. При разработке связного грунта в пределах всей высоты H_k подъема ковша (точка Γ) размер навеса достигает примерно, $0,3H_k$. Сбить этот навес экскаватор, не передвинувшись, не может, так как все траектории зубьев ковша сходятся в одной точке Γ . Оставлять навес по условиям техники безопасности так нельзя. Учитывая это, обычно реальную высоту забоя принимают равной около $0,7H_k$,

В течение рабочего цикла процесс копания ведется различно. Наиболее часто при работе в связном грунте копание осуществляется по так называемой традиционной схеме. В этом случае зубья ковша первоначально перемещаются по траектории $A - A'$ на толщину стружки, а затем ковш идет вверх по траектории $A' - Г$. Заглубление ковша в грунт и снятие им стружки нужной толщины при этом достигается выдвиганием и втягиванием штоков гидроцилиндров 5 рукояти и 4 стрелы. Немаловажное значение при этом имеет и поворот ковша относительно рукояти, осуществляемый с помощью гидроцилиндра 6. Поворот ковша позволяет существенно менять угол резания и снижать сопротивление копанию.

При разрыхленном грунте в забое последний перед машиной имеет пологий откос (по траектории $A - A''$). В этом случае копание выполняется по схеме, близкой к имеющейся у погрузчика при его работе. Ковш значительно, примерно на $2/3$ высоты его передней стенки, заглубляется в грунт, затем поворачивается влево относительно рукояти и идет вверх по траектории $AA' - E$. Это достигается на первой стадии втягиванием штоков гидроцилиндров 4 стрелы и 6 ковша и выдвиганием штока рукояти 5, а затем на второй стадии выдвиганием штоков гидроцилиндров 4 и 6. После заполнения ковша грунтом последний подтягивается к машине, примерно, на глубину его заглубления в грунт при копании, и рабочее оборудование переводится в положение III. Последнюю операцию опытный машинист чаще совмещает с операцией поворота ковша на выгрузку. В конце поворота ковш обычно останавливается и разгружается. После этого машина совершает обратный поворот рабочего оборудования в забой, и цикл работы в забое повторяется.

При оснащении экскаватора специальным погрузочным оборудованием, применяемым при работе в хорошо разрыхленном грунте, процесс заполнения ковша в основном ведется на уровне стоянки машины.

Грейферное оборудование на гидравлических экскаваторах имеет жесткую связь с рукоятью и позволяет разрабатывать грунт при дополнительном нагружении ковша частью массы машины. Это позволяет наиболее эффективно осуществлять копание грунта.

Процесс разработки грунта начинается на уровне площадки стоянки машины (рис. 7.21, в). Для начала копания ковш при раскрытых челюстях I опускается на грунт (положение I). Копание завершается закрытием челюстей. Это на машинах выполняется по-разному. На экскаваторах третьей размерной группы челюсти закрываются выдвиганием штоков цилиндров 2. Однако в большинстве случаев это выполняется перемещением ползуна 8 тяг вверх относительно головки челюстей ковша. После заполнения ковша грунтом челюсти закрываются и ковш переводится в положение III. В дальнейшем следует поворот платформы на выгрузку грунта из ковша, разгрузка (положение IV) и обратный поворот ковша в забой. В положении IV челюсти открываются, и происходит разгрузка грунта.

По мере углубления забоя ковш опускается вниз (положение II) поворотом стрелы 6 влево, достигаемым втягиванием штока гидроцилиндра 7, а

также поворотом рукояти 4 относительно стрелы посредством гидроцилиндра 5 и наращиванием удлинителя 3 грейфера.

При выполнении работ малых объемов, например, ремонте трубопроводов, эффективно применение маневренных гидравлических экскаваторов, снабженных бульдозерным оборудованием (рис. 7.21, з).

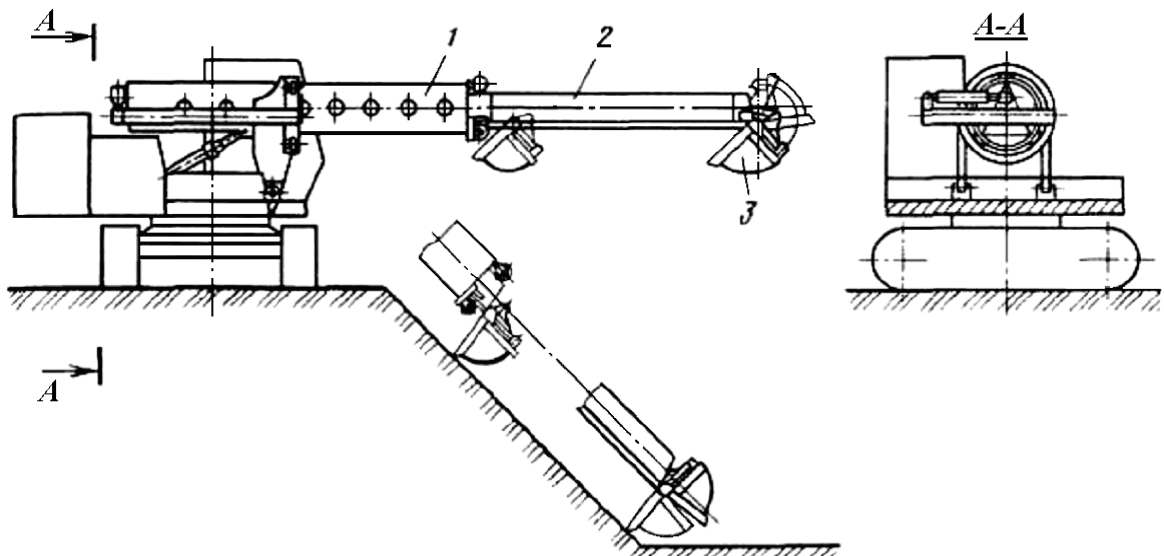


Рис. 7.22. Экскаватор-планировщик:
1, 2 – телескопическая стрела; 3 – рабочий орган

Экскаватор-планировщик с телескопической стрелой (рис. 7.22) эффективно может работать при планировке и зачистке наклонных, обычно до 45° , поверхностей сооружений, расположенных ниже уровня стоянки машины и имеющих большую протяженность и ширину до 12 м, например, при сооружении откосов у дорог, каналов и т.п. В этом случае машину ставят наверху у бровки сооружения с возможностью передвижения вдоль него. Стрела размещается параллельно откосу, и рабочий орган совершает возвратно-поступательные движения вдоль нее. В качестве рабочего органа для этих работ используют уширенный ковш без зубьев. По мере достижения ковшем рабочих отметок стрела приподнимается, и экскаватор передвигается вдоль бровки на расстояние, равное ширине ковша. При разработке грунта на слегка наклонных и горизонтальных участках местности, а также при сооружении траншей различной ширины планировщик ведет работы в обычном экскаваторном режиме; движение рабочего органа вдоль стрелы совмещается с изменением угла наклона стрелы, как у экскаватора с обратной лопатой. При обработке боковых стенок траншеи ковшу сообщается соответствующий поворот относительно продольной оси стрелы.

7.4.2. Экскаваторы непрерывного действия

Многоковшовые экскаваторы применяют для рытья продольных выемок (траншей), канав и профилирования их откосов на грунтах до III или IV категории включительно. Специализированные многоковшовые экскаваторы применяют для добычи полезных ископаемых или удаления пустой породы при вскрышных работах. При разработке грунта, имеющего каменные включения, нормальная работа экскаватора возможна, если размеры твердых включений в грунте не превышают 0,25 ширины ковша. Многоковшовые цепные

экскаваторы, разрабатывая грунт и убирая его, оставляют поверхность забоя ровной, не требующей зачистки; поэтому их часто используют для окончательной отделки откосов крупных насыпей или выемок, например откосов судоходного канала.

Многоковшовые экскаваторы можно классифицировать по следующим основным признакам:

1. по конструкции рабочего оборудования: цепные и роторные;
2. по способу разработки грунта: экскаваторы продольного копания, у которых цепь или ротор движутся в плоскости движения машины; к этой категории относятся траншейные экскаваторы; экскаваторы поперечного копания (карьерные), у которых цепь или ротор с ковшами движутся в плоскости, перпендикулярной направлению движения машины;
3. по типу привода: с двигателем внутреннего сгорания и механической трансмиссией; с электродвигателями, питаемыми от сети; с дизель-электрической силовой установкой и многomotorным электрическим приводом механизмов;
4. по размерам: траншейные экскаваторы различают по глубине траншеи, карьерные цепные – по емкости ковшей и роторные – по часовой производительности;
5. по типу ходового оборудования: на гусеничном, пневмоколесном и рельсоколесном ходу.

Траншейные цепные экскаваторы применяют для рытья траншей под кабели, канализационные трубопроводы, линии связи и др., глубиной до 6 м и шириной до 2 м. Траншейные роторные экскаваторы получили широкое применение для рытья траншей под газо- и нефтепроводы глубиной до 2,5 м и шириной до 2,6 м.

Цепные траншейные экскаваторы применяются с наклонной (рис. 7.23, а) или вертикальной ковшовой рамой. Наклонная ковшовая рама опирается своими роликами на верхние полки направляющей рамы. Цепи с ковшами опираются на поддерживающие ролики, натяжные колеса и ведущие звездочки. Подъем и опускание ковшовой рамы производится лебедкой и канатно-блочной системой. Работа траншейного экскаватора с наклонной рамой начинается с опускания ее на поверхность грунта и постепенного заглубления ковшей. Ковши срезают слой грунта и наполняются; при опрокидывании ковшей, опирающихся на верхнюю звездочку, грунт из ковшей высыпается в лоток; с лотка грунт ссыпается на поперечный транспортер, выдающий грунт в отвал вдоль траншеи. Скорость движения ковшовой цепи и скорость движения машины должны быть так соразмерны с емкостью ковша и глубиной забоя, чтобы ковш за время прохождения его от дна до верхней кромки траншеи успевал наполниться. Если экскаватор будет продвигаться слишком быстро или ковшовая цепь будет двигаться медленнее, чем это требуется, то ковши будут переполняться. При обратном соотношении скоростей машины и ковшовой цепи будет недостаточное наполнение ковша. Траншейный экскаватор с вертикальной ковшовой рамой поднимает и опускает раму с помощью цепи и подъемного механизма. Сзади ковшовой цепи установлен зачистный башмак.

Транспортер небольшой длины установлен внутри ковшовой рамы. Ковши разгружаются вперед по ходу цепи на транспортер. Привод ковшовой цепи имеет промежуточный редуктор, двойную цепную передачу и редуктор.

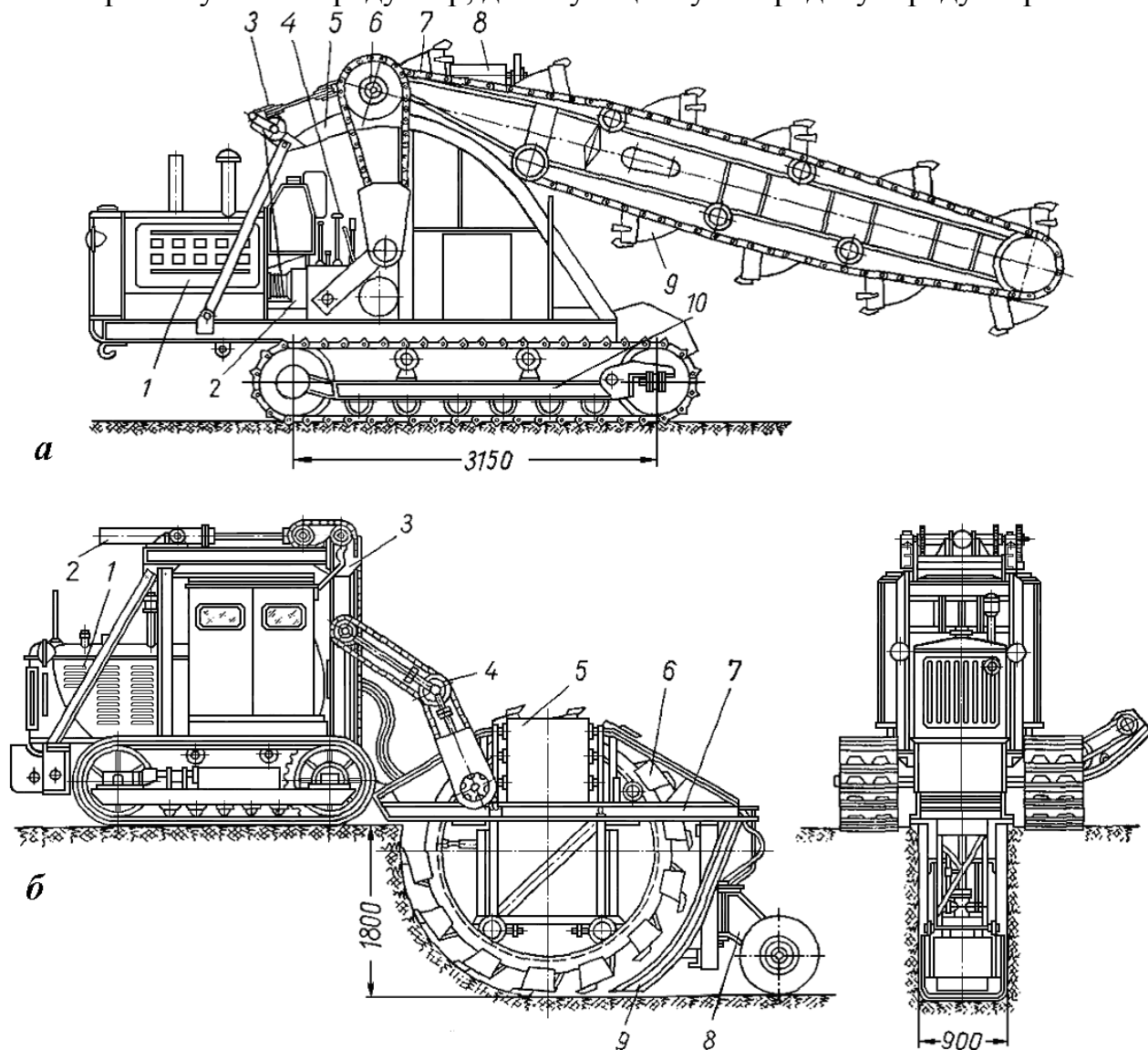


Рис. 7.23. Траншейные экскаваторы:

а – цепной; 1 – двигатель; 2 – коробка передач; 3 – механизм подъема наклонной рамы; 4 – рычаги управления; 5 – поддерживающая рама; 6 – вал цепной передачи; 7 – ковшовая цепь; 8 – поперечный транспортер; 9 – ковш; 10 – гусеничный ход; *б* – роторный: 1 – двигатель; 2 и 3 – механизм подъема основной рамы с ротором; 4 – приводная цепь; 5 – поперечный транспортер; 6 – ковш ротора; 7 – основная рама; 8 – опорная тележка; 9 – зачистной нож

Роторные траншейные экскаваторы обеспечивают копание траншей в грунтах до IV категории включительно и при глубине промерзания верхнего слоя грунта до 0,7 м, в то время как область применения цепных траншейных экскаваторов ограничена грунтами III категории.

Роторный траншейный экскаватор (рис. 7.23, б) состоит из тягача, рабочего органа в виде ротора с ковшами и транспортера. Резание грунта и подъем его из траншеи производятся ковшами ротора; из ковшей грунт пересыпается на короткий поперечный ленточный транспортер, который выдает грунт в отвал или в транспортные средства. Роторный экскаватор создает траншею прямоугольного сечения с вертикальными стенками. Для

получения трапецеидального сечения траншеи ее стенки срезают двумя боковыми наклонными фрезами. В некоторых конструкциях для этой цели делают качающийся ротор. Производительность роторного траншейного экскаватора (при тех же размерах траншеи) в 2 раза больше производительности цепного и в 5...6 раз больше одноковшового.

Роторный дизель-электрический экскаватор с индивидуальными электродвигателями для отдельных механизмов копает траншеи глубиной до 2,2 и шириной 1,2 и 1,45 м при расчетной производительности до 500 м³/ч. Вес такой машины 25 т, мощность двигателя 150 л.с. Универсальный экскаватор роторного типа при ширине ротора 1,2 м может копать траншею шириной от 1,2 до 2,6 м. Особенностью этого экскаватора является наличие гидравлического устройства, автоматически осуществляющего переменное движение передней части рамы с ротором в горизонтальной плоскости, в стороны от оси копания на заданную величину.

Роторные траншейные экскаваторы более изнаноустойчивы, чем цепные, так как у них отсутствует быстро изнашивающаяся ковшовая цепь, и они более производительны, но могут копать траншеи глубиной только до 2,5 м, так как при большей глубине траншеи требуется ротор очень больших размеров.

На рис. 7.24, *а* показан многоковшовый цепной карьерный экскаватор – планировщик поперечного копания. Такие экскаваторы работают при малой толщине срезаемой стружки на грунтах без каменистых включений. Этим значительно ограничивается область их применения в строительстве. Экскаватор поперечного копания движется по рельсам вдоль забоя, срезая ковшами вдоль откоса тонкую стружку. Экскаватор может копать выше или ниже уровня площадки, по которой он передвигается. Экскаваторы поперечного копания могут выдавать грунт через бункер в транспортные средства или с помощью отвального транспортера выдавать грунт в отвал, идущий параллельно обрабатываемому откосу на некотором расстоянии от него.

На рис. 7.24, *б* показан карьерный роторный экскаватор. Привод основных механизмов – ротора с ковшами, ленточных транспортеров, лебедок, механизма поворота платформы экскаватора и гусеничного хода – осуществляется электродвигателями переменного тока, питаемыми от сети. Средняя потребляемая мощность 500 кВт. Ротор имеет восемь ковшей емкостью по 350 л; диаметр ротора 6 м. Производительность машины 500 м³/ч, вес 400 т. Рабочие размеры машины: радиус копания 24 м, высота копания 20 м, глубина копания 3 м. Машина имеет автоматическое управление приводом поворота. Экскаватор может работать с отвалообразователем.

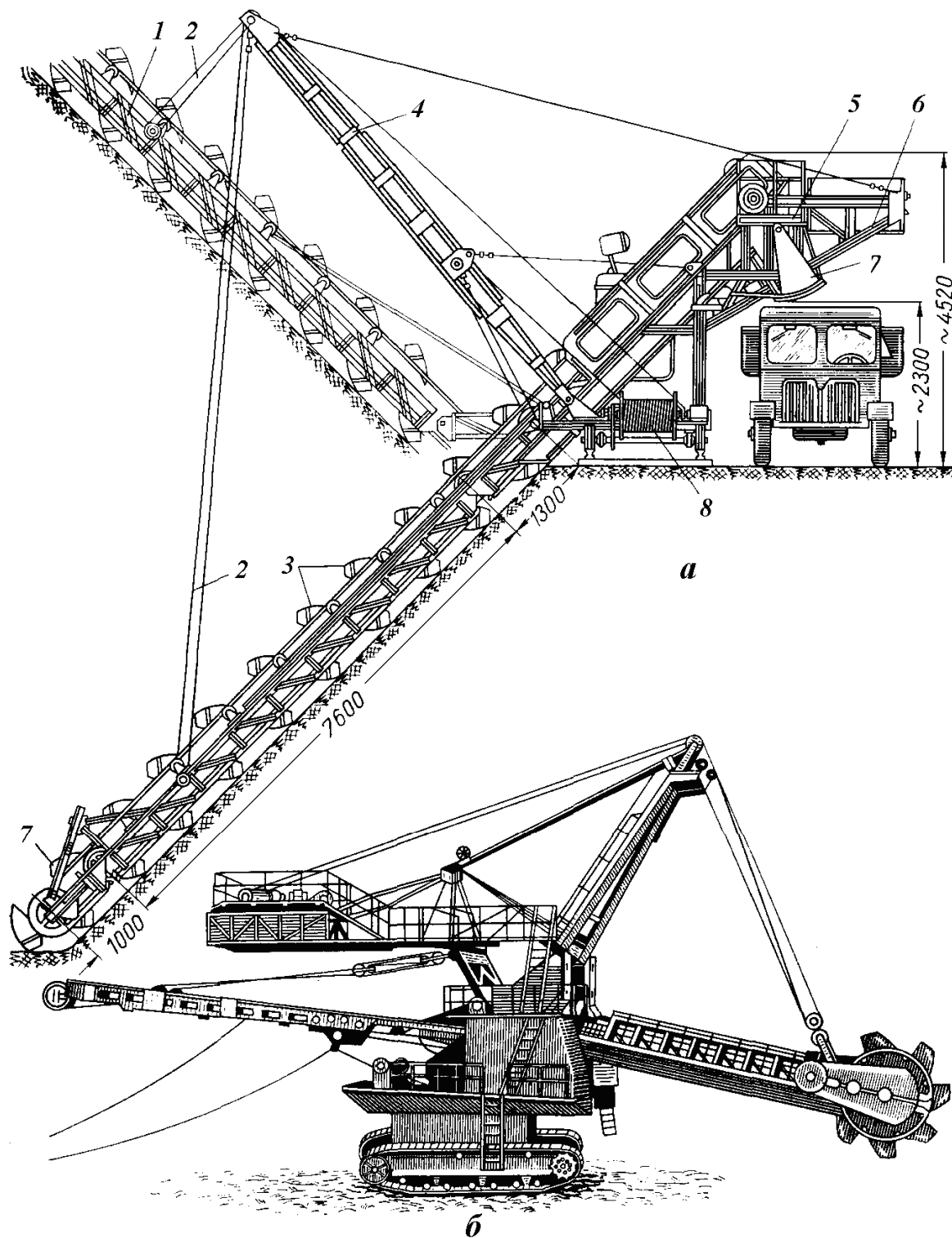


Рис. 7.24. Многоковшовые экскаваторы поперечного копания:

a – цепной; *б* – роторный; 1 – планирующее звено; 2 – подвеска; 3 – ковшовая цепь; 4 – стрела; 5 – ссыпной лоток; 6 – противовес; 7 – затвор; 8 – лебедка

Для рытья оросительных каналов созданы специализированные экскаваторы – каналокопатели. Для каналов глубиной до 1,2 м, шириной по верху – 2...4,4 м, с заложением откосов 1:1...1:1,5 наиболее эффективно использовать экскаваторы ЭТР-122 (рис. 7.25).

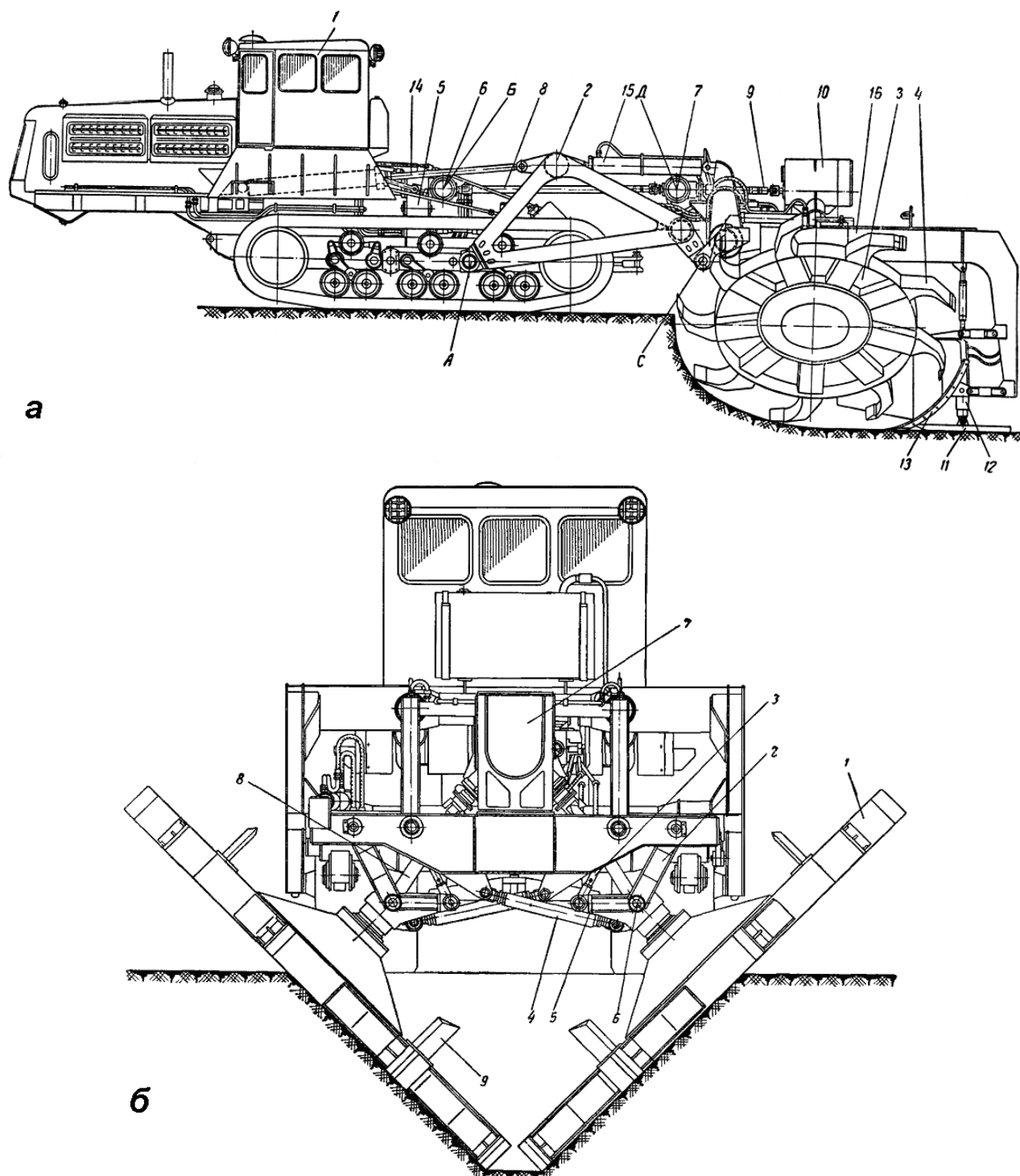


Рис. 7.25. Экскаватор ЭТР-122:

a – рабочее положение; *б* – поперечный разрез

Базой машины служит трактор Т-180 в специальном исполнении с выдвинутым вперед двигателем и кабиной. К задней части рамы трактора 1 при помощи навесной системы 2 присоединен рабочий орган с двумя наклонными роторами 3 (рис. 7.25, *a*). При поступательном движении машины роторы 3 вырезают грунт по профилю канала. Средняя часть сечения канала, подрезанная роторами, разрушается торцевыми ножами. Лапы 4 роторов выносят грунт на поверхность.

Привод роторов осуществляется от вала отбора мощности трактора через редуктор 5, поворотные конические редукторы 6 и 7, карданные валы 8 и 9 и

раздаточный редуктор 10. Рабочий орган опирается на дно отрываемого канала при помощи лыжи 11 с гидроцилиндром 12. Зачистка дна траншеи осуществляется ножом 13. Рабочий орган в процессе движения заглубляется и выглубляется с помощью гидроцилиндра 12, воздействующую на опорную лыжу.

Рабочий орган в транспортное положение поднимается гидроцилиндром 14. Плоско-параллельное перемещение рабочего органа осуществляется при помощи дополнительного гидроцилиндра 15, автоматически удерживающего раму 16 рабочего органа в горизонтальном положении параллелограммной системой с шарнирами А, Б, С, Д, в которой между шарнирами Б и Д установлена штанга с золотником. При удлинении или укорочении этого звена во время подъема рабочего органа золотник включает соответствующую полость гидроцилиндра 15; при этом восстанавливается параллельность сторон параллелограмма и обеспечивается горизонтальность положения рамы рабочего органа.

Роторы 1 (рис. 7.25, б) подвешены к раме машины при помощи четырехзвенников с качающимися серьгами 2 и 3, наклон которых регулируется винтовыми стяжками 4. При удлинении стяжек 4 роторы раздвигаются, сохраняя положение параллельное первоначальному, и увеличивается ширина отрываемого канала, а при укорочении стяжек ширина канала уменьшается. Хвостовик 5 ротора соединен с параллелограммной подвеской винтовой стяжкой. При изменении длины стяжки ротор поворачивается относительно шарнира б, благодаря чему обеспечивается требуемое заложение откосов. Привод ротора от раздаточного редуктора 7 осуществляется телескопическими карданными валами 8. При изменении положения ротора изменяются углы наклона и длина карданных валов 8. Целик грунта, остающийся после прохода роторов, равномерно разрушается торцевыми ножами 9.

Для строительства крупных каналов глубиной до 10 м, шириной по верху до 100 м, с заложением откосов 1:2...1:3 используются роторные экскаваторы с ротором, установленном на стреле, аналогично изображенному на рис. 7.24, б, но только с гидроприводом, обеспечивающим необходимую плавность и скорость маневрирования рабочего оборудования.

Производительность многоковшовых экскаваторов определяется по формуле

$$Q = 60qnk_n k_b / 1000k_p \text{ м}^3/\text{ч},$$

где q – емкость ковша в л; n – число разгрузок ковшей в минуту; k_n , k_b , k_p – коэффициенты наполнения ковшей, использования машины во времени, разрыхления.

7.5. Машины для разработки мерзлых и прочных грунтов, для разрушения твердых покрытий и строительных конструкций

Мерзлые грунты по сравнению с немерзлыми (талыми) характеризуются значительно большим сопротивлением разрушению (в 15...20 раз) и абразивностью (в 100...150 раз), трудоемкостью и стоимостью разработки. Производительность землеройных и землеройно-транспортных машин при разработке мерзлых грунтов резко снижается.

При небольших объемах работ, например при выполнении ремонтов, применяют оттаивание, которое может выполняться различными способами, например с использованием твердого, жидкого или газообразного топлива; с применением горизонтальных ТЭНов, отражательных электропечей, электротепляков и т.п. Далее разработка грунта выполняется традиционными способами.

В современном строительстве разработку мерзлых грунтов ведут в основном двумя способами – взрывным и механическим. Взрывной способ рыхления мерзлых грунтов применяется обычно при больших объемах работ на открытых, удаленных от сооружений площадках при глубине промерзания более 1 м. В последнее время взрывной способ находит применение в стесненных городских условиях с использованием локализаторов взрыва, не допускающих разлета кусков грунта и повреждения сооружений.

Преимущественное распространение (более 80% общего объема работ с прочными и мерзлыми грунтами, а также снятия твердых покрытий) получил высокоэффективный и универсальный механический способ разработки мерзлых грунтов с использованием специальных машин, условно подразделяемых на две группы: машины для подготовки (предварительного рыхления, нарезания на блоки) мерзлых грунтов и последующей окончательной разработки взаимодействующими с ними в комплексе землеройными машинами общего назначения; машины, самостоятельно выполняющие весь комплекс разработки до заданной отметки и эвакуации мерзлого грунта из забоя. К первой группе относятся навесные рыхлители (см. рис. 7.4) на тракторах класса 10...50, машины ударного действия для рыхления грунта ударными импульсами, машины безударного действия для отрыва грунта от массива, баровые и дискофрезерные машины для нарезания щелей в мерзлых грунтах; ко второй – землеройно-фрезерные машины и траншейные цепные и роторные экскаваторы, рабочие органы и скоростные режимы которых приспособлены для послойной разработки мерзлых грунтов с промерзанием на всю глубину траншеи. Твердые дорожные покрытия и грунты при относительно неглубоком промерзании (до 1 м) можно эффективно взламывать рыхлителями, установленными на мощных гусеничных тракторах, но отечественная промышленность их пока не выпускает.

Машины ударного действия воздействуют на разрушаемую среду (мерзлый грунт, твердое дорожное покрытие, фундамент и т.п.) ударными импульсами свободно падающих или забиваемых рабочих органов. Самым распространенным видом свободно падающих рабочих органов являются клин-молоты конусообразной, пирамидальной и клиновидной форм массой 0,5...4 т.

Клин-молот 3 (рис. 7.26, а) подвешивается к подъемному канату 2 грузовой фрикционной лебедки стрелового самоходного крана или одноковшового механического экскаватора с крановой стрелой 1 и при работе подтягивается лебедкой к оголовку стрелы и сбрасывается с высоты 6...8 м. Свободно падающий клин-молот наносит ненаправленные удары, что приводит к высоким затратам энергии на разрушение грунта, снижает качество работ и способствует опасному интенсивному разлету кусков грунта в стороны.

Клин-молот может быть помещен в жесткие направляющие 5 (рис. 7.26, б) и при сбрасывании попадает в точно заданное место, что позволяет разрушать грунт наименее энергоемким методом крупного скола и уменьшить опасность разлета осколков. Клин-молот с направляющим устройством обычно монтируется на гусеничном или пневмоколесном тракторе, на котором устанавливается подъемная зубчато-фрикционная лебедка с приводом от коробки отбора мощности трактора. Направляющее устройство соединяется с базовой машиной упругими амортизирующими элементами 4, что снижает воздействие динамических нагрузок на трактор при работе. Оборудование с забиваемым рабочим органом разрабатывает мерзлые грунты большой прочности с глубиной промерзания 1...1,5 м наиболее эффективным методом крупного скола. Забивание рабочего органа в грунт может осуществляться: свободно падающим грузом б (рис. 7.26, в), подвешенным на канате подъемной лебедки базовой машины и движущимся относительно направляющей 5; дизель-молотами, вибромолотами; гидравлическими, пневматическими гидропневматическими молотами, используемыми в качестве сменного рабочего оборудования одноковшовых строительных экскаваторов (рис. 7.17, о, 7.27). Гидро- и пневмомолоты в настоящее время являются самым распространенным и эффективным оборудованием для разрушения мерзлых грунтов ударной нагрузкой.

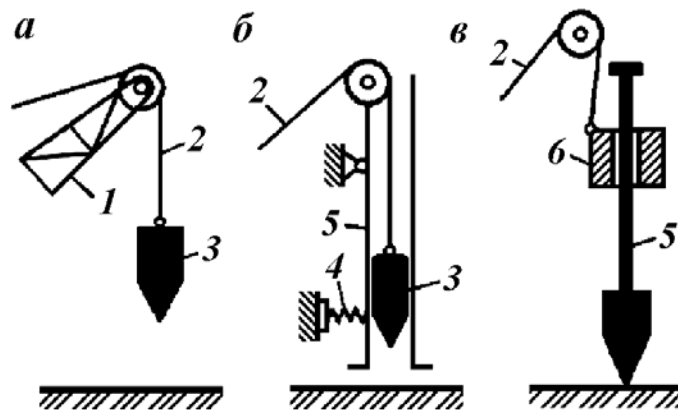


Рис. 7.26. Схемы рабочих органов ударного действия:

а – с ненаправленными ударами; б – с направленными ударами; в – с забиваемым клином

Гидравлические молоты навешиваются на экскаваторы 2...5-й размерных групп вместо ковша обратной лопаты и соединяются с рукоятью посредством быстросъемного крепления. Экскаватор, оборудованный гидромолотом с рабочим инструментом в виде клина, пики и трамбовки, можно применять при рыхлении мерзлого грунта, дроблении негабаритов твердых и горных пород, взламывании мерзлого грунта и дорожных покрытий, кирпичных и бетонных фундаментов и других работах, а также для уплотнения грунта. При разработке грунта можно изменять угол наклона гидромолота к поверхности грунта. В комплект оборудования гидромолота (рис. 7.27) входят: стрела 1, рукоять 4, гидромолот 5 и гидроцилиндры 2, 3, 6 подъема стрелы, поворота рукояти и молота. Гидромолоты приводятся в действие от насосов гидросистемы базового экскаватора, что обеспечивает лучшее использование установленной мощности и снижение эксплуатационных затрат. Гидромолоты

создают значительные импульсы силы направленного действия и обеспечивают наименьшую энергоемкость процесса разработки мерзлых грунтов и разрушения твердых покрытий.

Различают гидромолоты *простого* и *двойного действия*. В гидромолотах двойного действия подъем ударной части (холостой ход) осуществляется под давлением рабочей жидкости, а разгон ее вниз при рабочем ходе – под действием собственного веса и энергии рабочей жидкости или сжатого газа, накопленной во время холостого хода в гидравлическом или пневматическом аккумуляторе. Молоты с пневмоаккумулятором называют также гидропневматическими.

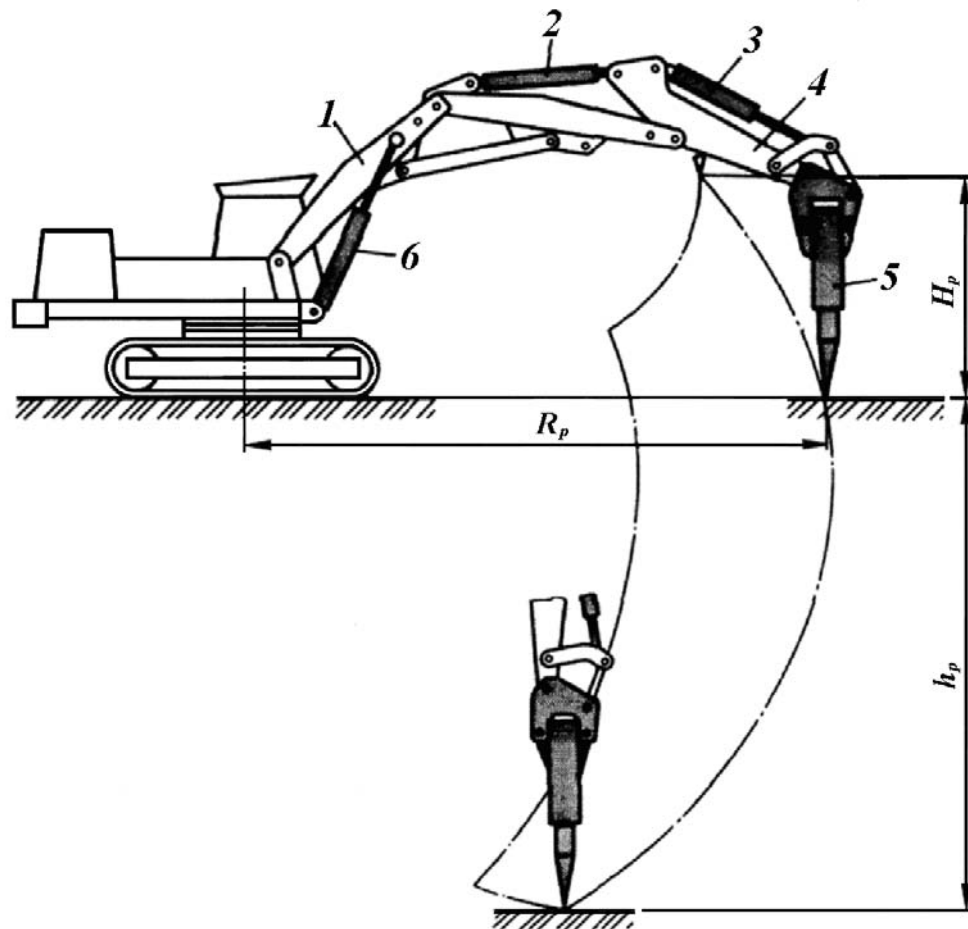


Рис. 7.27. Рабочее оборудование гидромолота на экскаваторе

Молоты с гидроаккумулятором просты в управлении и обслуживании, имеют довольно высокий к.п.д. (0,55...0,65). Они издадут при работе слабый шум, поэтому их можно использовать в густонаселенных местах. Гидравлические молоты развивают энергию удара 1800...9000 Дж, имеют частоту ударов 2,2...5 Гц, массу ударной части 100...600 кг, рабочее давление в гидросистеме 10...16 МПа.

У гидропневматических молотов давление рабочей жидкости воздействует на боек при рабочем и холостом ходах. Одновременное воздействие на боек давления жидкости и энергии газа аккумулятора при рабочем ходе позволяет повысить коэффициент использования мощности насосной установки, снизить пульсацию давления рабочей жидкости, улучшить технико-эксплуатационные показатели молотов.

Гидромолоты могут быть использованы по двум технологическим схемам: 1) экскаватор с молотом работает непрерывно, а выемка грунта осуществляется другим экскаватором; 2) экскаватор с молотом выполняет заданную часть работы, а затем производится замена молота ковшем. При работе с молотами стрела экскаватора устанавливается в плавающее положение, что обеспечивает полную виброизоляцию рабочего места машиниста. Молоты комплектуются легко сменяемыми рыхлительными, дробящими, сваебойными, трамбуемыми инструментами и запускаются в работу автоматически при опирании с определенным усилием рабочего инструмента на разрушаемый (забиваемый) объект. Гидропневматические молоты развивают энергию удара 500...9000 Дж, имеют частоту ударов 3,5...12 Гц. Давление зарядки газового аккумулятора 0,6...1,2 МПа, рабочее давление в гидросистеме 10...16 МПа.

При работе машин ударного действия возникают динамические нагрузки, вредно воздействующие как на базовую машину, так и на расположенные поблизости сооружения и коммуникации.

В стесненных условиях сложившейся застройки при работе вблизи зданий и подземных коммуникаций широко применяют гидравлические экскаваторы с рыхлительным и захватноклещевым рабочим оборудованием, которое разрушает мерзлый грунт безударным методом отрыва его от массива. Для разрушения больших объемов мерзлого грунта (например при прокладке линейных коммуникаций открытым способом) используют высокопроизводительные землерезные и землеройно-фрезерные машины.

Оборудование захватно-клевцевого типа навешивается на гусеничные гидравлические экскаваторы 4-й и 5-й размерных групп и предназначено для рыхления мерзлых грунтов, взламывания асфальтобетонных дорожных покрытий, разборки старых зданий, снятия и укладки дорожных плит, труб, установки колодцев, погрузки негабаритов и т.п. Это оборудование, выпускаемое в двух исполнениях (с одно- и трехзубым рыхлителем-захватом), устанавливают вместо ковша и рукояти обратной лопаты. Зубья одно- и трехзубых рыхлителей наплавляют твердым сплавом.

В комплект однозубого рыхлителя (рис. 7.28, а) входят: двусторонний клык-рыхлитель 6 со сменными передним 7 и задним 8 зубьями, шарнирно прикрепленный к двуплечему рычагу 5, ковш обратной лопаты 4 и пара гидроцилиндров 2 поворота рычага с рыхлителем относительно рукояти 1, взаимозаменяемых с гидроцилиндрами 3 ковша обратной лопаты. Разработка грунта осуществляется при перемещении рукояти с клыком-рыхлителем к экскаватору или поворотом клыка в обе стороны относительно рукояти гидроцилиндрами 2, работающими от гидросистемы машины. Шарнирное соединение клыка-рыхлителя с рычагом позволяет разрыхлять грунты с наиболее рациональными углами резания. При разрушении грунта передним зубом 7 клык-рыхлитель движется к опирающемуся на грунт зубьями ковша 4, прорезая в грунте щель. Возникающие при этом усилия на зубьях рыхлителя и ковша направлены навстречу друг другу, чем значительно снижается передача нагрузки на базовую машину. Задний зуб клыка-рыхлителя, движущийся снизу

вверх к экскаватору, используется как при рыхлении мерзлого грунта, так и при взламывании дорожных покрытий и погрузочно-разгрузочных работах.

Трехзубый рыхлитель (рис. 7.28, б) состоит из сварной рамы 9 и трех сменных зубьев – центрального 11 и двух боковых 10. Боковые зубья можно устанавливать в трех положениях для получения различных по значению усилий рыхления в зависимости от прочности разрушаемого грунта.

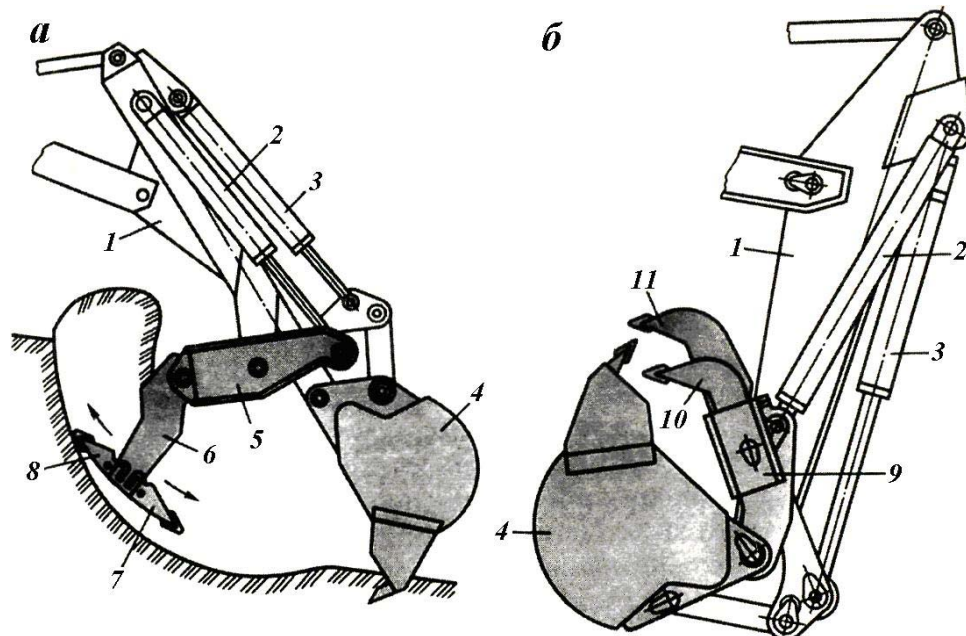


Рис. 7.28. Оборудование захватно-щипцевого типа с однозубым (а) и трехзубым (б) рыхлителями

Землерезные машины применяют для нарезания щелей шириной до 0,3 м в однородных, мерзлых и трудноразрабатываемых немерзлых прочных грунтах. Они представляют собой баровое, цепное и дискофрезерное рабочее оборудование, которое навешивается на серийные цепные траншейные экскаваторы (вместо основного рабочего органа), на гусеничные и пневмоколесные тракторы, дооборудованные гидромеханическими ходоуменьшителями, механизмами привода рабочих органов и гидравлическими подъемными механизмами для управления навесным оборудованием. Цепные и дискофрезерные рабочие органы могут навешиваться на одинаковые базовые шасси. Главный параметр землерезных машин – максимальная глубина нарезаемой щели.

Баровые рабочие органы – цепные бары от угольных врубовых машин или комбайнов в виде бесконечной цепи с резцами, обегаящей плоскую раму с приводной и натяжной звездочками. Баровыми рабочими органами, прорезающими щели шириной 0,14 м, оборудуются цепные траншейные экскаваторы. Барами прорезают вертикальные продольные щели в однородных мерзлых грунтах на глубину до 2,0 м. На одну базовую машину могут быть навешены индивидуально гидроуправляемые один, два или три бара.

Однobarовые машины имеют центральное и боковое (смещенное) расположение рабочего органа для нарезания щелей вдоль тротуаров. Барами разрезают массив мерзлого грунта на отдельные блоки массой 5...10 т, которые

удаляют из забоя лебедками и кранами. Иногда нарезанный бaramи грунт предварительно рыхлят машинами ударного действия, а его дальнейшую выемку производят экскаваторами.

Наибольшее распространение получили цепные щелерезные машины, на которых используется однотипное максимально унифицированное навесное щелеройное оборудование, состоящее из четырех модулей: цепного рабочего органа 4, механизмов его привода 2 и заглубления 3 и гидромеханического ходоуменьшителя 5 базового трактора 1 (рис. 7.29). Цепные щелерезные органы представляют собой гусеничные цепи движителей тракторов класса 10 с резами и состоят из направляющей рамы, ведущей (приводной) звездочки, установленной на выходном валу механизма привода, натяжного направляющего ролика и натяжного винтового устройства. На звеньях режущей цепи крепят сменные резцедержатели с резами от баров угольных врубовых машин или комбайнов. Для улучшения транспортирующей способности при резании мерзлых грунтов и повышения производительности машины при работе в талых грунтах к резцедержателям дополнительно крепят скребки.

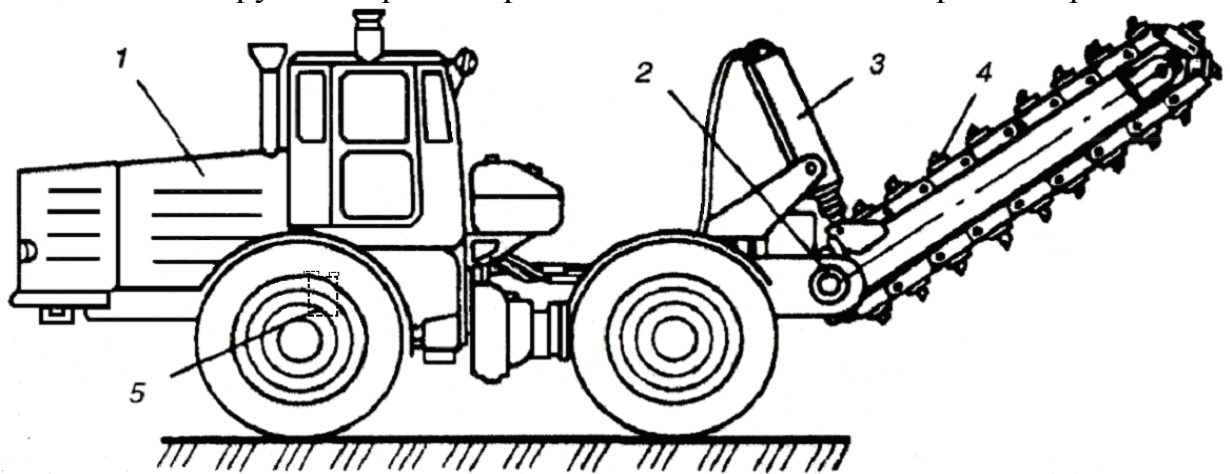


Рис. 7.29. Однобаровая щелерезная машина

Основными достоинствами цепных и баровых щелерезных машин являются простота конструкции и удобство в эксплуатации, небольшая металлоемкость и достаточно высокая (до $70 \text{ м}^3/\text{ч}$) производительность, недостатками – большие затраты мощности (до 60% от всей потребляемой) на измельчение грунта и преодоление трения в цепях, низкая долговечность рабочего органа, работающего в абразивной среде.

Дисковые щелерезные машины (дискофрезерные) нарезают в мерзлых грунтах щели шириной 80...120 мм на глубину до 1...2 м с помощью одного или двух оснащенных резами дисков (роторов) диаметром до 3 м. Эти машины применяют также для рытья узких траншей прямоугольного профиля под кабели электропередач и связи, трубопроводов малых диаметров, а также вскрытия асфальтовых дорожных покрытий. Дисковым рабочим оборудованием оснащаются траншейные экскаваторы и гусеничные тракторы, оборудованные ходоуменьшителями и бульдозерными отвалами. Привод рабочего органа может быть механическим и гидравлическим. Скорость резания составляет 2...3 м/с.

Дисковая щелерезная машина (рис. 7.30) предназначена для рытья траншей и щелей шириной 0,28 м и глубиной до 1,3 м в мерзлых и плотных грунтах. Навесное рабочее оборудование экскаватора включает дисковый ротор с гидравлическим приводом, раму 8 с зачистным устройством 10 и гидравлический механизм подъема-опускания ротора. Ротор состоит из диска 13, на котором с помощью зубодержателей 11 установлены восемнадцать зубьев 12, разрабатывающих грунт и выносящих его на поверхность. Ротор установлен на опоре 14 рамы и приводится во вращение от высокомоментного гидромотора 6 через зубчатый редуктор 7. Выходная шестерня 16 редуктора входит в зацепление с зубчатым венцом 9, жестко прикрепленным к диску ротора.

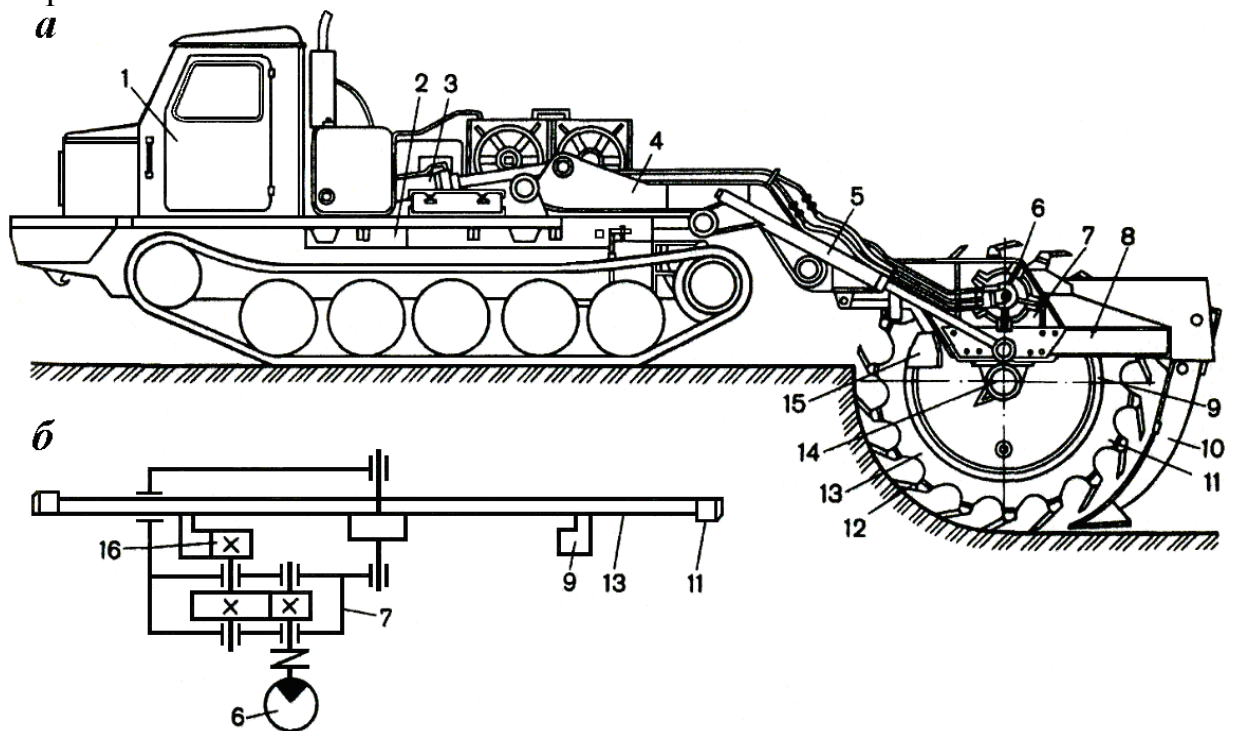


Рис. 7.30. Дисковая щелерезная машина:

а – общий вид; *б* – кинематическая схема привода ротора

Рабочий орган не имеет специального оборудования для транспортирования разработанного грунта; вынесенный зубьями на поверхность грунт отодвигается в обе стороны от бровки траншеи плужками 15 рамы 8 и располагается валиком вдоль отрываемой траншеи. Подъем и опускание рабочего органа осуществляется гидравлическим подъемным механизмом, включающим два гидроцилиндра 3, раму 4 и телескопические тяги 5. Рабочие скорости экскаватора при копании траншей обеспечиваются гидромеханическим ходоуменьшителем и бесступенчато регулируются в диапазоне 10...480 м/ч.

Для получения транспортных скоростей передвижения машины (2,2...9,8 км/ч) используется тракторная коробка передач. Привод насосов гидросистемы экскаватора и гидромотора ходоуменьшителя осуществляется от раздаточной коробки 2. Основные достоинства дискофрезерных машин по сравнению с баровыми и цепными – пониженная энергоемкость процесса резания за счет малого количества трущихся поверхностей ротора более высокие

производительность и долговечность (в 2...3 раза) жесткого рабочего органа; основные недостатки – высокая металлоемкость и ограниченная глубина копания, составляющая примерно 0,5 диаметра ротора.

Эксплуатационную производительность щеленарезных машин ($\text{м}^3/\text{ч}$) определяют по объему разрушенного грунта:

$$P_э = nH_{щ}B_{щ}k_в,$$

где n – число одновременно нарезаемых щелей; $H_{щ}$, $B_{щ}$ – глубина и ширина прорезаемой щели, м; v_p – рабочая скорость движения машины, м/ч; $k_в$ – коэффициент использования машины по времени.

Землеройно-фрезерные машины (ЗФМ) применяют для послойной разработки (фрезерования) мерзлых грунтов и твердых пород при выполнении планировочных работ, отрывке корыт под внутриквартальные дороги, трамвайные и подкрановые пути, а также разрушения асфальтобетонных покрытий с последующей экскавацией разрушенных материалов бульдозерным отвалом.

Главным параметром ЗФМ является ширина фрезеруемой за один проход полосы. ЗФМ базируются на серийных гусеничных бульдозерах тягового класса 10...15, оборудованных гидромеханическими ходоуменьшителями для получения пониженных рабочих скоростей передвижения, бесступенчато регулируемых в диапазоне 0...500 м/ч. Конструкции современных ЗФМ имеют мало различий.

Рабочий орган ЗФМ – фреза диаметром 900...1020 мм, представляющая собой горизонтальный полый вал с приваренными перпендикулярно его оси кронштейнами, которые оснащены сменными режущими наконечниками (клыками) с износостойкой твердосплавной наплавкой. Кронштейны в количестве от 21 до 26 расположены на валу по одной или двум винтовым линиям, расходящимся от середины вала. Такая расстановка кронштейнов обеспечивает определенную последовательность работы каждого резца, минимальные колебания энергозатрат в процессе фрезерования, ровность планируемой поверхности, а также транспортирование части разрушенного грунта к краям обрабатываемой полосы.

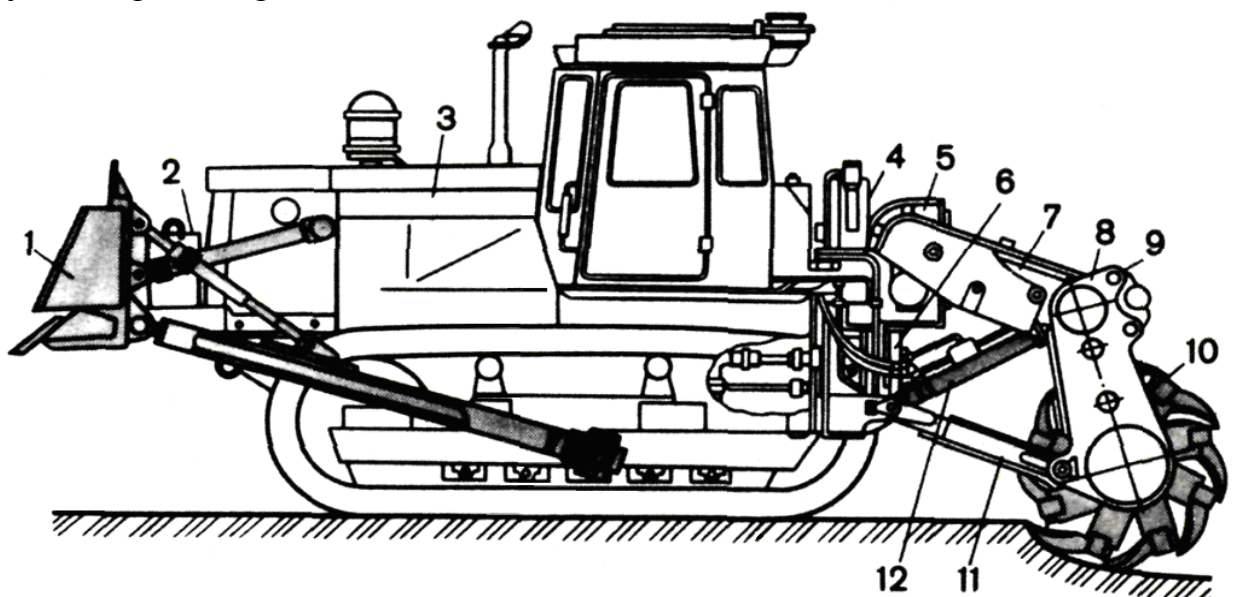


Рис. 7.31. Землеройно-фрезерная машина

Машина послойного фрезерования (рис. 7,31) эффективно разрабатывает мерзлые грунты с температурой до -10°C , прочностью по плотномеру ДорНИИ до 250 ударов с каменистыми включениями крупностью не более 50 мм.

Машина состоит из базового трактора класса 10 с бульдозерным оборудованием, рабочего органа фрезерного типа, силовой передачи для привода рабочего органа, навесного устройства, гидропривода подъема и опускания рабочего органа, гидромеханического ходоуменьшителя, системы управления и противовеса.

Привод фрезы 10 осуществляется от редуктора отбора мощности 5, через цепные передачи 7 и бортовые редукторы 8. Привод обеспечивает одну или две скорости резания в диапазоне 0,7...1,4 м/с и оборудуется предохранительной муфтой предельного момента 6. Рабочий орган навешивается на базовый трактор с помощью четырехзвенного шарнирного механизма, образованного общим корпусом редуктора отбора мощности и ходоуменьшителя 4, тягами цепных передач, нижней рамой 11 и корпусами бортовых редукторов, жестко связанных между собой поперечной балкой 9. Перевод рабочего органа в транспортное и рабочее положения и удержание его на заданной глубине фрезерования осуществляются двумя гидроцилиндрами 12, работающими от гидросистемы базового трактора 3. Для уравнивания массы навесного оборудования в передней части машины установлен противовес 2.

Современные ЗФМ за один проход обрабатывают полосу грунта шириной 2,6...3,4 м при глубине фрезерования до 0,25...0,35 м. После каждого прохода фрезой разрушенный грунт (материал) убирается бульдозерным отвалом 1. Производительность ЗФМ при разработке мерзлого грунта составляет 140...400 м³/ч.

Основным недостатком землеройно-фрезерных машин является интенсивный абразивный износ режущих элементов.

7.6. Машины для бестраншейной прокладки коммуникаций и проходки тоннелей

Прокладку подземных коммуникаций различного назначения (газо- и водопровода, канализации, теплосети, кабелей электроснабжения и связи и т.п.) в городских условиях часто приходится производить под действующими автомобильными и железными дорогами, трамвайными путями, городскими улицами и площадями, зданиями и сооружениями с использованием бестраншейных (закрытых) способов прокладки.

К наиболее распространенным бестраншейным способам прокладки коммуникаций относятся: горизонтальное механическое бурение, прокол и продавливание, щитовая проходка. При бестраншейной прокладке сохраняются целостность и нормальная работа пересекаемых дорог и улиц, наземных и подземных сооружений, сокращаются объем земляных работ (на 60...80%), сроки и стоимость прокладки коммуникаций, которая может проводиться круглогодично. Выбор оптимального способа бестраншейной прокладки определяется геометрическими размерами, назначением и глубиной заложения

коммуникаций, расположением, протяженностью и грунтовыми условиями ее трассы, характером пересекаемых сооружений и действующих коммуникаций.

Горизонтальное бурение применяют для прокладки под автомобильными и железными дорогами трубопроводов и защитных футляров для размещения в них рабочих трубопроводов, кабелей и других коммуникаций. Бурение горизонтальных скважин и прокладку в них трубопроводов производят с помощью специальных механизированных установок циклического и непрерывного действия.

В городском строительстве широко применяют унифицированные установки горизонтального бурения УГБ (рис. 7.32), осуществляющие непрерывное механическое бурение фрезерной головкой горизонтальной скважины с одновременной прокладкой в ней защитной трубы-кожуха, через которую затем протаскивается рабочий трубопровод несколько меньшего диаметра. Эти установки имеют одинаковый принцип действия и обеспечивают прокладку в грунтах I...IV категории труб-кожухов под трубопроводы диаметром 325...1420 мм при максимальной длине прокладки 40...60 м.

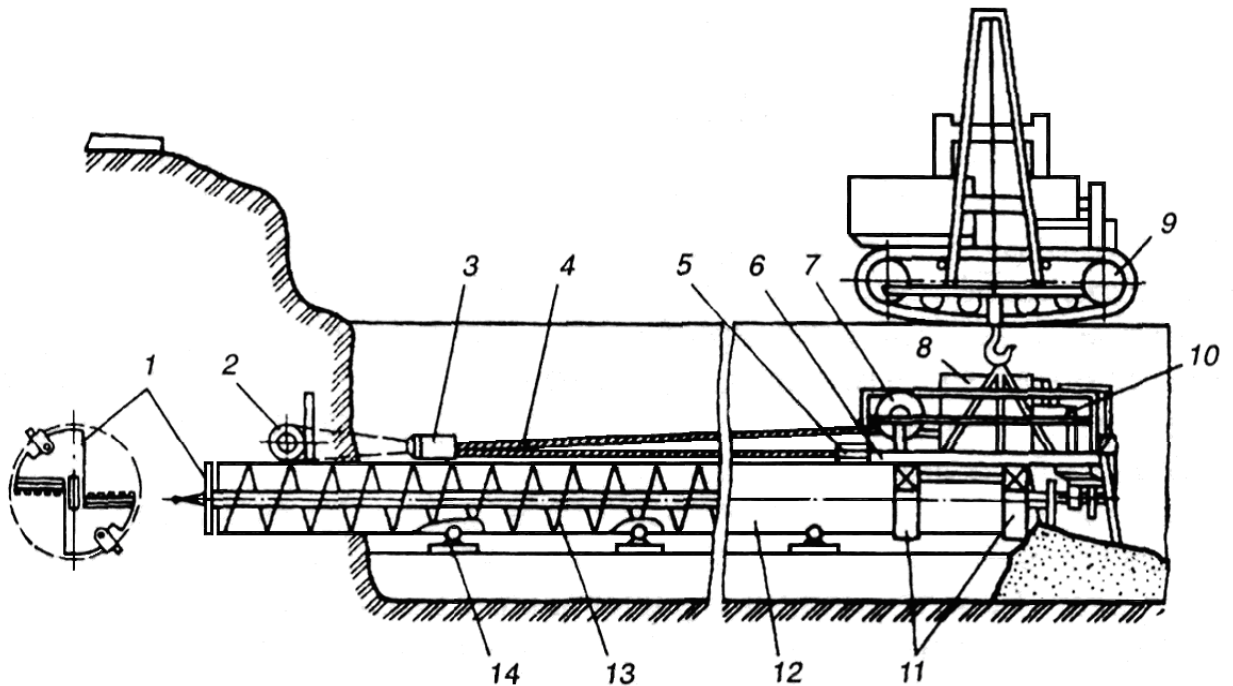


Рис. 7.32. Установка для горизонтального бурения типа УГБ

В УГБ двигатель внутреннего сгорания 8 посредством механической или гидромеханической трансмиссии 10 сообщает вращение расположенному в трубе-кожухе 12 шнеку 13 с буровой фрезерной головкой 1. Подача установки при бурении скважины обеспечивается тяговой лебедкой 7 с тяговым усилием до 80 кН через канатный полиспаст 4 переменной кратности (2...10). Двигатель с механизмами привода тяговой лебедки и винтового конвейера монтируется на общей раме 6, установленной на заднем конце прокладываемой трубы-кожуха с помощью сменных стяжных хомутов 11. Подвижная обойма 5 тягового полиспаста вмонтирована в переднюю часть рамы, а неподвижная 3, ориентируемая по оси траншеи, шарнирно крепится к якорю 2, заделанному в грунт насыпи. Труба-кожух опирается на направляющие тележки 14,

размещенные на дне траншеи, из которой ведется проходка. Установка удерживается от опрокидывания и поворота сопровождающим краном-трубоукладчиком 9, который передвигается вдоль траншеи со скоростью, равной скорости подачи машины в забой.

Нагрузка на тяговый полиспаст (усилие подачи) определяется диаметром и длиной прокладываемой трубы-кожуха, ее прямолинейностью, а также физико-механическими свойствами разрабатываемого грунта. Наибольшие сопротивления подаче установки в забой возникают при строительстве переходов в легко поддающихся обрушению песчаных грунтах, при ликвидации зазора между трубой-кожухом и скважиной. В приводе тяговой лебедки имеется коробка передач, обеспечивающая несколько (до 6) скоростей вращения барабана и его реверс. Скорость подачи выбирается в соответствии с конкретными условиями проходки и составляет в среднем 2...5,5 м/ч при строительстве переходов в средних грунтах и 1,8...3,5 м/ч – в тяжелых.

Транспортировка разработанного грунта из забоя в траншею осуществляется винтовым конвейером, состоящим из трубы-кожуха, внутри которой помещен шнек, не имеющий промежуточных опор. Длина конвейера соответствует протяженности перехода. К головной секции шнека крепится сменная фрезерная буровая головка, снабженная резцами с твердосплавными пластинками. Буровая головка обеспечивает бурение скважины несколько большего (на 30...50 мм) диаметра по сравнению с наружным диаметром прокладываемой трубы-кожуха, что позволяет значительно уменьшить лобовое сопротивление подаче установки в забой.

Оптимальная частота вращения шнека $0,18...0,3 \text{ с}^{-1}$ при разработке средних грунтов и $0,1...0,15 \text{ с}^{-1}$ – тяжелых. В установках с гидромеханической трансмиссией скорости подачи в забой и вращения буровой головки со шнеком регулируются бесступенчато в зависимости от конкретных условий проходки, что позволяет автоматизировать работу установок и повысить их производительность в 1,5...2 раза. В соответствии с размерами прокладываемой трубы-кожуха каждая установка комплектуется набором винтового конвейера и фрезерными головками.

Прокол при прокладке труб осуществляется за счет вытеснения и уплотнения грунта (без его разработки) прокладываемой трубой, пневмопробойником или раскатчиком грунта.

При прокладывании трубопроводов способом прокола возникают значительные радикальные усилия, поэтому необходимо обеспечивать определенное удаление трубопроводов от земной поверхности, а также подземных сооружений и коммуникаций. В зависимости от материала коммуникации эти расстояния должны составлять: для стального газопровода или водопровода – не менее 0,8 м; до водопровода из чугунных труб – не менее пяти диаметров (d) прокладываемой трубы; до железобетонных и керамиковых труб – не менее $6d$; до водостока из бетонных труб – не менее $4d$; до электрических кабелей – не менее 0,6 м.

Различают прокол механический (статический) и вибропрокол. При механическом проколе вдавливаемой в грунт трубе сообщается поступательное

движение от продавливающего устройства или же она протаскивается через готовую скважину, полученную с помощью пневмопробойника или раскатчика грунта. При вибропроколе применено вибрирование наконечника прокладываемой трубы (реже самой трубы) при одновременном вдавливании их в грунт.

Механический прокол применяют для прокладки трубопроводов различного назначения диаметром до 426 мм в глинистых и суглинистых грунтах, при максимальной протяженности проходок до 40...60 м. В качестве продавливающих устройств при механическом проколе обычно используют насосно-домкратные установки, нажимные усилия от которой передаются прокладываемой трубе через ее торец. Для уменьшения лобового сопротивления на конце ведущего звена трубопровода устанавливают конический наконечник, диаметр основания которого превышает диаметр трубопровода на 20...30 мм. Продвигаясь в грунте, наконечник раздвигает и уплотняет его, образуя скважину.

Вибропрокол применяют при прокладке трубопроводов в песчаных, супесчаных и водонасыщенных грунтах, в которых нельзя получить устойчивую скважину и поэтому механический прокол сильно затруднен, или практически невозможен из-за больших сопротивлений движению трубы, зажатой грунтом. Сущность вибропрокола заключается в том, что прокладываемой трубе (или ее наконечнику) одновременно с усилием подачи сообщаются продольно направленные вдоль ее оси колебания, резко уменьшающие (в 8...10 раз) трение между грунтом и внедряемой в него трубой. В качестве возбудителей продольно направленных колебаний используются вибраторы направленного действия и вибромолоты, которые кроме вибрации сообщают прокладываемой трубе ударные импульсы. Вибровозбудитель (рис. 7,33, б) имеет четное число дебалансов 12. Вертикальные составляющие F_v этих сил взаимно уничтожаются, а горизонтальные F_r , направленные вдоль оси трубы, складываются. Суммарная вынуждающая сила вибратора определяется числом дебалансов, их массой и частотой вращения, равной частоте колебаний вибратора. Основной частью вибромолота является вибратор направленного действия, снабженный ударником 11 и соединенный с наковальней 13 пружинной подвеской 14. Ударные импульсы возникают при соударении ударника с наковальней, причем сила удара в несколько раз превышает вынуждающую силу вибратора.

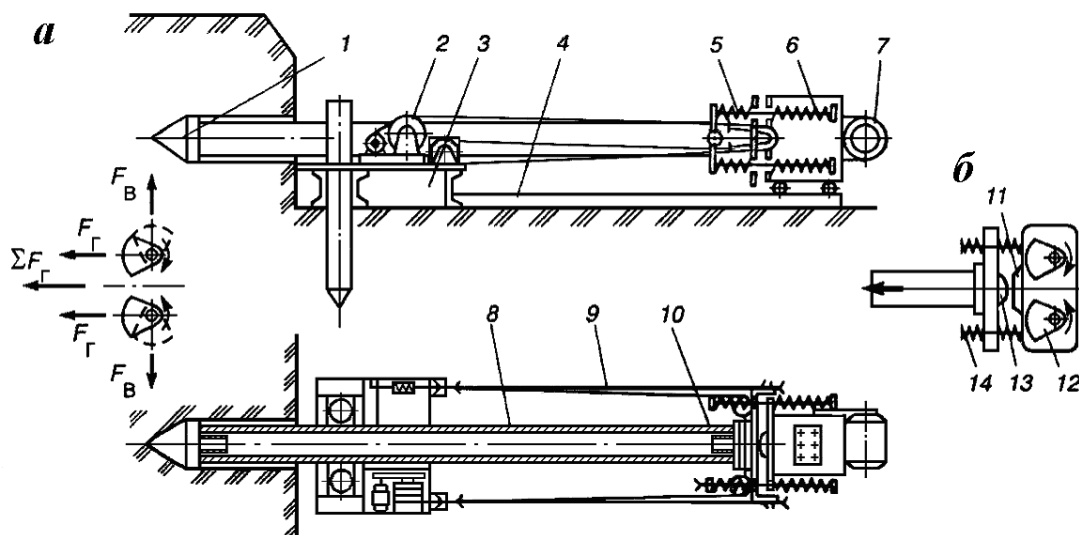


Рис. 7.33. Установка для вибропрокола

На рис. 7.33, а показана виброударная вдавливающая установка для прокладки труб (кожухов) диаметром 273...426 мм. В комплект установки входят вибромолот 6 с приводным электродвигателем 7, анкерная рама 3 с секционными направляющими 4 для перемещения вибромолота, тяговая реверсивная лебедка 2 с пригрузочным полиспастом 9, развивающим вдавливающее усилие до 300 кН. Прокладываемая труба 8 с конусным инвентарным наконечником 1 устанавливается свободным концом в наголовнике 10 вибромолота. Секции труб длиной до 8 м последовательно внедряются в грунт под действием виброударных импульсов и вдавливающего усилия пригрузочного полиспаста. Проложенная труба соединяется с очередной электросваркой. Для обеспечения оптимального сочетания усилия вдавливания с наиболее эффективным ударным режимом в процессе работы установки можно регулировать натяжение пружинной подвески 5 вибромолота в зависимости от сопротивления грунта внедрению прокладываемой трубы с помощью пригрузочного полиспаста.

Вибропроколом прокладывают трубы диаметром до 426 мм на длину до 25...50 м. Скорость проходки зависит от грунтовых условий и диаметра прокладываемой трубы и составляет, в среднем 20...60 м/ч.

Пневматические пробойники широко используют для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций под действующими автомобильными и железными дорогами, трамвайными путями, улицами и площадями, зданиями и сооружениями, а также для изготовления набивных свай, глубинного уплотнения грунтов и т.п. Они представляют собой самодвижущиеся машины ударного действия и предназначены для проходки в грунтах I...III категорий сквозных и глухих горизонтальных, вертикальных и наклонных скважин с уплотненными гладкими стенками и забивания в грунт стальных труб. Через пробитые в грунте скважины затем прокладывают трубопроводы и кабели различного назначения. Забитые в грунт трубы в горизонтальном или наклонном направлении применяют как рабочие трубопроводы или как защитные футляры-кожухи для размещения в них коммуникаций. Вертикально забитые трубы могут использоваться как сваи.

По назначению пневмопробойники разделяют на две группы – для проходки скважин в грунте и для забивания в грунт труб. Главным параметром пневмопробойников для проходки скважин является наружный диаметр корпуса, т.е. диаметр проходимой в грунте скважины, у пневмопробойников для забивания в грунт труб – максимальный наружный диаметр забиваемой трубы. Некоторые типы пневмопробойников могут быть использованы как для проходки скважин, так и для забивания труб. Независимо от назначения пневмопробойники имеют одинаковые принцип действия и систему воздухораспределения, однотипные реверсивные устройства и различаются между собой размерами и массой, энергией и частотой ударов, составом оснастки и приспособлений.

Каждый пневмопробойник (рис. 7.34) состоит из цилиндрического корпуса 2 с наковальней 1, массивного ударника 3, золотникового воздухораспределительного устройства 4 и гибкого рукава 5 для подвода сжатого воздуха от компрессора. Под действием сжатого воздуха, попеременно перепускаемого золотником в полости прямого и обратного ходов, ударник совершает возвратно-поступательное движение и наносит удары по наковальне корпуса, продвигая машину вперед. В результате образуется прямолинейная скважина с гладкими стенками или забивается в грунт труба. Обратному движению пневмопробойника препятствуют силы трения между его корпусом или стенками трубы и грунтом. Возврат пробойника назад по пробитой скважине осуществляется изменением направления ударов с помощью реверсивного механизма. Управление реверсивным механизмом осуществляется либо вращением воздухоподводящего рукава, либо его натяжением.

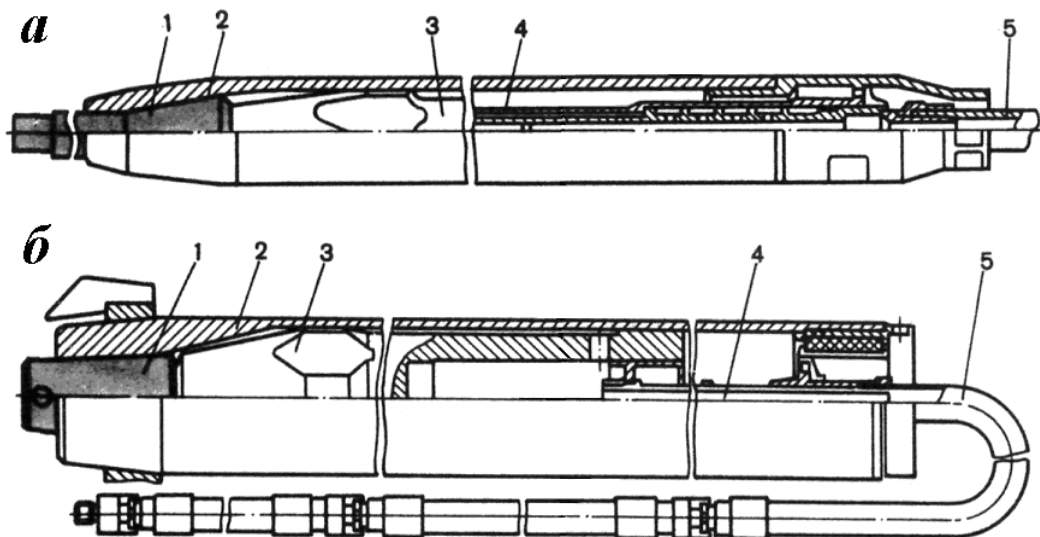


Рис. 7.34. Пневмопробойники для проходки скважин (а), для забивания труб (б)

Для увеличения диаметра скважины пневмопробойники снабжаются сменными конусными уширителями, закрепляемыми на корпусе машины. Корпуса пневмопробойников для забивки труб соединяются с забиваемыми трубами с помощью насадок.

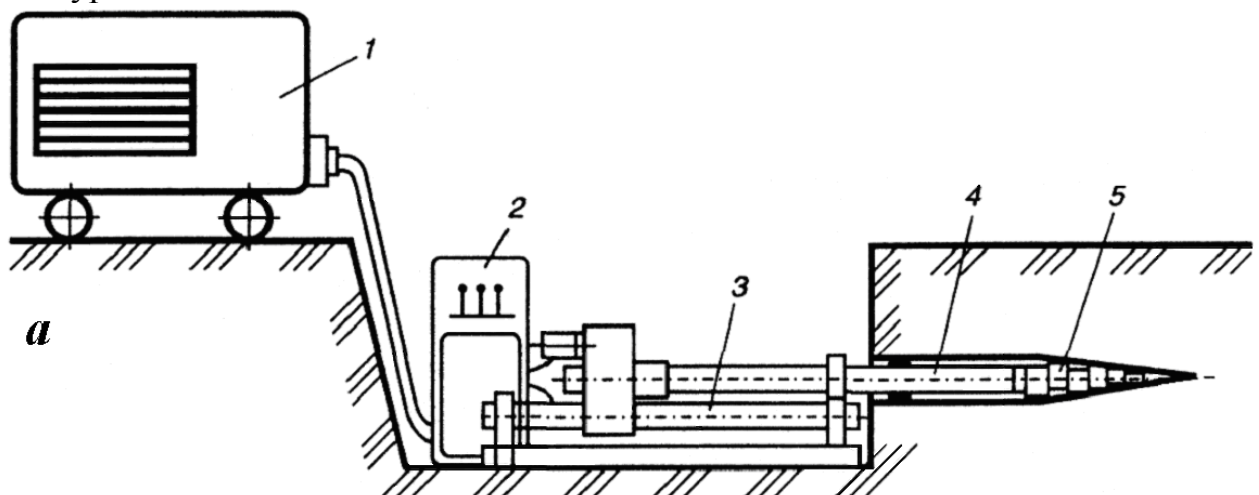
Предусмотрен выпуск пневмопробойников для проходки скважин с наружным диаметром (без уширителя) 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160 и 200 мм,

для забивания труб – с максимальным диаметром забиваемых труб 400; 630; 800; 1000; 1250 и 1600 мм.

Машины для раскатки скважин в грунте. Все большее распространение получают грунтопроходные машины безударного действия с самозавинчивающимся рабочим органом для раскатки в грунте горизонтальных, вертикальных и наклонных скважин, которые называют также раскатчиками грунта.

Машина для раскатки скважин (рис. 7.35, б) состоит из привода 2 (мотор-редуктора или гидромотора) и жестко соединенного с его выходным валом рабочего органа. Последний представляет собой консольный эксцентриковый вал 3, на шейках которого установлены свободно вращающиеся конические катки 4. Шейки вала и, соответственно, оси катков развернуты под углом φ к продольной оси вала (рис. 7.35, в). При вращении вала катки катятся по спирали, центром которой является ось рабочего органа, и завинчиваются в грунт, формируя скважину 1 с уплотненными стенками. Угол φ определяет шаг завинчивая катка, т.е. подачу рабочего органа за один оборот эксцентрикового вала.

Число катков на валу рабочего органа зависит от технологии производства работ и длины (глубины) проходки. Приводной мотор-редуктор снабжен ребрами 5 для восприятия реактивного крутящего момента при вращении вала рабочего органа. Питание привода раскатчика осуществляется посредством кабеля 6 или гидрошланга высокого давления. Частота вращения вала раскатчика бесступенчато регулируется в широком диапазоне. Средняя скорость проходки скважины в различных грунтах 10...20 м/ч. Кроме проходки скважин под коммуникации, раскатчики скважин используются для усиления оснований фундаментов действующих зданий и сооружений, раскатки скважин под буронабивные сваи и т.п.



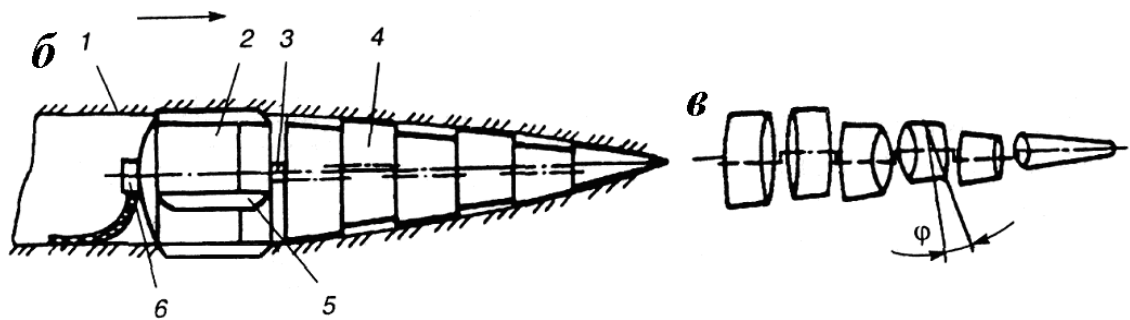


Рис. 7.35. Проходка горизонтальных скважин с помощью раскатчика грунта:
a – схема установки; *б* – схема машины для раскатки скважин; *в* – схема разворота катков

Машины для раскатки скважин экологически безопасны, бесшумны в работе, не передают динамические нагрузки на строительные конструкции и действующие коммуникации, не оказывают вредного воздействия на обслуживающий персонал.

Грунтопроходная установка с гидроприводом для бестраншейной прокладки коммуникаций (рис. 7.35, *a*) состоит из раскатчика 5, станка 3 для привода раскатчика, штанги 4 переменной длины, передвижной маслостанции 1 и пульта управления 2.

Маслостанция состоит из гидравлического насоса с приводным двигателем, бака для масла и пускорегулирующей аппаратуры. Станок для подачи раскатчика на забой сообщает рабочему органу через штангу определенное усилие и включает основание, каретку с механизмом ее перемещения и направляющую, по которой двигается каретка. На каретке установлен гидромотор для привода раскатчика.

Перед началом работ по проходке станок устанавливают на предварительно спланированной площадке с последующей фиксацией его положения анкерами. Направляющую ориентируют винтовым регулировочным механизмом по проектной оси будущей скважины. Затем включают механизм перемещения каретки и вдавливают раскатчик в грунт с одновременным включением гидромотора привода раскатчика. После внедрения раскатчика на всю длину привод раскатчика выключают, отсоединяют каретку от раскатчика и возвращают ее в исходное положение. Затем раскатчик и гидромотор его привода соединяют промежуточной штангой и повторяют цикл проходки. По мере внедрения раскатчика в грунт штангу наращивают инвентарными секциями. Установка обеспечивает проходку горизонтальных скважин диаметром 50...230 мм на расстояние до 50 м.

Установка комплектуется набором раскатчиков диаметром 50, 80, 140, 200 и 230 мм. Грунтопроходные установки с раскатчиками грунта постоянно совершенствуются, расширяются их технические возможности. В перспективе предусмотрено создание раскатчиков для проходки скважин диаметров до 2,0 м.

Продавливанием прокладывают в грунтах I...III категории стальные трубопроводы диаметром 529...1720 мм, а также сборные железобетонные коллекторы и туннели различного назначения на длину до 60...80 м. При продавливании трубопровод (футляр) вдавливают в массив грунта открытым концом, снабженным кольцевым ножом, а грунт, поступающий внутрь

головного звена, разрабатывают и удаляют через прокладываемый трубопровод ручным или механизированным способом. В качестве продавливающих устройств применяют насосно-домкратные установки, включающие четное число однотипных домкратов грузоподъемностью 170...500 т каждый с ходом штоков 1150...1600 мм. Усилия от домкратов передаются прокладываемой трубе через задний ее торец с помощью стальной нажимной рамы (траверсы) или стального нажимного кольца, равномерно распределяющих давление по периметру торца трубопровода. Для передачи усилий от домкратов на торец звена трубы после продавливания трубопровода в грунт на длину хода штоков домкратов применяют нажимные патрубки. Длина нажимных патрубков должна быть равна или кратна длине хода штоков домкратов.

Разработку грунта, входящего в открытый конец трубы, производят вручную (при больших ее диаметрах) с применением ручных машин ударного действия и шанцевого инструмента или с помощью механических рабочих органов ковшового, совкового и фрезерного типа, виброударных желонки и грейферов. Ручная разработка грунта характеризуется высокими трудоемкостью, стоимостью и малой производительностью. Удаление грунта из труб диаметром 500...800 мм осуществляется преимущественно гидравлическим способом. Для удаления грунта из трубопроводов большего диаметра используют вагонетки, бадьи, челноки, перемещаемые с помощью канатов и лебедок, самоходные электрокары и тележки со съемными или саморазгружающимися кузовами, ленточные и скребковые конвейеры переменной длины и т.д.

Транспортные средства загружают вручную (при диаметре труб 1000...1200 мм) или малогабаритными породопогрузочными машинами. Плотные грунты перед погрузкой разрезают на брикеты с помощью режущих решеток, помещенных сразу же за ножевым кольцом, разрабатывают вручную или малогабаритными автоматическими гидроэкскаваторами. Несвязные водонасыщенные грунты поступают на транспортирующие устройства самостоятельно (без применения ручного труда и машин) через люки стальных диафрагм, отделяющие ножевую секцию от остальных секций трубопровода. Количество поступающего грунта регулируется специальными затворами.

Производительность установок для проходок способом продавливания зависит от физико-механических свойств грунта, диаметра и протяженности трубопровода, мощности домкратов, скорости хода их штоков, а также от способа разработки и удаления грунта и составляет в среднем 0,5...1,5 м/ч.

Рассмотрим в качестве примера устройство и рабочий процесс установки для прокладки стальных трубопроводов (футляров) диаметром 1220 и 1420 мм на длину до 60 м способом продавливания с механизированной разработкой грунта.

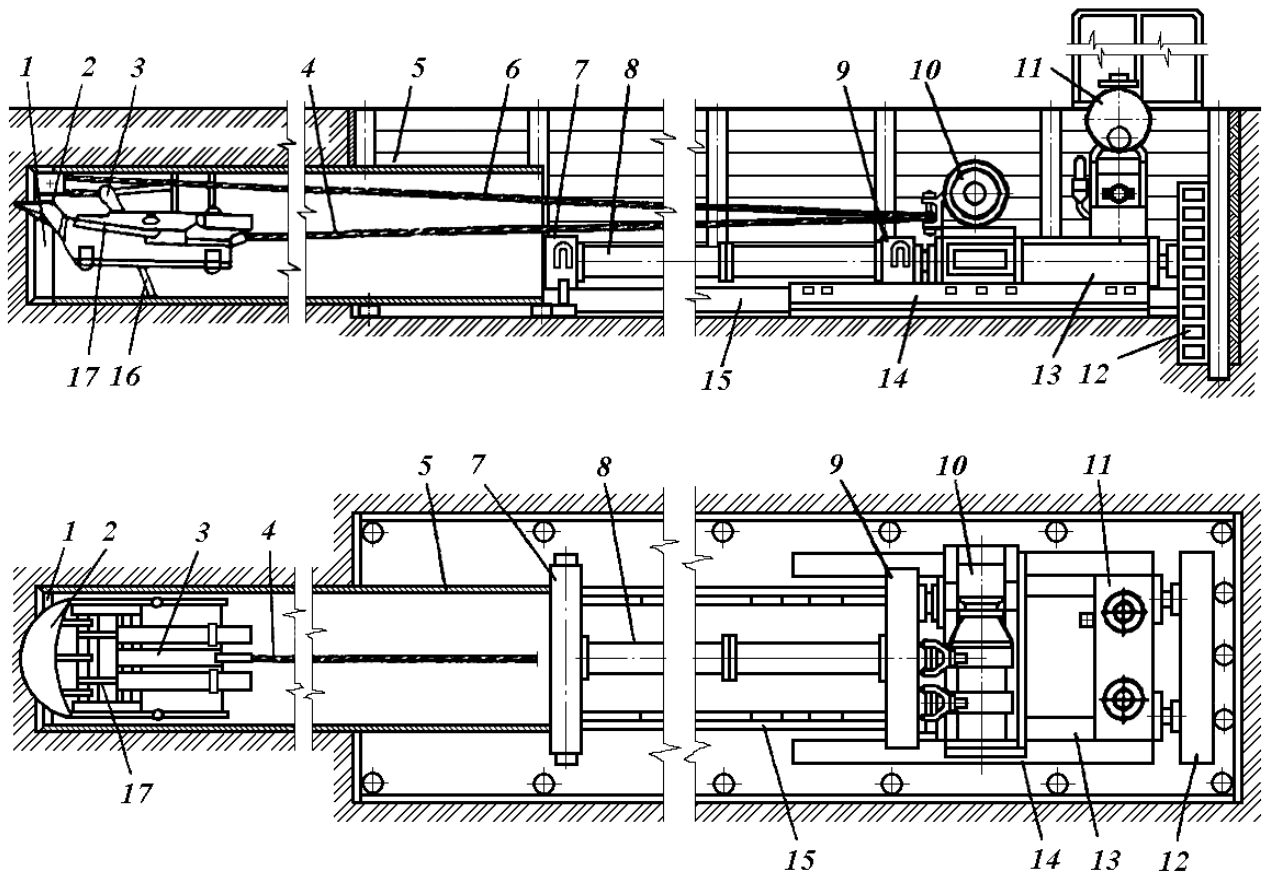


Рис. 7.36. Установка для прокладки труб продавливанием с механизированной разработкой грунта

Установка (рис. 7.36) состоит из четырех основных частей: насосно-домкратного агрегата для продавливания трубопровода, рабочего органа для разработки и удаления грунта, устройства для передачи нажимных усилий домкратов и ножевой секции 1 со сменными ножами. Гидравлические домкраты 13 и насосная станция 11 смонтированы на основной раме 14. Нажимные усилия домкратов передаются на торец прокладываемого звена трубопровода 5 через нажимную траверсу 9, шарнирно связанную со штоками домкратов. При втягивании (обратном ходе) штоков траверса возвращается вместе с ними в исходное положение. Для передачи нажимных усилий трубе после ее продавливания на длину хода штока домкратов служит вторая траверса 7, передвигающаяся по направляющей раме 15, и нажимные патрубки 8, длина которых (1500 и 3000 мм) кратна ходу штоков домкратов. Реактивные усилия домкратов воспринимает опорный башмак 12.

При продавливании сначала головное звено вдавливают в грунт на длину хода штоков домкратов, а затем возвращают штоки с траверсой 9 в исходное положение. В промежуток между траверсами 7 и 9 укладывают на направляющую раму 15 нажимные патрубки 8 (длина патрубка равна ходу штоков домкратов) и повторяют цикл вдавливания.

После второго цикла ранее установленные патрубки заменяют другими, длина которых соответствует уже двойному ходу штоков домкратов и т.д. Процесс смены нажимных патрубков повторяется до тех пор, пока все звено не будет вдавлено в грунт. Нажимные патрубки удаляют, и в освободившееся

пространство перед домкратами устанавливают на направляющие очередное звено трубопровода и сваривают его с предыдущим. Сменный рабочий орган включает ковш 2 со сплошной режущей кромкой, работающий по принципу обратной лопаты экскаватора, механизм привода ковша и скребок-клапан 16 для удаления грунта из трубопровода. Перемещение и действие рабочего органа обеспечиваются двухбарабанной лебедкой 10 с электроприводом с помощью рабочего 6 и тягового 4 канатов. При натяжении каната 6 связанный с ним системой рычагов 3 и цепной передачей 17 ковш движется сверху вниз и разрабатывает грунт, который сыпается в нижнюю часть прокладываемой трубы. Удаление грунта осуществляется скребком-клапаном 16, поворачивающимся относительно оси крепления и связанным с механизмом привода ковша. Скребок-клапан может отклоняться вверх и в сторону устья скважины при эвакуации грунта. Установка комплектуется двумя сменными рабочими органами для прокладки трубопроводов 1220 и 1420 мм и позволяет обеспечить при работе в песчаных, суглинистых и глинистых грунтах скорость прокладки до 8,4 м/смен.

Щитовую проходку применяют при строительстве на глубине 8...10 м и более магистральных канализационных и водосточных коллекторов, а также туннелей, в которых прокладывают одновременно трубопроводы и кабели различного назначения. Щитовая проходка возможна практически в любых грунтах и осуществляется с помощью специального проходческого щита круглой, прямоугольной, эллиптической или подковообразной (в поперечном сечении) формы, под защитой которого производится разработка грунта, погрузка его в транспортные средства и устройство стенок (обделки) подземного сооружения. Наибольшее распространение получили цилиндрические щиты, внутренний диаметр которых принимается в соответствии с требуемым наружным диаметром сооружаемого коллектора или туннеля. Щит вдавливается в грунт по оси проходки гидравлическими домкратами, расположенными по его периметру. Опорой для гидродомкратов служит обделка сооружения. Разработка грунта, поступающего внутрь щита, производится в головной его части, а сооружение обделки – в хвостовой.

Туннельную обделку сооружают сборной из железобетонных блоков или тюбингов и монолитно-прессованной бетонной или железобетонной. Перед началом щитовой проходки сооружают вертикальный шахтный ствол, обычно круглого сечения, диаметром 5...8 м, глубина которого соответствует глубине заложения коллектора (туннеля). Ствол шахты используют для устройства монтажной камеры щита, эвакуации грунта на поверхность средствами вертикального транспорта, передвижения людей и транспортирования материалов в процессе проходки подземного сооружения. На строительстве коллекторов и туннелей применяют несколько типов проходческих щитов с наружным диаметром 2...5,2 м.

Различают немеханизированные щиты, рабочий процесс которых связан с применением ручного труда при разработке грунта, погрузке его в средства внутритуннельного транспорта, устройстве обделки сооружения, и

механизированные щиты, у которых операции разработки грунта, эвакуации его на поверхность и устройства туннельной обделки механизированы.

Механизированные щиты снабжены активными рабочими органами периодического и непрерывного действия для разработки грунта и оборудованием для укладки блоков обделки сооружения и транспортирования разработанного грунта через щит на погрузочные средства. Такие щиты применяют на строительстве коллекторов и туннелей диаметром 2...5,2 м. Рабочие органы щитов могут быть роторными (фрезерными), штанговыми, экскаваторными, гидромеханическими и т.п. Наибольшее распространение получили щиты с роторными и экскаваторными рабочими органами.

На рис. 7.37, *a* показан цилиндрический механизированный щит диаметром 2,56 м с роторным рабочим органом, состоящим из роторной части и неповоротного цилиндра. Роторная часть включает передний конус 7 со сменными резцами 8 для рыхления грунта и жестко связанный с ним спиральными лопатками 10 зубчатый венец 5 с внутренним зацеплением, которому передается вращение с частотой $0,16...0,2 \text{ с}^{-1}$ от электродвигателя 3 через систему передач. Неповоротный цилиндр 11 вместе с роторной частью может перемещаться по направляющим 12 вдоль оси щита, получая возвратно-поступательное движение от 16 размещенных по периметру корпуса 2 щита гидравлических домкратов 4 с ходом штоков 1000 мм. Под действием домкратов, развивающих суммарное усилие до 5200 кН, рабочий орган может выдвигаться вперед на расстояние до 1 м независимо от движения щита.

При вращении роторной части разрушенный резцами грунт непрерывно подхватывается спиральными лопатками 10 и перемещается ими по поверхности неповоротного цилиндра 9 к приемному окну 6 в цилиндре 11, через которое грунт поступает в направляющую воронку ленточного конвейера-перегрузателя 1, загружающего тележки 13 со съёмными кузовами. После разработки забоя на длину одного кольца обделки 14 рабочий орган отводится назад, щит продвигается гидродомкратами вперед и в хвостовой части с помощью блокоукладчика укладывается очередное кольцо обделки из железобетонных трапецеидальных блоков. В свободное пространство между обделкой и грунтом раствором насосом нагнетается цементный раствор, заполняющий пазухи.

Эвакуация грунта на поверхность и подача материалов (элементов сборной обделки, цемента и т.д.) к щиту производятся средствами горизонтального внутритуннельного (двухосные тележки со съёмными кузовами, вагонетки, тележки-блоковозки, электрокары) и вертикального (клетьевые подъемники, стреловые краны и т.д.) транспорта.

Роторный рабочий орган может быть выполнен в виде винтовой двух- или трехзаходной планшайбы, оснащенной сменными резцами. Планшайба приводится во вращение гидромотором через систему передач или попеременно действующими через храповое устройство двумя или тремя парами гидравлических домкратов, получающих питание от насосной станции. Разработанный грунт грузится в вагонетки винтовым или ленточным конвейером.

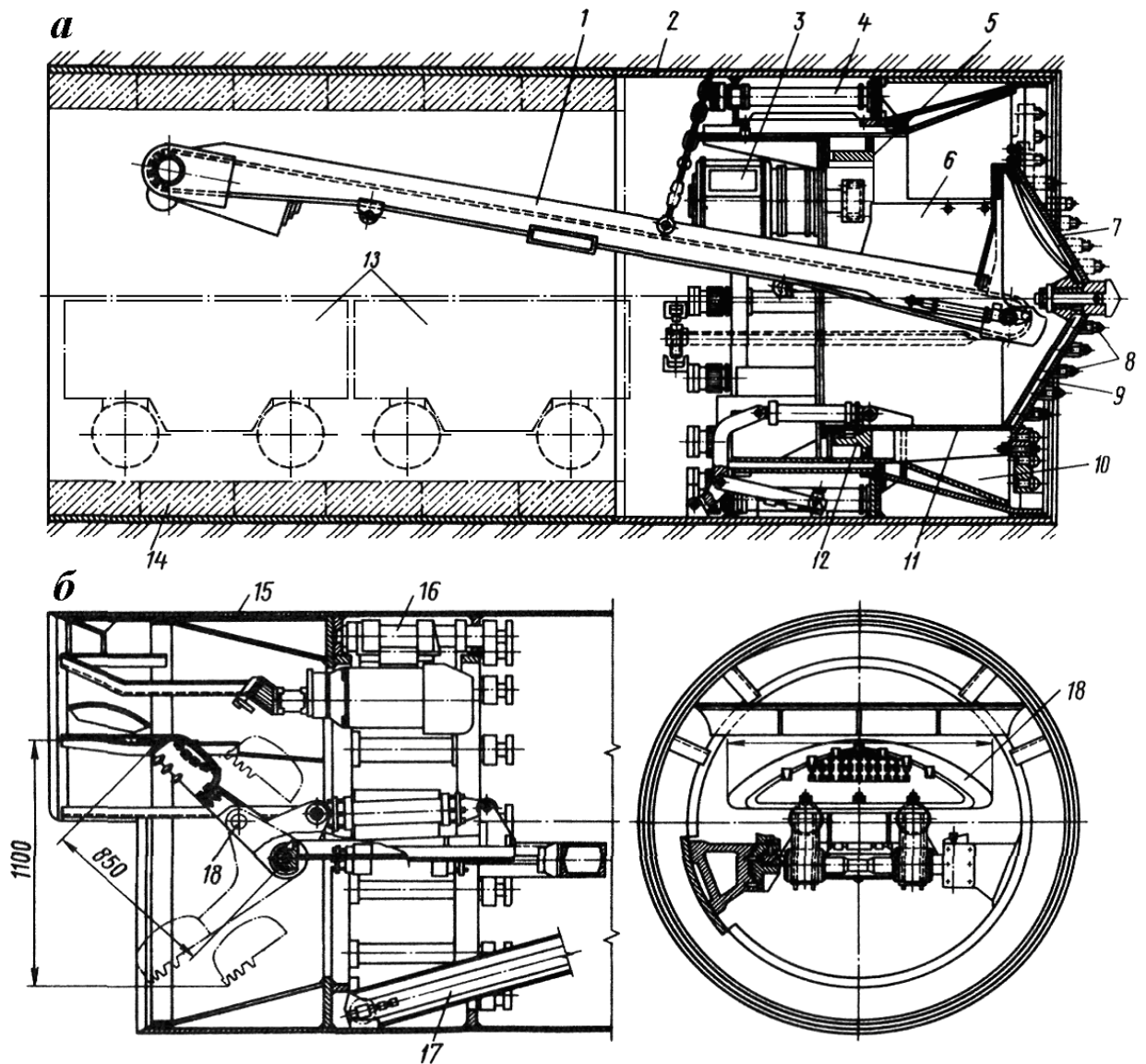


Рис. 7.37. Механизированные проходческие щиты

На рис. 7.37, б показан механизированный щит диаметром 2,05 м с экскаваторным рабочим органом, работающим по принципу обратной лопаты. Рабочий орган 18 смонтирован в опорной и ножевой частях корпуса 15 щита, имеет гидравлический привод и автономную систему управления. Грунт из ковша рабочего органа выгружается на ленточный конвейер 17, загружающий тележки внутритуннельного транспорта. Щит передвигается шестнадцатью гидравлическими домкратами 16 грузоподъемностью 125 т каждый. В хвостовой части щита расположен блокоукладчик для сооружения туннельной обделки.

В проходческом щите диаметром 2,56 м поворотная лопата для разработки забоя установлена на телескопической стреле, поворачивающейся в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Скорость проходки туннеля механизированными щитами составляет 3...7 м/смен.

7.7. Бурильно-крановые машины

Самоходные бурильно-крановые машины широко применяют в городском строительстве при устройстве свайных оснований зданий и сооружений, опор мостов, трубопроводов, линий электроснабжения и связи, колодцев, ограждений, а также при обустройстве дорог посадке деревьев и кустарников. Бурильное и специальное крановое оборудование смонтировано на шасси серийных автомобилей или тракторов; его привод осуществляется от двигателя базовой машины или самостоятельной силовой установки. Вертикальные и наклонные скважины в талых и сезонно промерзающих грунтах проходят способом механического вращательного бурения. В пробуренные скважины сваи, столбы, железобетонные опоры, блоки колодезных облицовок и другие элементы устанавливают специальным крановым.

Бурильно-крановые машины классифицируют по следующим основным признакам:

по типу базовой машины – на автомобильные и тракторные;

по принципу действия бурильного оборудования – циклического и непрерывного действия;

по типу привода бурильного и кранового оборудования – с механическим, гидравлическим и смешанным (гидромеханическим) приводом;

по виду исполнения бурильно-кранового оборудования – совмещенное (бурильное и крановое оборудование смонтированы на одной мачте) и раздельное (бурильное оборудование смонтировано на мачте, крановое – на стреле);

по возможности поворота рабочего оборудования в плане – неповоротные и поворотные;

по расположению рабочего оборудования на базовом шасси – с задним и боковым расположением у неповоротных машин, на поворотной платформе – у поворотных.

Главный параметр бурильно-крановых машин – максимальная глубина разбуриваемой скважины (в м). К основным параметрам относятся: диаметр бурения (скважины), угол бурения (угол наклона оси скважины к горизонту), грузоподъемность кранового оборудования.

В качестве сменного бурильного инструмента бурильно-крановых машин используются лопастные, шнековые и кольцевые буры, закрепляемые на конце бурильной штанги, которой сообщается крутящий момент и усилие подачи.

Лопастной бур (рис. 7.38, а) состоит из корпуса 1 с двумя копающими лопастями в виде двухзаходного винта, забурника 6 и заслонки 2. Лопастями оснащены сменными резцами 5, разрыхляющими грунт и установленными в резцедержателях 3. Забурник, расположенный на конце бурильной головки, создает бурю направление и удерживает его по оси бурения. Заслонки препятствуют просыпке грунта при выемке грунта из скважины. Бур крепится к нижнему концу бурильной штанги с помощью пальца.

Шнековый (винтовой) бур (рис. 7.38, б) представляет собой трубчатый остов 10 с винтовыми транспортирующими грунт спиралями в виде сплошной

ленты 11. Шнек имеет хвостовик 12 для крепления на конце бурильной штанги. К шнеку крепится сменная бурильная головка 9 с резцами 8 и забурником 7.

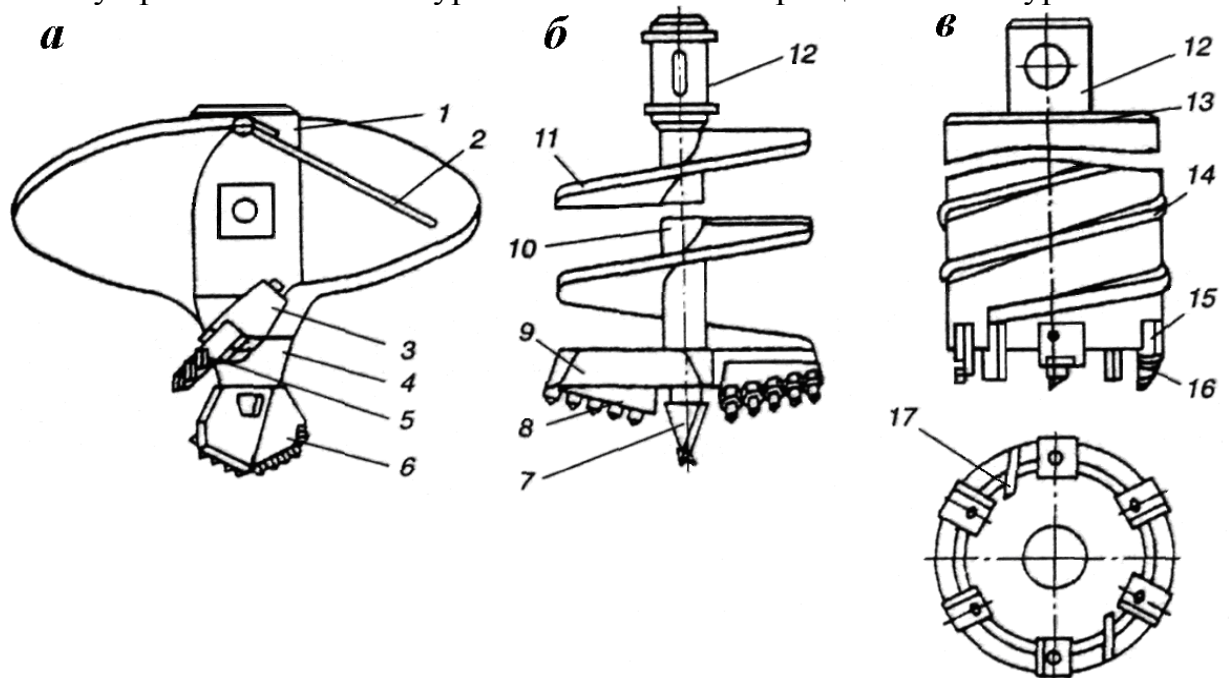


Рис. 7.38. Буры бурильно-крановых машин:

а – лопастной; *б* – шнековый; *в* – кольцевой

Кольцевой бур (рис. 7.38, в) разрушает грунт по периферии и формирует кольцевую щель, отделяющую керн от массива. Бур состоит из корпуса 13 в виде трубы, на нижней торцевой части которой равномерно расположены кулачки 15 с резцами 16. Поверхность корпуса бура снабжена винтовыми лопастями 14, транспортирующими разрушенный грунт (породу) из кольцевой щели на дневную поверхность. Две отклоняющие планки 17 отбрасывают разрушенный грунт к наружной стенке кольцевой щели. При бурении скважин в мерзлых грунтах применяют резцы и забурники, армированные твердосплавными пластинками. Бурение скважин осуществляется при вращении бурильного инструмента с одновременным его движением вниз. В процессе бурения скважина необходимой глубины образуется за несколько повторяющихся циклов, каждый из которых включает последовательно выполняемые операции бурения, подъема бурильного инструмента на дневную поверхность, его разгрузку и возврат в забой. Для бурения скважин различных диаметров каждая бурильно-крановая машина комплектуется набором сменного бурильного инструмента.

Неповоротная бурильно-крановая машина (рис. 7.39) на базе автомобиля предназначена для бурения в талых и сезонного промерзания грунтах I...IV категорий скважин. Производительность неповоротных бурильно-крановых машин 3,6..4,5 опор/ч, максимальная глубина бурения 2,0...3,0 м, угол бурения 62...105°, диаметр бурения 0,36...0,6 м, грузоподъемность кранового оборудования 1,25 т, максимальная длина устанавливаемых столбов, свай, опор и других элементов – 10...12 м.

На базовом автомобиле 1 на специальной раме закреплены бурильно-крановое оборудование, механическая трансмиссия, гидросистема,

электрооборудование и выносные опоры с гидродомкратами 8. Бурильная мачта 3 шарнирно установлена на кронштейнах и удерживается гидроцилиндром 2, поворачивающим ее в продольно-вертикальной плоскости машины при установке оборудования в транспортное и рабочее положение. В транспортном положении бурильное оборудование укладывается на опорную стойку.

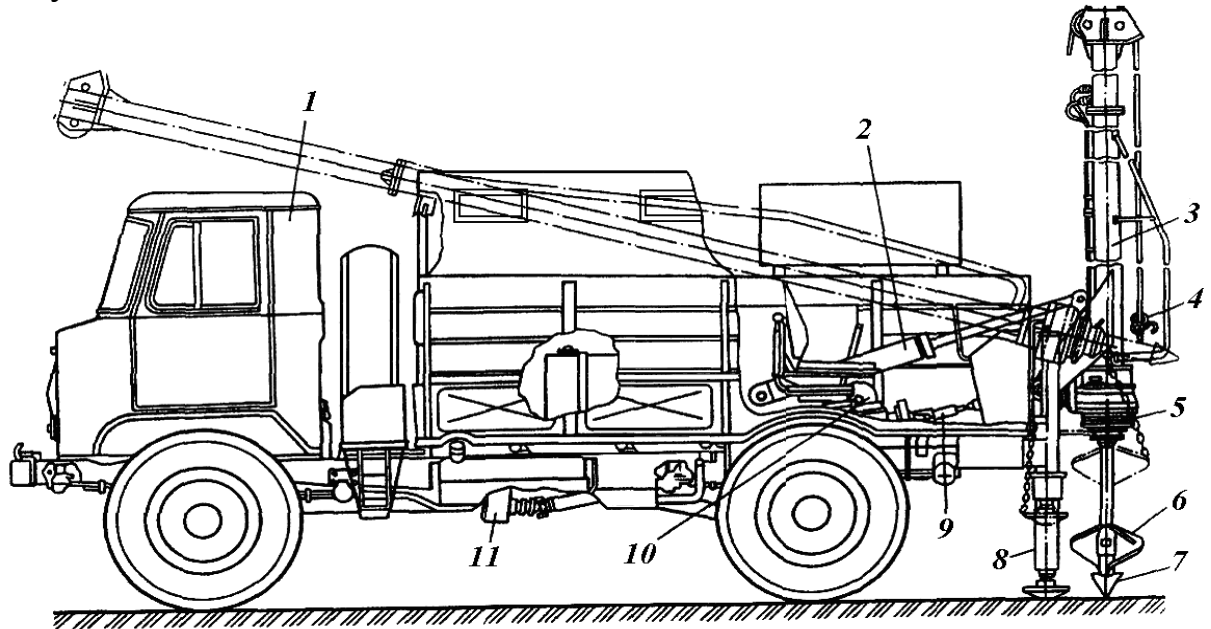


Рис. 7.39. Неповоротная бурильно-крановая машина

Бурильно-крановое оборудование включает бурильную мачту 3 с оголовком, штангу с бурильным инструментом в виде лопастного бура 6 с забурником 7 и резцами, гидравлический механизм подачи бурильного инструмента на забой и извлечения его из скважины, вращатель 5 штанги и однобарабанную червячную реверсивную лебедку для установки опор в пробуренную скважину. Подача и извлечение штанги с бурильным инструментом осуществляется гидроцилиндром двойного действия, смонтированным внутри бурильной мачты. Штанга перемещается по поршню со штоком, закрепленным в верхней части бурильной мачты. Вращатель 5 – гипоидный конический редуктор, приводится в действие от коробки отбора мощности 11 автомобиля через раздаточную коробку 10, фрикцион, управляемый гидроцилиндром, и карданный вал 9.

Канат грузового полиспаста с крюковой обоймой 4 закреплен на барабане реверсивной червячной лебедки, привод которой осуществляется от раздаточной коробки. Раздаточная коробка обеспечивает три частоты вращения бура ($1,75$; $2,43$ и $3,03 \text{ с}^{-1}$) в зависимости от прочности разрабатываемого грунта, а также реверс бурильного инструмента и барабана лебедки. При работе машина опирается на две выносные опоры 8, разгружающие задний мост базового автомобиля. Гидроцилиндры механизмов установки мачты и подачи бурильного инструмента, управления фрикционной муфтой и выносных опор обслуживаются шестеренным насосом, приводимым в действие от раздаточной коробки. Управление бурильно-крановым оборудованием осуществляется с пульта, расположенного в кузове у рабочего места оператора.

Бурильно-крановая машина с поворотным в плане рабочим оборудованием (рис. 7.40) смонтирована на шасси автомобиля 3 и предназначена для бурения скважин диаметром 0,63 м на глубину до 15 м в талых и мерзлых грунтах.

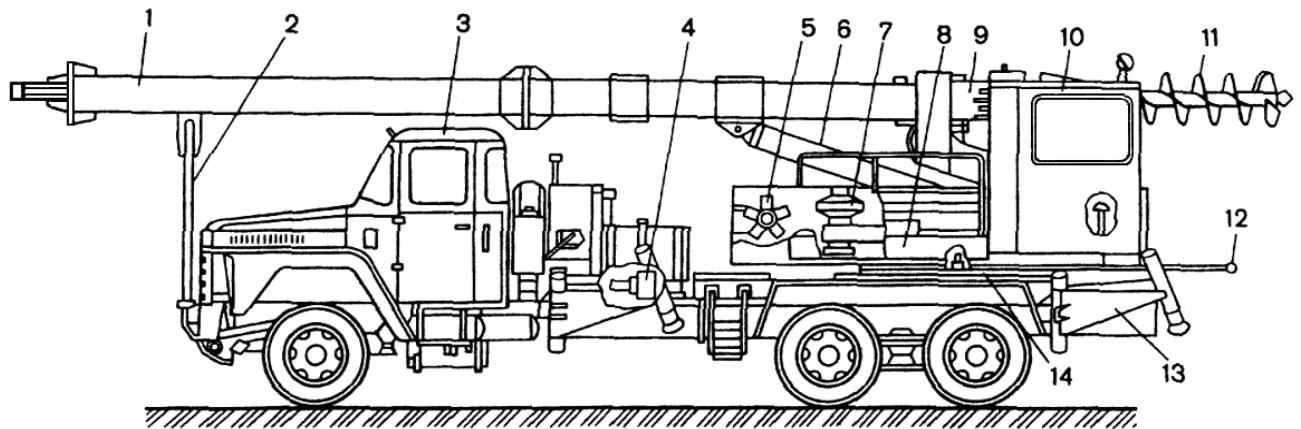


Рис. 7.40 Поворотная бурильно-крановая машина

На раме базовой машины 3 смонтированы насосная станция 4, опорная стойка 2 мачты 1 выносные опоры 13, снабженные опорными гидродомкратами и гидроцилиндрами поворота опоры, на которые машина опирается при бурении. На поворотной платформе 8 с роликовым опорно-поворотным устройством 14 размещены бурильно-крановое оборудование, лебедка 5 спуско-подъемного механизма, гидравлический механизм 6 подъема-опускания мачты, механизм 7 поворота платформы, указатель 12 центра скважины и кабина 10 машиниста. Поворотное в плане рабочее оборудование обеспечивает быструю наводку оборудования на точку бурения и возможность бурения нескольких скважин с одной позиции машины, что существенно повышает ее производительность. Буровое оборудование машины включает шарнирно закрепленную на поворотной платформе мачту 1, на которой смонтированы вращатель 9, штанга со сменным буровым инструментом – шнековым буром 11 и гидравлический механизм подачи бурового инструмента на забой и извлечения его из скважины.

Телескопическая штанга 9 (рис. 7.41), на нижнем конце которой крепится сменный шнековый бур 10, пропущена через вращатель и шарнирно соединена с вертлюгом 5. Она служит для направленного перемещения штанги. Вертлюг подвешен на канате, сходящем с барабана 3 лебедки. Вращатель обеспечивает вращение штанги от двух гидромоторов 11 через двухскоростной одноступенчатый редуктор 8.

Принудительная подача бурового инструмента в забой производится гидравлическим механизмом зажима и подачи штанги, основным узлом которого является патрон 7, подвешенный к штокам двух гидроцилиндров 6. В процессе бурения патрон зажимает штангу, а гидроцилиндры подают ее в забой. Скорости подачи и вращения бура меняются с помощью гидравлического привода бесступенчато в зависимости от физико-механических свойств разрабатываемого грунта.

Подъем и опускание штанги с буровым инструментом при бурении скважин и выемке грунта обеспечиваются однобарабанной лебедкой, привод барабана 3 которой осуществляется от высокомоментного гидромотора 1 через одноступенчатый планетарный редуктор 4. Лебедка оснащена ленточным тормозом 2.

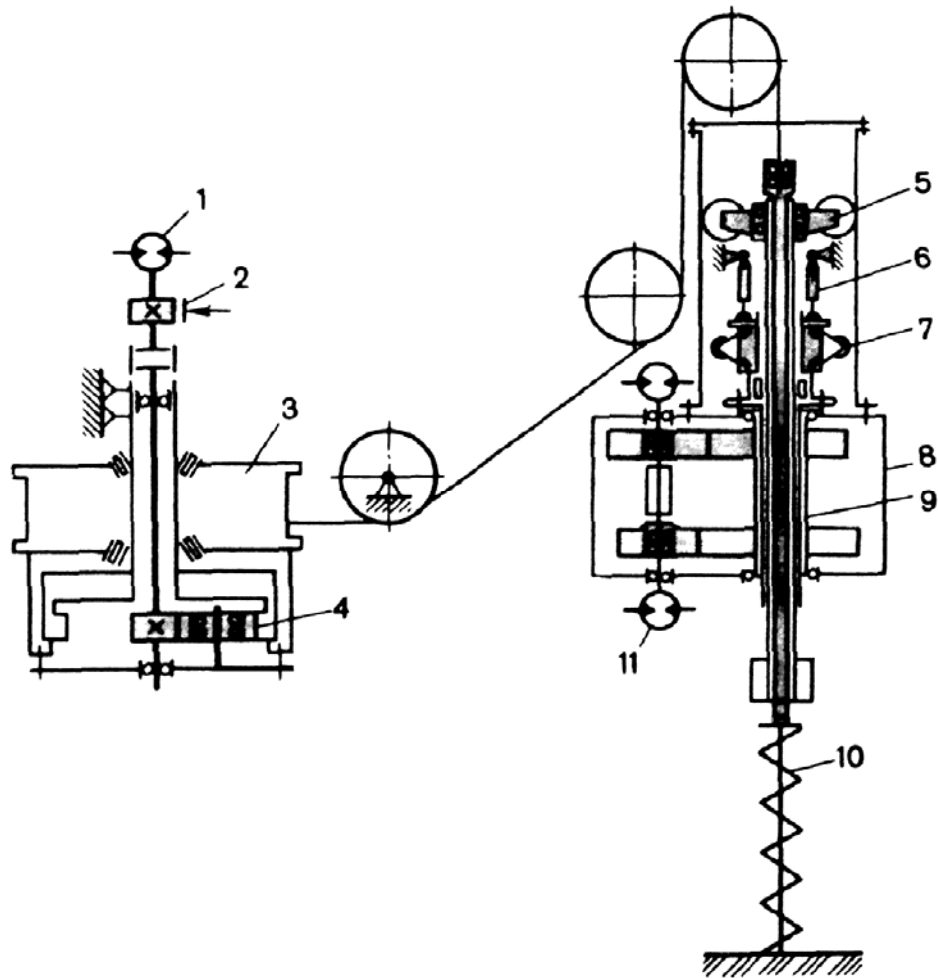


Рис. 7.41. Кинематическая схема бурильно-кранового оборудования

Поворот платформы с бурильно-крановым оборудованием в плане обеспечивается механизмом поворота, включающим высокомоментный гидромотор, ленточный тормоз и одноступенчатый зубчатый редуктор, на выходном валу которого закреплена поворотная шестерня, входящая в зацепление с зубчатым венцом опорно-поворотного круга.

Гидромоторы лебедки, вращателя и механизма поворота, гидроцилиндры подъема-опускания мачты, механизма подачи бурового инструмента, выносных опор и переключения передач вращателя обслуживаются тремя гидронасосами насосной станции, привод которых осуществляется от раздаточной коробки базовой машины через карданный вал и одноступенчатый редуктор. Включение привода насосной станции осуществляется из кабины автомобиля, а управление процессом бурения и установки машины – из кабины машиниста.

Для бурения скважин диаметром 0,36...1,0 м без применения обсадных труб под свайные основания и фундаменты зданий и сооружений применяют навесное бурильное оборудование на серийные гидравлические экскаваторы

4-й и 5-й размерных групп, основным бурильным инструментом которого служат сменные шнековые буры.

Навесное бурильное оборудование к экскаватору четвертой размерной группы предназначено для бурения вертикальных и круто наклонных скважин диаметром 0,36...0,63 м на глубину до 15 м под свайные фундаменты в немерзлых, сезонно-мерзлых и вечномерзлых грунтах, содержащих до 45% гравийно-галечниковых включений с фракциями до 50 мм в поперечнике. Навесное бурильное оборудование унифицировано с бурильным оборудованием бурильно-крановой машины и монтируется на кронштейне навески в виде сварной рамной конструкции, прикрепленной к поворотной платформе экскаватора с помощью двух цапф. В состав бурильного оборудования входят двухсекционная бурильная мачта, гидроцилиндры изменения угла наклона мачты, механизмы вращения и рабочей подачи бура, спускоподъемный механизм, телескопическая бурильная штанга, сменный бурильный инструмент и гидрооборудование. Навесное оборудование комплектуется тремя короткошнековыми бурами диаметром 0,36; 0,5 и 0,63 м, сменные режущие элементы которых (резцы и забурники) армируются твердосплавными пластинами. Для привода всех механизмов бурильного оборудования используется насосная станция базового экскаватора. Управление навесным бурильным оборудованием ведется из кабины экскаватора.

Бурильное оборудование на гидравлическом экскаваторе пятой размерной группы (рис. 7.42, а) включает решетчатую мачту 6, телескопическую штангу 7, лебедку 1, вращатель 10, комплект бурильного инструмента, обсадное оборудование 14, гидроцилиндры подъема-опускания мачты и перемещения вращателя. В комплект бурильного инструмента входят основной ковшовой 11 и шнековой буры, грейфер, ударное бурильное долото, бурильный расширитель, вставка и обечайки, комплект обсадных труб. Мачта 6 с оголовком 4 шарнирно крепится в проушинах поворотной платформы и переводится из транспортного положения в рабочее и обратно с помощью гидроцилиндров 12. Положение оголовка с отводными блоками 5 регулируется канатом 2. На мачте установлены направляющие, по которым с помощью длинноходового гидроцилиндра 8 перемещается вращатель бурильного инструмента. В передней части вращателя имеется площадка 9 с ограждениями и лестницей для обслуживания вращателя и удобства монтажных работ при смене рабочих органов.

Телескопическая штанга состоит из трех выдвижных секций и одновременно передает рабочему органу крутящий момент от вращателя и напорное усилие. Штанга подвешена на канате 3 лебедки 1.

При проходке скважин во влагонасыщенных грунтах со значительным содержанием гальки и валунов взамен ударного грейфера используют напорный штанговый грейфер, устанавливаемый на штангу вместо бура.

Обсадное оборудование предназначено для придания обсадным трубам качательных движений при их погружении, а также извлечения труб из грунта. Оно состоит из основания, составного хомута с гидроцилиндром зажима, двух

гидроцилиндров вертикального движения и гидроцилиндра механизма качания труб с водилом, шарнирно соединенным с хомутом. Для захвата обсадных труб и установки их в обсадном оборудовании служат сменные (в зависимости от диаметра трубы) обечайки, закрепляемые на вращателе. Правильная (без перекосов) установка обсадной трубы в обсадном оборудовании обеспечивается вкладышами соответствующего диаметра. Управление буровым оборудованием ведется из кабины машиниста экскаватора.

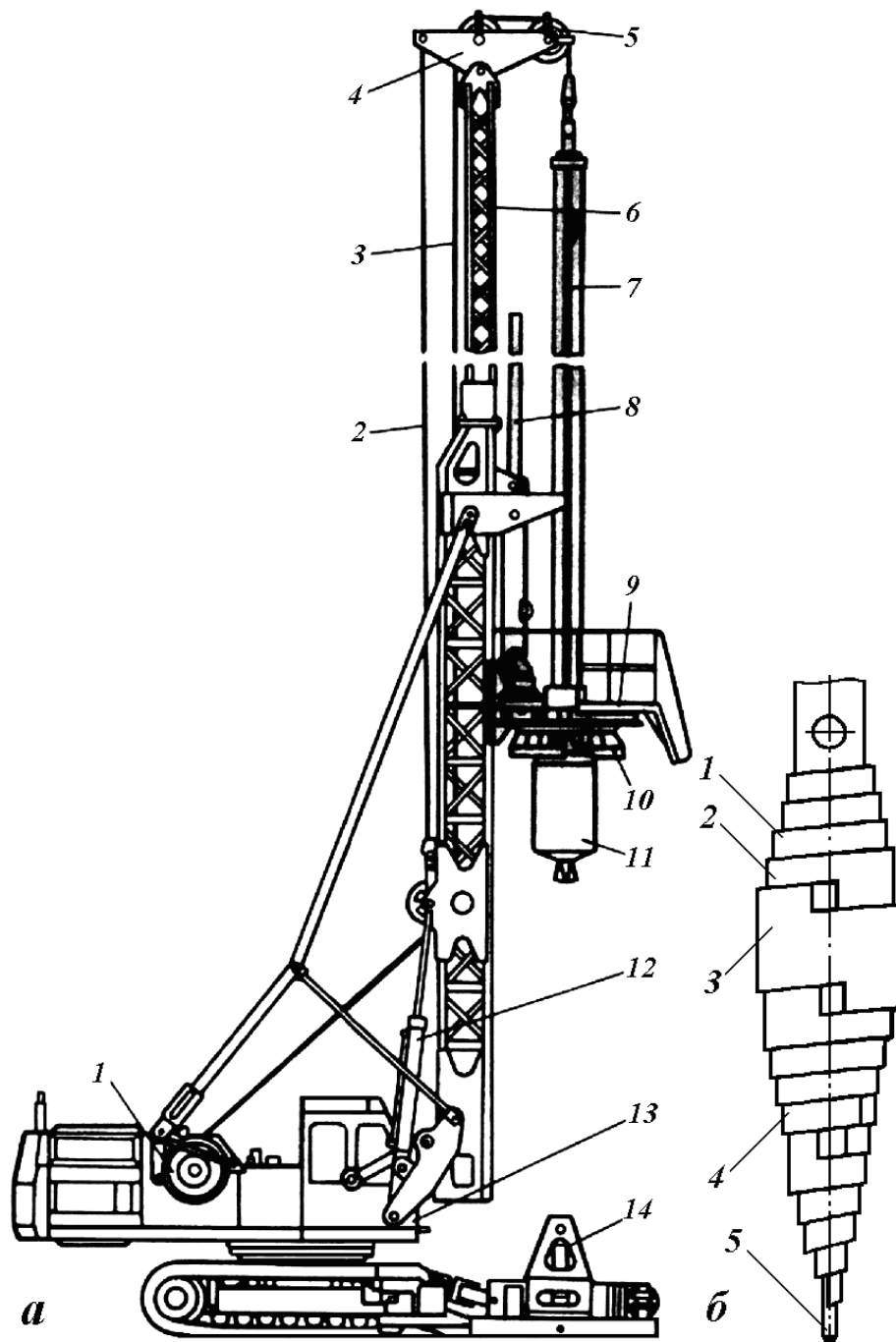


Рис. 7.42. Специализированная буровая машина для создания скважин под буронабивные сваи (а); спиралевидный снаряд (б)

Для устройства скважин без выемки грунта с уплотнением его в стенки скважин эффективно используются раскатывающие и спиралевидные винтовые снаряды, устанавливаемые вместо грейфера. При винтовом продавливании расширение скважины до заданного диаметра происходит путем непрерывного уп-

лотнения грунта под действием радиально направленных сил, создаваемых спиралевидным снарядом (рис. 7.42, б). Снаряд состоит из корпуса 2 и наконечника 5. Корпус имеет среднюю цилиндрическую часть 3, нижнюю лидирующую 4 и верхнюю 1 конические части, радиус которых ступенчато уменьшается. Раскатывающие снаряды формируют скважину диаметром до 1 м на глубину до 10 м, спиралевидные – диаметром до 0,8 м на глубину до 14 м. С помощью грейфера проходят скважины диаметром 0,65...1,0 м на глубину до 15...20 м.

7.8. Машины и оборудование для гидромеханизации земляных работ

Гидромеханизацией называют способ механизации земляных и горных работ, при котором все или основные технологические процессы выполняются за счет энергии потока воды. Этим способом в гидротехническом строительстве возводят плотины, дамбы и насыпи, разрабатывают котлованы под различные гидротехнические сооружения, каналы, углубляют водоемы и т.п., добывают и перерабатывают значительные объемы песчано-гравийных материалов, используемых для приготовления бетонных смесей, устройства фильтров и крепления земляных сооружений. В производство земляных работ средствами гидромеханизации входят: разработка грунта, транспортировка его и укладка в земляное сооружение или временный склад строительных материалов. При различных видах гидромеханизации вторая и третья операции (гидравлическая транспортировка и укладка грунта) остаются примерно одинаковыми, а первая может выполняться гидромониторами, разрушающими грунт струей воды, или механогидравлическим способом, в том числе плавучими землесосными снарядами с последующим транспортированием грунтов в потоке воды и укладкой в земляные сооружения.

При добыче песчано-гравийных материалов из обводненных месторождений одновременно происходит обогащение, транспортировка и укладывание материала. Стоимость песка и гравия, добываемых способом гидромеханизации, в 2...3 раза ниже стоимости их при добыче в сухих карьерах.

При гидромониторной разработке (рис. 7.43, а) грунт размывается струей воды, выбрасываемой под большим напором из гидромонитора 1. Размытый гидромонитором грунт вместе с водой в виде пульпы стекает в специальное углубление (зумпф) 2, откуда забирается центробежным грунтовым насосом – землесосом 3, специально приспособленным для перекачки воды с грунтом и камнями, размер которых (в зависимости от размеров и мощности землесоса) достигает 100...200 и даже 300 мм. Землесос нагнетает пульпу в трубопровод – пульповод 4 и перемещает ее к месту укладки. После дренажа воды оставшийся в зоне, ограниченной обвалованием 5, грунт образует тело земляного сооружения 6 или штабель песка, гравия, песчано-гравийной смеси для последующего использования как строительного материала. При организации гидромониторных работ стремятся максимально использовать рельеф местности, который позволяет в отдельных случаях транспортировать пульпу к месту укладки самотеком по желобам или канавам, упрощая этим состав оборудования.

При механогидравлическом способе, применяемом в условиях трудноразмываемых грунтов, предварительная разработка, т.е. отделение грунта от забоя, выполняется бульдозером или экскаватором, а затем грунт размывается гидромонитором и землесосом подается в систему. Плавающие землесосные снаряды (земснаряды) являются наиболее производительными средствами гидромеханизации, получившими большое применение для разработки грунта путем всасывания его вместе с водой, транспортировки его и укладки в земляное сооружение. Если всасывание грунта происходит с одновременным механическим рыхлением под водой, то такой способ называется рефулерным. Производительность современных земснарядов достигает $12000 \text{ м}^3/\text{ч}$ пульпы или примерно $1200 \dots 1500 \text{ м}^3/\text{ч}$ грунта.

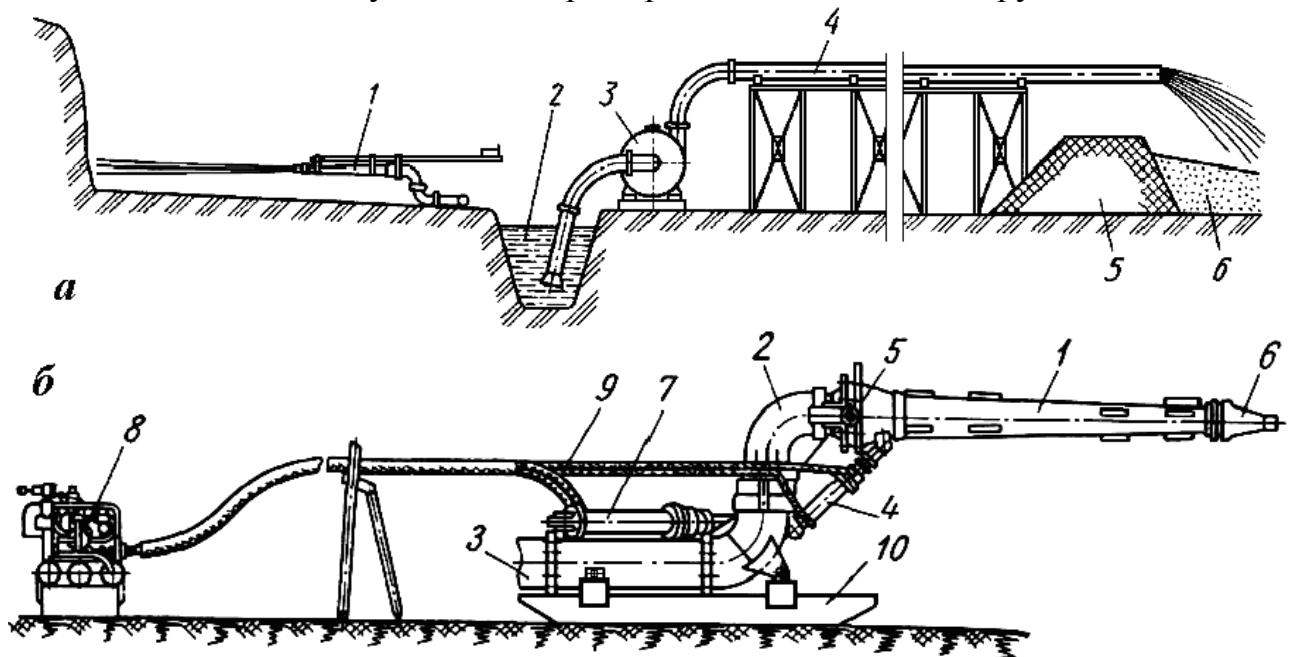


Рис. 7.43. Схема разработки грунта гидромонитором (а); гидромонитор (б)

При любом способе гидромеханизации пульпа забирается землесосом и транспортируется по трубам – пульпопроводам, которые могут быть направлены горизонтально, наклонно и вертикально. В тело земляного сооружения грунт укладывается при помощи разводящего пульпопровода. При ширине намываемой насыпи 25 м и более насыпь по длине разбивается на отдельные участки – «карты»; для менее широких насыпей применяется система намыва с центральной эстакады, на которой монтируется разводящий пульпопровод с выпускными отверстиями. Вследствие потери скорости у выхода из пульпопровода вода теряет несущую способность: грунт оседает, а осветленная вода отводится через специальные колодцы и отводящие штольни.

Гидромеханизация обеспечивает высокую производительность труда и высокое качество возводимых сооружений, не требуя искусственного уплотнения грунта при укладке его в земляное сооружение. Особенностью гидромеханизации, определяющей возможность ее применения, является зависимость от природных условий, т.е. от наличия водных ресурсов и грунта, хорошо поддающегося размыву. Наряду с оборудованием общего назначения (водяные насосы, силовое оборудование, трубопроводы и трубная арматура),

для гидравлической разработки и транспортировки грунта применяется специальное оборудование: гидромониторы, землесосы, рыхлители на плавучих землесосных снарядах и др.

Гидромониторы. При гидромониторной разработке разрушение грунта происходит в результате сложного процесса, сочетающего в себе: гидродинамическое воздействие кинетической энергии струи и гидростатическое разрушение грунта совместно с физическим воздействием (смачиванием, растворением и т.д.), а также за счет повышенного давления в порах и трещинах. Вода к гидромонитору подается центробежными насосами. Давление струи в гидромониторе составляет $80...360 \text{ Н/см}^2$; скорость движения воды достигается 150 м/с . Для размыва 1 м^3 грунта требуется $3...15 \text{ м}^3$ воды; меньшее значение соответствует мелкозернистым песчаным грунтам.

Основными частями гидромонитора (рис. 7.43, б) являются: нижнее колено 3, установленное на салазках 10, верхнее колено 2, имеющее возможность вращаться на 360° относительно нижнего, и ствол 1 с насадкой 6. Ствол присоединен к верхнему колену через шарнир 5, что позволяет с помощью гидроцилиндра 4 изменять положение ствола относительно верхнего колена в вертикальной плоскости на угол до 90° . Для поворота ствола гидромонитора в горизонтальной плоскости на угол до 120° служит гидроцилиндр 7.

Расстояние от гидромонитора до размываемого грунта по условиям техники безопасности должно быть не менее высоты забоя.

Для управления мощными гидромониторами применяются поворотные наконечники-дефлекторы. Наличие шарового шарнира и ручки управления позволяет повернуть дефлектор. При этом ствол гидромонитора поворачивается силой реакции воздействия струи на стенку ствола. Управление гидроцилиндрами дистанционное, что позволяет увеличить эффективность разработки грунта за счет установки гидромонитора вблизи размываемой стенки забоя. Гидромониторная установка соединена с пультом управления 8 напорными рукавами 9 длиной до 35 м .

Пульт дистанционного управления рассчитан на два гидромонитора. С его помощью управляют подъемом и поворотом стволов обоих гидромониторов, входящих в комплект установки. Он состоит из масляного бака, лопастного насоса, пластинчатого фильтра, предохранительного клапана, двух дросселей, манометра и четырех кранов управления (для двух гидромониторов).

Максимальная дальность полета струи гидромонитора определяется из выражения

$$L_{\max} = kH_0 \sin \varphi, \text{ м.}$$

Практически рыхлые породы разрабатываются при длине струи

$$L = (0,25...0,3)H_0, \text{ м,}$$

где H_0 – напор у насадки в м; φ – угол наклона ствола гидромонитора к горизонту; k – коэффициент сопротивления воздуха, $k = 0,90...0,95$.

Удельный расход воды на разработку 1 м^3 грунта q тоже зависит от свойств породы. Для мелкозернистых песков он равен 5 м^3 , для

крупнозернистых песков и супесей – $6...9 \text{ м}^3$, а для глин доходит до 14 м^3 . От удельного расхода воды зависит основной показатель – производительность гидромонитора по породе:

$$Q = Q_1 / q \text{ (м}^3/\text{ч)},$$

где Q_1 – расход воды через гидромонитор в $\text{м}^3/\text{ч}$; q – удельный расход воды в м^3 .

При увеличении высоты забоя удельный расход воды уменьшается, но вместе с тем увеличивается необходимый напор.

Напор струи у насадки гидромонитора зависит от разрабатываемого грунта и составляет (в м вод. ст.): для тяжелого суглинка и глины – $100...150$; для среднего суглинка и супеси – $70...100$; для песка – $50...70$.

Для обеспечения работы гидромониторов применяются центробежные насосы. Обычно в гидромеханизации применяются несамовсасывающие центробежные насосы, поэтому перед началом работы всасывающий шланг и корпус насоса должны заливаться водой, которая вытеснит находящийся в них воздух.

Большинство применяемых насосов – одноступенчатые с двусторонним входом воды в рабочее колесо, что предотвращает его осевой сдвиг. В основном применяются насосы с производительностью $180...4700 \text{ м}^3/\text{ч}$, с манометрическим напором $10...90$ м вод. ст., при скорости рабочего колеса $700...2960$ об/мин. Мощность на валу насосов в зависимости от производительности и напора определяется по формуле:

$$N = QHk_3 / 102\eta \cdot 3,6 \text{ кВт},$$

где Q – производительность насоса в $\text{м}^3/\text{ч}$; H – напор, развиваемый насосом, в м вод. ст.; k_3 – коэффициент запаса мощности: $k_3 = 1,3...1,35$ для мелких, $k_3 = 1,1...1,15$ для крупных насосов; η – к.п.д. насоса.

Гидравлический транспорт грунта может быть безнапорным (самотечным) и напорным, при котором вода с грунтом движется под давлением.

Взвешивание частиц грунта в потоке воды происходит за счет вихревых движений, возникающих при достаточно большой скорости потока. Критической называют скорость, предшествующую началу осаждения частиц породы данной крупности. Условием самотечного гидротранспорта является наличие уклона, обеспечивающего скорость движения пульпы выше критической:

$$i \leq (H_1 - H_2) / L,$$

где i – необходимый уклон для транспортировки пульпы; H_1 – высотная отметка для карьера в м; H_2 – высотная отметка верха отвалов в м; L – длина лотка или канавы.

Для транспортировки пульпы с глинистыми породами по лоткам необходим минимальный уклон $0,015...0,025$, для песка $0,03...0,05$, для гравия $0,04...0,09$. При использовании открытых земляных канав уклоны должны быть больше на $20...30\%$.

Напорный гидротранспорт осуществляется по трубам-пульпопроводам с помощью землесосов.

Землесос – центробежный насос, перекачивающий пульпу. Рабочим органом землесоса (рис. 7.44) является рабочее колесо 2, имеющее две-три

лопатки. Рабочее колесо вращается валом 3 от электродвигателя через соединительную муфту. Пульпа по всасывающему патрубку 4 попадает на лопатки рабочего колеса и отбрасывается через напорный патрубок в нагнетательный трубопровод, присоединяемый к корпусу 1 землесоса. Наиболее изнашиваемые детали землесоса изготавливают из марганцовистой стали с содержанием марганца 12...14% или покрывают твердым сплавом.

По сравнению с центробежными водяными насосами грунтовые насосы обладают более низкой всасывающей способностью. Это обусловлено тем, что в статическом состоянии находящаяся во всасывающем трубопроводе пульпа имеет большую плотность по сравнению с плотностью воды. В соответствии с принципом сообщающихся сосудов, коими являются водоем и внутренняя полость всасывающего трубопровода, уровень пульпы в последнем будет ниже уровня воды в водоеме. Предельная вакуумметрическая высота всасывания грунтовых насосов, ограниченная возможностью возникновения кавитации, составляет 4...6,8 м.

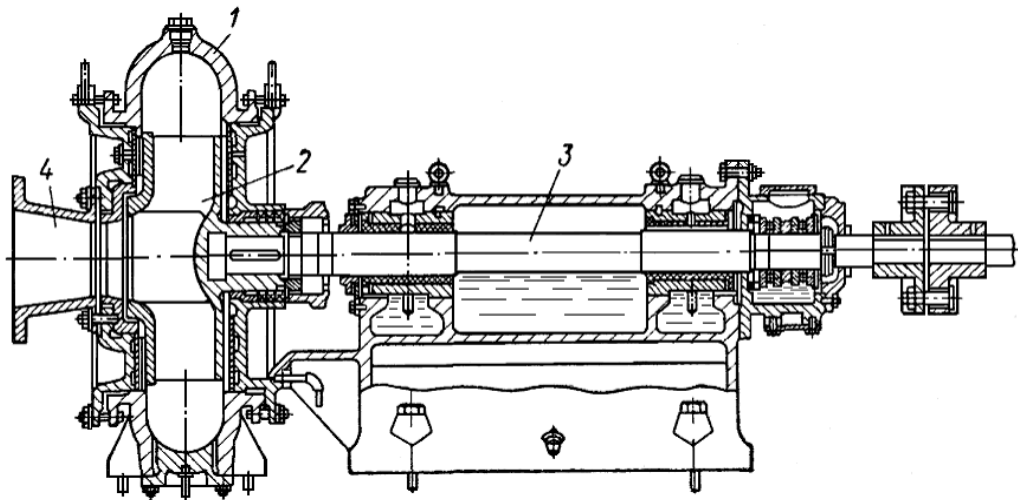


Рис. 7.44. Землесос

Кавитация заметно снижает к.п.д. насосов, который в лучшем случае при правильно отрегулированных зазорах и сальниковом уплотнении ведущего вала не превышает 0,7. Более низкое его значение по сравнению с к.п.д. водяных насосов объясняется увеличенными зазорами (объемным к.п.д.), неоптимальными в смысле гидравлики формами и сечениями проточной части насоса, обеспечивающими беспрепятственный пропуск крупных включений (гидравлический к.п.д.), а также повышенным трением в сопрягаемых парах из-за наличия в пульпе грунтовых частиц (механический к.п.д.). С учетом этих факторов при определении мощности двигателя для грунтового насоса рекомендуется принимать полный к.п.д. равным 0,6.

Производительность землесосов определяют по формуле:

$$Q = 3600 \frac{\pi d^2}{4} v \frac{\text{м}^3}{\text{ч}},$$

где d – диаметр пульпопровода в м; v – скорость транспортировки пульпы в м/сек (табл. 7.6).

Таблица 7.6

Средние скорости м/с, необходимые для гидротранспортировки пульпы

Диаметр пульпопровода в мм	Глины и суглинки	Супеси, мелкие и средние пески	Крупные пески	
			с небольшим содержанием гравия	с большим содержанием гравия
250	1,7	2,0	2,5	2,8
350	2,1	2,2	3,0	3,4
400	2,35	2,6	3,6	4,0
600	2,7	3,2	4,2	4,6

Грунтовые насосы характеризуются сравнительно невысоким давлением (до 0,8 МПа). При необходимости увеличения напора их устанавливают последовательно, а при недостаточной подаче – параллельно с объединением напорных трубопроводов одним пульповодом.

Необходимый напор

$$H = H_{\Delta} + Lik_n,$$

где H_{Δ} – геодезическая разность отметок землесоса и отвала; k_n – коэффициент увеличения потерь напора для пульпы; i – гидравлический уклон, определяемый по эмпирическому уравнению:

$$i = v^2 / cR,$$

где v – скорость движения воды; R – гидравлический радиус, равный отношению площади сечения трубы к его периметру: $R = F/P$; c – коэффициент, учитывающий шероховатость стенок, который можно определить по формуле:

$$c = \sqrt[6]{R/m},$$

где m – коэффициент, принимаемый для труб, бывших в употреблении, равным 0,012.

Коэффициент увеличения потерь напора для пульпы k_n зависит от консистенции пульпы.

Консистенция пульпы.....	1:3	1:5	1:8	1:10
k_n	1,6	1,5	1,3	1,2

Гидроукладка грунта достигается путем придания потоку пульпы скорости, при которой частицы выпадают из потока и откладываются на намываемой поверхности. Осветленная вода отводится с помощью специальных колодцев. Скорость потока, необходимая для выпадения из него частиц породы, зависит от их крупности. По мере снижения скорости происходит фракционирование породы. Первыми выпадают наиболее крупные фракции. Наибольшие скорости потока, при которых начинается выпадение частиц, следующие:

Крупность в мм.....	1,0	0,6	0,2	0,06	0,001
Скорость потока в м/с.....	1,2	0,7	0,25	0,045	0,081

При намыве дамб, насыпей и других сооружений обычно производят обвалование с обеих сторон намываемого сооружения – так называемый двусторонний намыв. Это позволяет получать откосы с заложением 1:3...1:5. Если не производить обвалования, расход грунта резко увеличивается, так как уклоны свободного откоса при намыве песком равны 0,04...0,1 в зависимости от крупности частиц, а для супесей, суглинков и глин доходят до 0,007...0,02.

Мощность, расходуемая землесосом, определяется по формуле:

$$N = W_{\text{уд}} \Pi_{\Gamma} / 102\eta \text{ кВт};$$

$$W_{\text{уд}} = 3(L + 0,04H_{\Delta}) \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3,$$

где $W_{\text{уд}}$ – удельный расход электроэнергии на транспортирование 1 м³ грунта; Π_{Γ} – количество перемещаемого грунта в м³/ч; η – к.п.д. землесоса; L – дальность транспортирования в м; H_{Δ} – геодезическая разность отметок землесоса и отвала.

Землесосные снаряды служат для подводной разработки грунтов, его извлечения из-под воды и перекачивания в смеси с водой к месту укладки. В гидротехническом строительстве земснарядами разрабатывают котлованы под гидротехнические сооружения, возводят плотины и другие насыпи, разрабатывают песчано-гравийные месторождения. В отличие от дноуглубительных земснарядов, применяемых в речном хозяйстве, строительные земснаряды не приспособлены для работы на судоходных фарватерах и чаще всего не имеют автономных силовых установок, а их насосы рассчитаны на обеспечение больших напоров.

Земснаряды оборудованы устройствами грунтозабора и транспортирования пульпы. В состав грунтозаборных устройств входят гидромониторы для гидравлического разрыхления грунта или механические рыхлители. Легкие грунты всасываются в потоке воды без предварительного рыхления. В качестве всасывающих агрегатов применяют в основном грунтовые насосы. Они же служат для подачи пульпы в пульповод и поддержания в нем необходимого напора для ее транспортирования. Известны также водоструйные (эжекторные) всасывающие агрегаты, а также агрегаты, выполненные на основе эрлифтов (см. ниже). Транспортная система представляет собой плавучий (на понтонах) или подвесной (на стреле, управляемой с земснаряда) пульповод.

Большей частью земснаряды длительное время работают на одном строительном объекте или карьере, чем предопределяются условия их энергообеспечения. Эти земснаряды питаются электроэнергией от внешней электросети. При смене строительного объекта земснаряд перемещают по воде буксиром. Земснаряды, часто меняющие строительные объекты, оборудованы автономными дизель-электрическими установками, обеспечивающими независимое перемещение без связи с внешними энергоисточниками. На некоторых земснарядах, питаемых электроэнергией от внешней сети, установлены резервные дизель-генераторные агрегаты мощностью 50...100 кВт, которые используют для освещения, для приведения земснарядов в транспортное положение и проведения на них ремонтно-наладочных работ, когда снаряд не может быть обеспечен электроэнергией с берега. Для возможности перебазирования земснарядов по суше и частого монтажа и демонтажа их корпуса делают сборно-разборными из отдельных понтонов и секций, способных самостоятельно удерживаться на плаву.

Земснаряд (рис. 7.45) состоит из понтона 9 с землесосом 10, свай 1, стрелы 4 с приемно-рыхлительным устройством 3, состоящим из фермы, фрезерного рыхлителя и его привода. Для подъема и опускания фермы с рыхлителем установлена лебедка 2 с полиспастом 5. Вращающийся рыхлитель разрушает грунт. Подготовленный грунт по всасывающему трубопроводу 8

поступает к землесосу, которым транспортируется к месту укладки по пульпопроводу 6, смонтированному на понтонах. Лебедки 7 служат для управления носовыми канатами при повороте земснаряда относительно опущенной сваи, лебедки 11 – для подъема свай. Кроме этого на палубе установлены две станковые лебедки 12 (носовая и кормовая). Землесос приводится в действие электродвигателем 13 мощностью 440 кВт. На земснаряде для обслуживания механизмов имеется мостовой кран 14 грузоподъемностью 25 т.

В процессе разработки грунта земснарядом нижний конец грунтозаборного устройства непрерывно перемещается по дну водоема, оставляя после себя выработку в виде узкой полосы. Эти перемещения осуществляются вместе с рабочими перемещениями всего земснаряда, называемыми папильонированием (от фр. papillon – бабочка) и выполняемыми в определенном порядке. Различают продольное, совпадающее с продольной вертикальной плоскостью симметрии земснаряда, или траншейное и поперечное папильонирование. В результате продольной (траншейной) проходки на дне водоема образуется прямая в плане траншея, которая может быть расширена параллельными проходками при смещении земснаряда в поперечном направлении на каждом новом заходе. При поперечном папильонировании нижний конец грунтозаборного устройства перемещается по дуге, вращаясь относительно некоторой вертикальной оси. По достижении крайнего положения земснаряд перемещается вперед примерно на ширину полученной за одну проходку выемки, после чего поперечное перемещение повторяется в обратном направлении, и т.д. Такой способ папильонирования называют веерным.

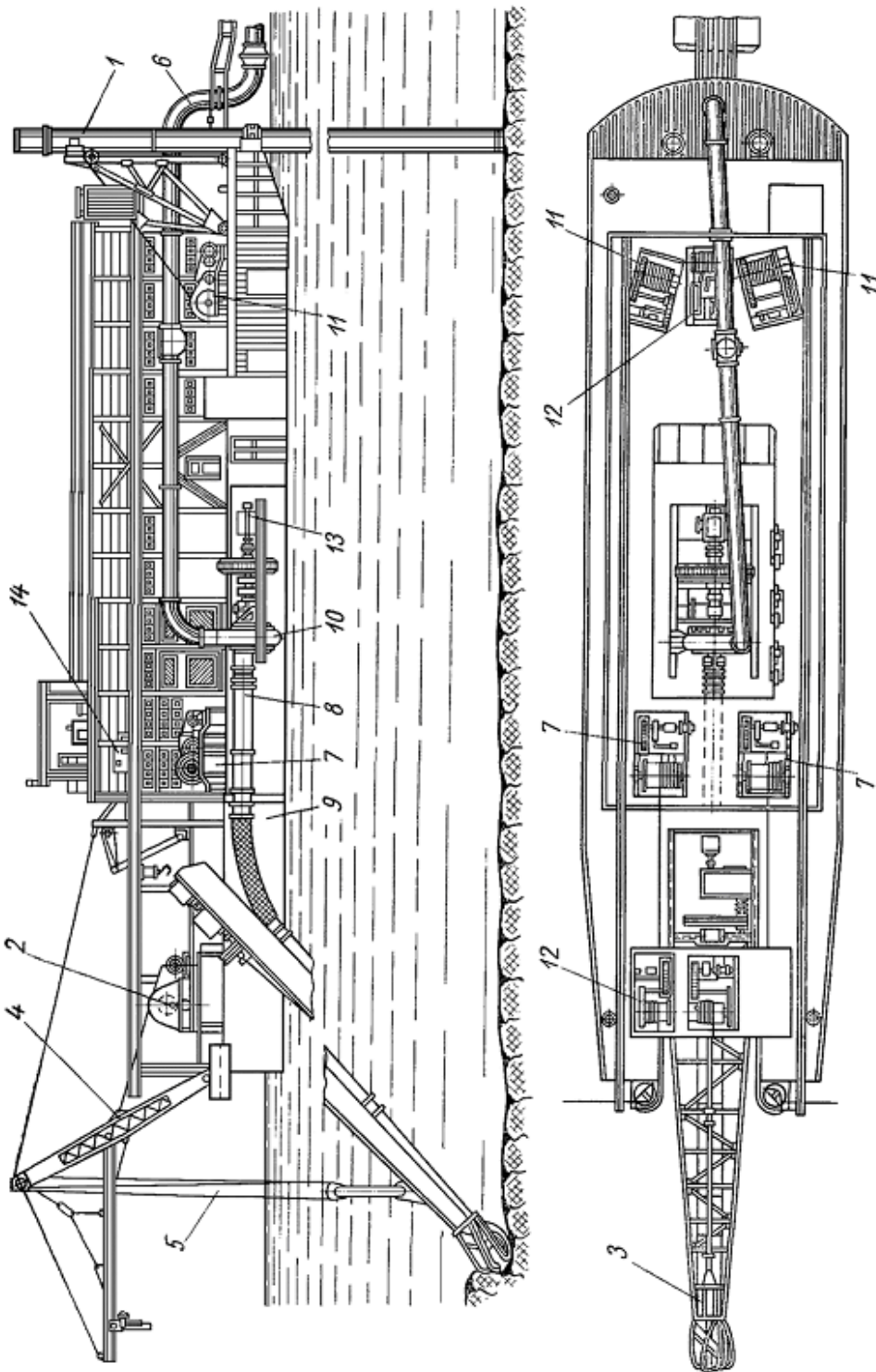


Рис. 7.45. Земснаряд

Описанные перемещения обеспечиваются работой только папильонажных лебедок, расположенных в носовой и кормовой частях земснаряда, или одновременной работой лебедок и двух свай, расположенных за кормой.

В первом случае основное рабочее движение по направлению траншеи обеспечивается подтягиванием земснаряда на заякоренном перед ним канате становой лебедки. Остальные папильонажные лебедки, также с заякоренными канатами, корректируют направление этого движения. Для возвратного движения используют кормовой становой канат, а для перемещения на позицию параллельной траншеи – боковые папильонажные канаты. При

верном папильонировании задними папильонажными канатами фиксируется средняя точка кормы, относительно которой канатами от носовых боковых лебедок осуществляется вращательное в плане движение земснаряда в одном, а затем в обратном направлениях (рис. 7.46, *a*). Подача земснаряда (перемещение в направлении разработки) обеспечивается согласованной работой носовых и кормовых лебедок. Из-за неравномерности сопротивлений папильонажным перемещениям земснаряда при канатном папильонировании не удается добиться четкого направления перемещения грунтозаборного устройства. Лучшие результаты дает свайное папильонирование с применением так называемого аппарата свайного хода. Для этого земснаряд оборудуют двумя трубчатыми сваями *I* (рис. 7.45) с массивными заостренными нижними наконечниками. Сваи устанавливают в направляющих за кормой. Свайное папильонирование заключается в поочередном вращении земснаряда папильонажными лебедками относительно одной из опущенных на дно водоема свай (см. рис. 7.46, *б*). При этом вторая свая находится в поднятом положении. В конце поворотного хода положения свай меняют и папильонируют в обратном направлении. Сваи поднимают лебедками.

При установке свай в неподвижных направляющих в начале поперечного перемещения грунтозаборное устройство проходит по полосе, уже разработанной предыдущей проходкой, а в конце хода может удаляться от последней, оставляя неразработанные участки. При разработке малослежавшихся песков без разрыхления этот недостаток практически не снижает производительности земснаряда по пульпе, но приводит к неравномерности ее консистенции. При разработке тяжелых грунтов неравномерной будет как консистенция пульпы, так и загрузка двигателей.

Более совершенную схему разработки грунта обеспечивает установка свай на принудительно передвигаемой вдоль продольной оси земснаряда каретке. На земснаряде может быть установлена только одна передвижная каретка. Вторую сваю, называемую прикольной и используемую только для перешагивания, устанавливают обычно в неподвижных направляющих.

При расчете скоростей папильонирования исходят из средней скорости (м/мин) движения грунтозаборного устройства

$$v_{cp} = \Pi_0 / (60\omega)$$

где Π_0 – производительность земснаряда по грунту; ω – площадь поперечного сечения полосы грунта, разрабатываемой за одну проходку, м².

В зависимости от вариации Π_0 и ω эти скорости могут изменяться в широких пределах 0,2...10 м/мин. Для сокращения потерь времени на маневрирование земснаряда верхний предел этой скорости увеличивают в 2...3 раза.

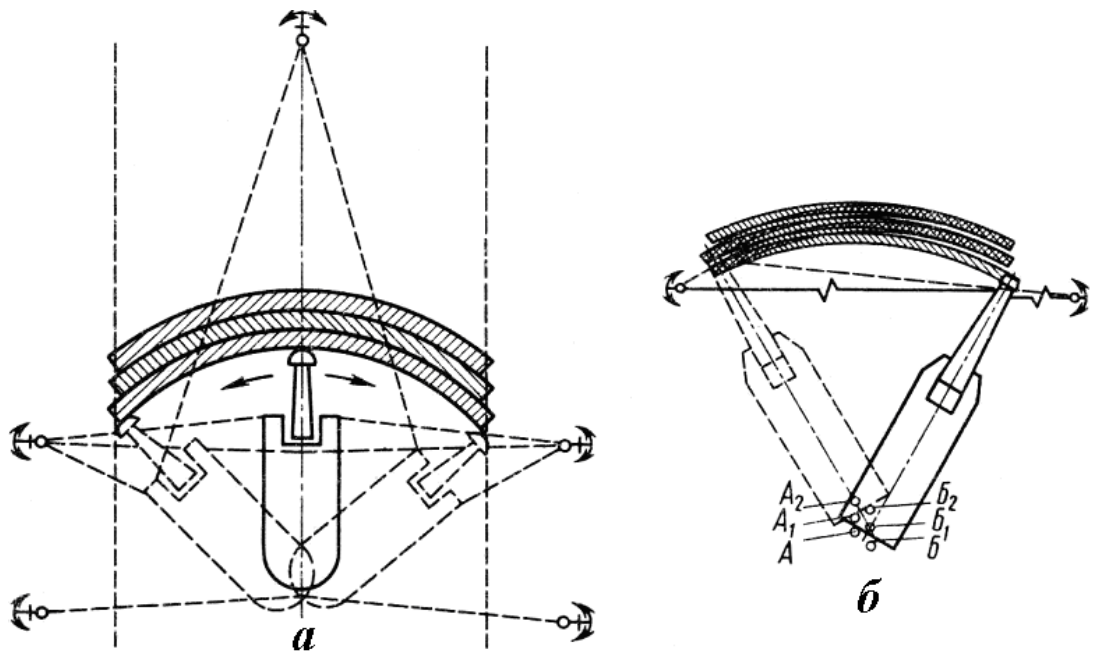


Рис. 7.46. Способы рабочих перемещений земснаряда

Тяговое усилие в канатах папильонажных лебедок должно быть достаточным для преодоления всех сопротивлений папильонажному перемещению, включая сопротивление грунта резанию, при наиболее неблагоприятных их сочетаниях.

Производительность земснаряда по пульпе определяют по подаче Q_H грунтового насоса, а для ее перевода в производительность по грунту, приведенному к состоянию естественного залегания, пользуются формулой

$$\Pi_0 = Q_H k,$$

где k – коэффициент, учитывающий консистенцию пульпы.

Последнюю определяют отношением объема грунта, приведенного к естественному состоянию, к объему воды в определенном объеме пульпы. Для более полной эксплуатационной характеристики земснаряда вместе с его производительностью приводят дальность транспортирования пульпы.

7.9. Машины для уплотнения грунтов

При разработке грунта нарушается его структура, он разрыхляется, значительно уменьшается его плотность по сравнению с той, какую грунт имел в состоянии естественного залегания.

Во избежание последующих оседаний и деформаций зданий и сооружений, обеспечения их устойчивости в течение всего срока эксплуатации грунты, на которых они возводятся, должны обладать достаточной плотностью, регламентированной СНиП и другими нормативными документами. Просадочные и насыпные грунты перед возведением на них зданий и сооружений подлежат искусственному уплотнению.

Уплотнение грунтов относится к числу наиболее важных элементов технологического процесса подготовки оснований под строительные объекты, возведения земляного полотна автомобильных дорог и т.п. От качества выполнения этого процесса зависит дальнейшая их служба. С этой целью для каждого из сооружений установлены технические требования к плотностям их

грунтов. При этом в основу оценки степени уплотнения положен метод стандартного уплотнения, и потому требования к плотностям грунтов обычно выражены в виде коэффициента уплотнения, т.е. в долях от максимальной стандартной плотности. Степень уплотнения характеризуется отношением веса единицы объема грунта после уплотнения к весу такого же объема в рыхлом состоянии и оценивается коэффициентом уплотнения k_v .

Для верхних слоев грунтов земляного полотна автомобильных дорог требования к плотностям высоки – здесь плотность грунта должна достигаться при давлениях на грунт не ниже $(0,98...1,0) \sigma_{\max}$. Для нижних слоев насыпей давление на грунт может быть снижено до $0,95 \sigma_{\max}$. Следует заметить, что достижение такой высокой плотности (давление на грунт $0,98-1,0 \sigma_{\max}$) связано со значительными трудностями и может быть достигнуто лишь при правильном выборе параметров применяемых машин и режима работы.

Процесс уплотнения (необратимого деформирования) заключается в относительном смещении частиц грунта и связан с вытеснением воздуха и воды путем внешнего силового воздействия или за счет гравитационных сил, в результате которых определенная масса грунта уменьшается в объеме, а его плотность повышается. Способность грунта к изменению объема зависит от наличия в нем пор, частично заполненных водой, а частично воздухом. При силовом воздействии эти компоненты перемещаются в менее напряженные зоны с выходом воздуха и свободной воды на поверхность. Из-за повышенной сжимаемости находящийся в порах воздух не полностью удаляется из них и, будучи сжатым, оказывает равномерное реактивное давление на сближающиеся твердые частицы грунта, способствуя их компактной укладке. После снятия нагрузки сжатый воздух расширяется, вызывая обратимую деформацию грунта. При повторных нагружениях из пор удаляется все больше воздуха, вследствие чего обратимые деформации грунта уменьшаются. Остаточная деформация, характеризующая степень уплотнения грунта, достигает наибольшего значения при первых циклах нагружений, снижаясь к концу этого процесса.

Разрыхление грунта перед его уплотнением способствует выходу воздуха и свободной воды из пор на поверхность без подповерхностного их перемещения в менее напряженные зоны, благодаря чему требуемая плотность грунта может быть достигнута меньшим числом повторных нагружений. По этой причине большинство способов уплотнения грунта являются двухэтапными, включающими разрыхление уплотняемого слоя и собственно его уплотнение.

Полученная в результате уплотнения плотность грунта существенно зависит от влажности, с повышением которой уменьшается прочность структурных связей в грунте. Максимальная плотность грунта при заданном режиме его уплотнения достигается при определенных соотношениях его твердых, жидких и газообразных компонентов.

При недостаточной влажности для достижения требуемой плотности необходимо, например, снижать толщину уплотняемого слоя. Очень сухие грунты вообще не могут быть доведены до требуемой плотности. Оптимальная влажность грунта ω , определяющая стандартное уплотнение, соответствует

работе средних машин. Оптимальная влажность, соответствующая работе тяжелых машин, обычно равна (0,8...0,9) ω.

При недостатке влаги и избытке воздуха агрегаты грунта при разрыхлении разрушаются не полностью. После уплотнения в них еще остается много воздуха, вследствие чего требуемая плотность не достигается. Влажность грунта, соответствующую максимальному стандартному значению плотности называют оптимальной влажностью. Значения ее для различных грунтов приведены ниже (табл. 7.7).

Таблица 7.7

Оптимальная влажность и максимальная плотность грунтов

Грунты	Оптимальная влажность в %	Удельный вес в кН/м ³	Объем воздуха в порах в %	Объемный вес скелета грунта в г/см ³
Песчаные.....	8...14	25,7	6	2,05...1,90
Супеси:				
легкие и тяжелые.....	9...15	25,8	6	1,97...1,78
пылеватые.....	16...20	26,0	5	1,78...1,65
Суглинки: легкие.....	12...18	26,2	5	1,72...1,63
пылеватые.....	15...22	26,2	5	1,72...1,63
тяжелые и тяжелые пылеватые.....	14...20	26,3	4	1,75...1,63
Глины: пылеватые.....	16...26	26,3	4	1,75...1,63
Суглинистые черноземы	20...25	25,3	5	1,63...1,50

В зависимости от ответственности земляного сооружения коэффициент уплотнения назначают в пределах от 0,9 до 1.

При выборе уплотняющих машин и оборудования, а также при назначении режимов их работы следует учитывать некоторые особенности грунтов. В отличие от других материалов грунты относят к телам, деформации которых зависят не только от приложенной нагрузки, а также от продолжительности ее действия и скорости изменения напряженного состояния. Зависимость между напряжениями и деформациями подчиняется закону Гука лишь при медленном нагружении (менее 50 кПа/с) и только при неупрочненных связных грунтах. Во всех случаях быстрого или ударного приложения нагрузки деформации в грунте отстают от напряжений. При этом деформации продолжают расти и после того, как напряжения начнут снижаться. Такой процесс деформирования называют последствием нагружения. Доля деформаций этапа последствия в общем размере деформаций существенна. Так, при скоростях нагружения, соответствующих перекачиванию колес землеройно-транспортных машин, катков и т.п., она составляет около 50%, а в режимах работы трамбуемых машин еще больше. В последнем случае деформация может достигнуть максимального значения, когда нагрузка успела снизиться до нуля. Обратимая деформация всегда запаздывает по отношению к изменению напряжений. При этом значительная часть этой деформации приходится на этап обратного упругого последствия уже после полной разгрузки. По мере роста скорости нагружения грунт

приобретает хрупкие свойства – его разрушение происходит при уменьшенных деформациях. Следует также учитывать продолжительность пауз между смежными циклами нагружений, которая должна быть достаточной для полного восстановления обратимой деформации. В противном случае из-за встречного движения грунтовых агрегатов накопленная деформация несколько снижается.

Все процессы уплотнения грунтов в строительстве полностью механизированы. Их выполняют с помощью машин и оборудования, классифицируемых по характеру силового воздействия на грунт и способу перемещения рабочего органа относительно уплотняемой зоны грунта. Различают машины статического, динамического и комбинированного действия.

Статическое воздействие реализуется в виде укатки, при которой необратимая деформация грунта развивается вследствие многократно повторяющегося действия перемещающейся нагрузки на поверхности контакта с грунтом перекатываемого по нему вальца или колеса. Динамическое воздействие имеет место при трамбовании и виброуплотнении. При трамбовании грунт уплотняется падающей массой. При этом часть кинетической энергии преобразуется в момент удара о грунт в работу для его уплотнения.

Виброуплотнение заключается в сообщении грунту колебательного движения, которое приводит к относительному смещению его частиц и более полной их упаковке. Эти движения возбуждаются колеблющимися массами, находящимися на поверхности уплотняемого грунта. При виброуплотнении рабочий орган вибратора колеблется вместе с грунтом (присоединенной массой грунта). Если возмущения превзойдут определенный предел, то виброуплотнение преобразуется в вибротрамбование с отрывом рабочего органа вибратора от грунта и частыми ударами по нему. При этом грунт будет встряхиваться, в результате чего находящаяся в нем связанная вода перейдет в свободную, благодаря чему уменьшится сопротивляемость грунта внешним нагрузкам. Этим достигается большая эффективность процесса по сравнению с другими способами уплотнения. Как разновидность виброуплотнения применяют также комбинацию этого способа с укаткой, для чего перекатываемому по грунту катку сообщают направленные вертикальные колебания.

По способу перемещения рабочего органа относительно уплотняемой зоны грунта различают самоходные машины, прицепные и полуприцепные орудия, перемещаемые за тягачом (все виды катков), машины с навесными рабочими органами (трамбовочные и вибротрамбовочные машины) и оборудование, перемещаемое за счет импульсных реактивных сил в результате наклонного силового воздействия на грунт (виброплиты).

При назначении режимов работы грунтоуплотняющего оборудования следует учитывать, что большей глубине уплотненного слоя соответствуют большие давления на поверхности контакта с грунтом рабочего органа, которые, однако, не должны быть больше предела прочности грунта. Если это

условие не удовлетворяется, то происходит разрушение структуры грунта, которое, например, в случае уплотнения укаткой, проявляется в сильном волнообразовании перед вальцами или колесами катков, выпирании грунта в стороны. Лучшее уплотнение получается в тех случаях, когда удельные давления на поверхности контакта с рабочими органами уплотняющих машин равны $(0,9 \dots 1,0) \sigma_p$. Исключением из этого правила являются машины, действие рабочих органов которых основано на глубоком проникании их в уплотняемый слой грунта (кулачковые и решетчатые катки).

Значения пределов прочности для грунтов оптимальной влажности приведены в табл. 7.8. Поскольку после каждой очередной проходки грунтоуплотняющей машины предел прочности грунта на его поверхности возрастает, то для повышения эффективности процесса целесообразно контактные давления увеличивать от прохода к проходу (для катков) или от удара к удару (для трамбуемых машин). Для этого рекомендуется двухстадийное уплотнение грунта: предварительное – легкой машиной, окончательное – тяжелой. При этом общее число проходов или ударов по одному месту может быть уменьшено в среднем на 25% с сокращением стоимости работ до 30%, в том числе и за счет частичной замены тяжелых машин легкими. При уплотнении грунтов после скреперной отсыпки эффект будет еще выше вследствие того, что предварительное уплотнение грунта будет выполнено скреперами попутно с их разгрузкой.

Таблица 7.8

Пределы прочности грунтов при оптимальных влажности и плотности $k_v = 0,95$ в МПа

Грунты	Уплотнение грунтов		
	катками		трамбуемыми машинами с ударной частью диаметром 0,07...0,15 м
	с гладкими вальцами	на пневматических шинах	
Малосвязные (песчаные, супесчаные, пылеватые)	0,3...0,6	0,3...0,4	0,3...0,7
Средней связности (суглинистые)	0,6...1,0	0,4...0,6	0,7...1,2
Высокой связности (тяжелосуглинистые)	1,0...1,5	0,6...0,8	1,2...2,0
Весьма связные (глинистые)	1,5...1,8	0,8...1,0	2,0...2,3

Число проходов или повторения приложения нагрузки для достижения требуемой плотности зависит от толщины уплотняемого слоя (рис. 7.47). Грунт уплотняют слоями, по возможности на уровне оптимальной толщины H_0 . Для получения высокой плотности (с $k_v = 0,98 \dots 1$) толщину уплотняемого слоя снижают примерно в 2 раза по сравнению с толщиной, принимаемой при $k_v = 0,95$, в противном случае энергоёмкость процесса может возрасти примерно в 1,5 раза.

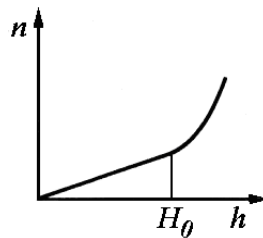


Рис. 7.47. Зависимость необходимого числа повторений приложения нагрузки от толщины уплотняемого слоя грунта

Выбор того или иного способа уплотнения зависит от характера грунта и толщины уплотняемого слоя. Связные грунты, отсыпаемые относительно тонким слоем, хорошо уплотняются катком статического действия. Такие же грунты на большую глубину можно уплотнять трамбованием. Малосвязные и сыпучие грунты лучше, всего уплотнять вибрационными машинами.

Катки статического действия бывают с металлическими вальцами (рис 7.48) и на пневмошинах (рис. 7.49). И те и другие могут быть прицепными, полуприцепными и самоходными.

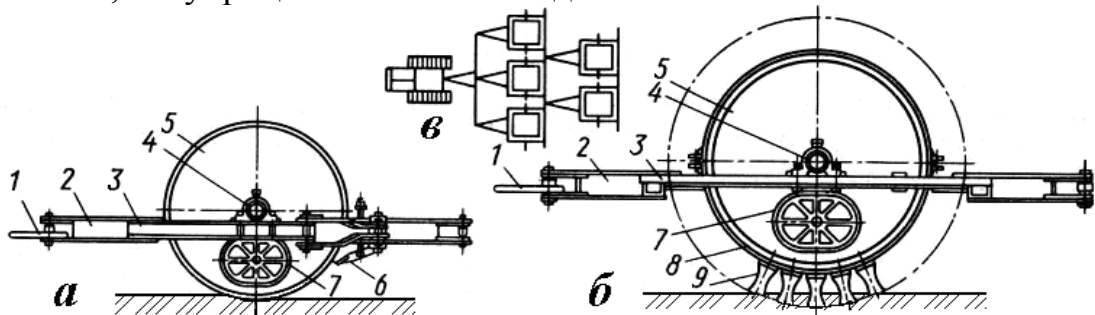


Рис. 7.48. Прицепные катки с металлическими вальцами:
а – с гладким; б – с кулачковым; в – схема соединения катков для работы в сцепе

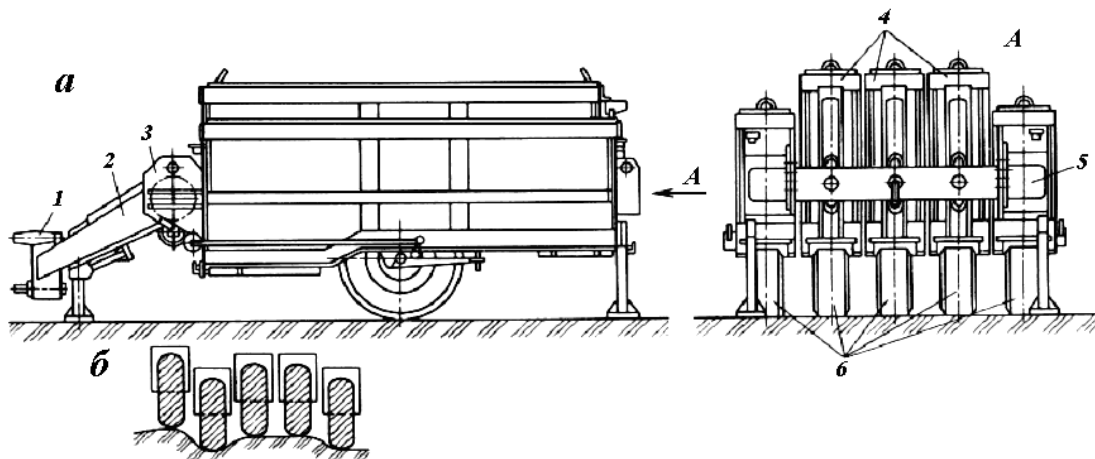


Рис. 7.49. Прицепной пневмокаток с независимой подвеской колес:
а – общий вид; б – схема перекатывания колес по неровностям поверхности грунта

Металлические вальцы изготавливаются в виде полых гладких, кулачковых, решетчатых или сегментных барабанов. Полость гладкого или кулачкового барабана (вальца) можно заполнять балластом – песком или водой, увеличивая вес катка. Для укатки грунта на обширных площадях используют сцепы из двух-пяти катков и более, объединенных общими траверсами (рис. 7.48, в).

Наиболее просты по конструкции катки с гладкими вальцами (рис. 7.48, *а*). Они состоят из гладкого пустотелого вальца 5 и охватывающей его рамы 3 с дышлом 2 и сцепным устройством 1 на конце. Ось вальца соединена с рамой через подшипники 4 на торцовых шипах. Для увеличения давления на грунт валец загружают песком через люк 7. Налипший на поверхность вальца грунт очищается скребком 6, установленным на раме. Катки этого типа перемещаются за тягачом, обычно трактором. Последовательные проходы выполняют или с разворотами, или челночным способом, для чего тягач перецепляют на противоположную сторону катка. Гладкие катки уплотняют грунт слоями 0,15...0,2 м без его разрыхления или с незначительным разрыхлением на глубину 1...3 см (в несвязных грунтах). Их применяют преимущественно для прикатки в один-два прохода поверхностей, уплотненных другими катками.

Ширину вальца рекомендуется принимать равной его диаметру или несколько (до 20%) больше этого размера. При малой ширине каток недостаточно устойчив, а при большой ширине ухудшается его маневренность на поворотах. При повышенных скоростях из-за больших сдвигающих усилий на контактной поверхности формируется менее прочная структура грунта. Наиболее рациональные скоростные режимы – перемещение катка на малой скорости (1,5...2,5 км/ч) на первом и двух последних проходах и на повышенных скоростях (8...10 км/ч) на промежуточных проходах, что обеспечивает увеличение производительности катков примерно в 2 раза по сравнению с работой в однокоростном режиме, удовлетворяющем требованиям прочности поверхности грунта.

Кулачковые катки (рис. 7.48, *б*) отличаются от катков с гладкими вальцами наличием на рабочей поверхности вальцов кулачков 9, расставленных в шахматном порядке. Кулачки приваривают или непосредственно к обечайке вальца, или к полубандажам 8, которые затем монтируют на обечайке гладкого вальца. Между рядами кулачков очищают штырями, собранными на общей балке, которая прикреплена к раме вместо скребка. Отечественная промышленность выпускает кулачковые катки массой (с балластом) до 30 т при диаметре вальцов до 2,4 м. Ширина уплотняемой полосы составляет до 2,8 м, а требуемая плотность грунта достигается за 6...10 проходов катка.

При работе кулачковых катков грунт уплотняется внедряемыми в него кулачками, а на первых проходах также поверхностью вальца. По мере уплотнения грунта кулачками на глубине при каждом новом проходе их погружение в грунт уменьшается, вследствие чего валец теряет контакт с уплотняемой поверхностью. Из-за высоких контактных давлений в конце уплотнения кулачки будут несколько погружены в грунт, вследствие чего на его поверхности останется разрыхленный слой, который при необходимости прикатывают катками с гладкими вальцами. В отличие от работы катков с гладкими вальцами, когда от прохода к проходу уплотненный слой наращивается от поверхности вглубь, кулачки начинают уплотнение на глубине, наращивая его в направлении к поверхности. Поэтому эффективность уплотнения грунта кулачковыми катками обуславливается возможностью

полного погружения кулачков в грунт на первых проходах с уменьшением этого погружения на последующих. Для этого на контактных площадках кулачков с грунтом должно быть достаточное давление для их погружения.

Однако при чрезмерном давлении в конце процесса уплотнения кулачки могут быть погружены в грунт настолько, что из-за большого слоя поверхностного разрыхления работа катка окажется нецелесообразной. Такое явление характерно при уплотнении плотных грунтов, для погружения в которые потребуются высокие контактные давления на поверхности кулачков. Но эти давления окажутся уже чрезмерными на заключительной стадии процесса. При уплотнении несвязных и малосвязных грунтов вследствие высоких напряжений происходит перемещение грунтовых частиц вверх и в стороны, вследствие чего практически невозможно достигнуть требуемой плотности. Поэтому кулачковые катки эффективно применять только для уплотнения рыхлых связных грунтов.

Минимальный поперечный размер b на опорной поверхности кулачка назначают не менее $1/4$ толщины уплотняемого слоя, а длину кулачка

$$l = 1,4H_0 + h_p - 2,5b,$$

где H_0 – оптимальная толщина уплотняемого слоя, $H_0 = 0,12 \dots 0,3$ м; h_p – допускаемая толщина слоя поверхностного разрыхления, $h_p = 0,04 \dots 0,15$ м.

На каждом 1 м^2 поверхности вальца легких и средних катков устанавливают 20...25 кулачков. Диаметр вальца назначают в зависимости от длины кулачков $D = (5,5 \dots 7) \cdot l$, а при назначении ширины вальца пользуются прежними рекомендациями для катков с гладкими вальцами. В зависимости от грунта используются кулачки различных форм. Для обеспечения требуемого контактного давления p (от 0,7...2 МПа для легких до 4...6 МПа и более для тяжелых катков) масса вальца должна быть не меньше $m = pFz'/g$. Для уплотнения легких и тяжелых суглинков, а также грунтов различной влажности требуемую массу вальца корректируют балластом. Для обеспечения $k_y = 0,95$ требуемое число проходов $n = Sk/(Fz)$, а для $k_y = 0,98 \dots 1$ требуемое число проходов увеличивают в 2...3 раза. Здесь F – площадь опорной поверхности кулачка; z' – число кулачков в одном ряду по образующей вальца; g – ускорение свободного падения; S – площадь поверхности вальца; k – коэффициент неравномерности перекрытия поверхности кулачками, в среднем $k = 1,3$; z – общее число кулачков на вальце.

Катки с решетчатыми вальцами применяют для уплотнения комковатых и переувлажненных связных грунтов, включая разрыхленные мерзлые и скальные крупнообломочные грунты, а также для измельчения и уплотнения сухих комковых грунтов. Обечайка барабана образована плетеной или сварной металлической сеткой из прутков диаметром около 4 см, образующих квадратные ячейки со стороной около 10 см. В тех же условиях применяются катки с сегментными вальцами. Обод барабана состоит из металлических колец со стальными сегментами или пластинами, расположенными на некотором расстоянии друг от друга как по ширине барабана, так и по его окружности.

Пневмоколесные катки применяют для уплотнения как грунтов, так и гравийных и щебеночных оснований, а также черных смесей и асфальтобетона. Преимуществом этих катков перед катками с жесткими вальцами является то, что при уплотнении каменных материалов они не измельчают их. Отечественная промышленность выпускает прицепные пневмоколесные катки массой до 25 т (с балластом). Ширина уплотняемой полосы достигает 2,6 м, а толщина уплотняемого слоя 0,35 м. Требуемая плотность грунта достигается за 6...10 проходов.

Прицепной пневмоколесный каток (рис. 7.49) соединяется с тягачом (трактором или автомобилем) посредством дышла 2 и сцепки 1. Он имеет четыре-шесть пневматических колес 6, соединенных с рамой через балансиры, и по числу колес несколько балластных ящиков 4. Крайние балластные ящики жестко соединены между собой передней 3 и задней 5 поперечными балками, а ось каждого из колес крепится к днищу соответствующего балластного ящика. Средние ящики балансирно закреплены на задней поперечной балке. Такая конструкция обеспечивает постоянный контакт всех колес с неровной поверхностью укатки (рис. 7,49, б) и равномерную передачу нагрузки на грунт каждым колесом. Катки с общей осью колес этими свойствами не обладают, и при их перемещении может нарушаться контакт отдельных колес с грунтом.

Пневматические шины сжимаются и по сравнению с жесткими вальцами они имеют большие площади контакта с грунтом (рис. 7.50), что повышает продолжительность нагружения грунта в каждом проходе катка и уменьшает количество проходов. Пневматические шины размещают не вплотную, а с зазорами. Наибольшая допустимая величина зазора определяется эмпирической зависимостью $e = (0,3...0,4)B$, где B – ширина шины. Если зазоры между шинами превосходят эти пределы, то наблюдается выдавливание грунта в межколесное пространство, что снижает эффективность уплотнения и увеличивает силу тяги и затрачиваемую мощность. Уплотнение имеет место не только под пневмоколесами, но между ними (зона С на рис. 7.51). В зонах А и В уплотнение произойдет в последующих проходах при смещении катка. Степень уплотнения, достигаемая пневмоколесными катками, определяется давлением воздуха в шинах, массой катка, требуемым числом проходов и оптимальной толщиной слоя уплотняемого грунта.

Полуприцепные пневмокатки для работы в агрегате с колесными тракторами и одноосными тягачами унифицированы с описанными прицепными катками с независимой подвеской и отличаются от последних лишь сцепными устройствами. Наибольшая масса выпускаемых отечественной промышленностью полуприцепных пневмокатков (с балластом) составляет 54 т при ширине уплотняемой полосы до 2,8 м и глубине уплотнения до 0,43 м. Требуемая степень уплотнения достигается за 5...10 проходов при рабочих скоростях передвижения 11...15 км/ч.

На первых проходах, когда грунт еще рыхлый, шина погружается в грунт подобно жесткому вальцу, деформируя (уплотняя) его. По мере повышения плотности грунта его деформация уменьшается, а деформация шины

увеличивается с развитием контактной поверхности, чем достигается более равномерное контактное давление.

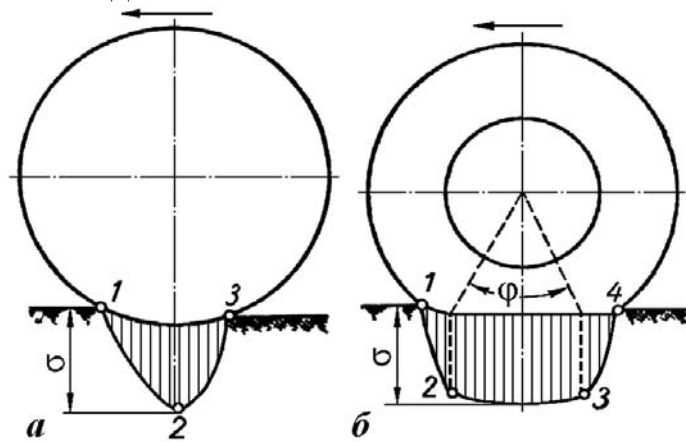


Рис. 7.50. Эпюры распределения напряжений в грунте:
а – под жестким вальцом; б – под пневмоколесом

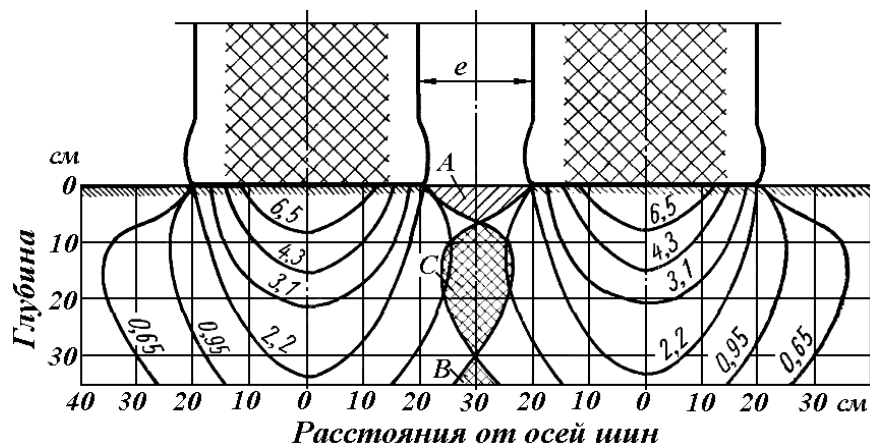


Рис. 7.51. Распределение напряжений в грунте под пневмоколесами

На самоходных пневмокатках устанавливают четыре задних и три передних колеса, располагая их в плане в шахматном порядке, что обеспечивает удовлетворительное перекрытие смежных уплотняемых полос. Нагрузка от массы машины, включая балласт, распределена между колесами равномерно, что поддерживается системой централизованного регулирования давления воздуха в шинах 0,3...1 МПа. Независимая подвеска колес, возможность качания каждого из мостов посредством балансиров на угол до 10° обеспечивают хорошую приспособляемость к неровностям грунта. Направление движения изменяется поворотом переднего моста относительно вертикального шарнира. Катки оборудуют дизелями с гидромеханическими трансмиссиями.

Самоходные пневмокатки применяют для уплотнения грунтов и покрытий дорог. В последнем случае, особенно на укатке черных и асфальтобетонных покрытий, их оборудуют шинами с гладкими протекторами и пневматическими распылителями воды для смачивания и охлаждения шин. Отечественная промышленность выпускает самоходные пневмокатки массой (с балластом) 16 и 30 т.

Трамбующие машины уплотняют грунт ударами падающей массы. Трамбованием уплотняют как связные, так и несвязные грунты слоями

большой толщины (1...1,5 м). Рабочие органы трамбуемых машин в виде чугунных или железобетонных плит круглой или квадратной формы навешивают на экскаваторы или специально приспособленные для этого машины. В первом случае в качестве базовой машины используют одноковшовый экскаватор со стрелой драглайна, к подъемному канату которого подвешивают плиту массой 0,8...1,5 т с площадью опорной поверхности около 1 м². Вспомогательным канатом с легким оттяжным грузом предупреждают закручивание основного каната. Плиту поднимают на высоту 1,2...2 м, с которой ее сбрасывают отключением от трансмиссии барабана подъемной лебедки. Тремя-шестью ударами плиты о грунт достигают его уплотнения на глубину 0,8...1,5 м. Продолжительность рабочего цикла с учетом поворотных движений экскаватора в плане составляет в среднем 12...20 с, что определяет невысокую производительность этого способа.

Применение экскаваторов для уплотнения грунтов экономически невыгодно вследствие высокой стоимости этих машин, а также из-за повышенного износа подъемного и передающих механизмов в описанном режиме нагружения. По этой причине указанный способ уплотнения грунтов имеет ограниченное применение – в местах, труднодоступных для других грунтоуплотняющих машин.

Для уплотнения грунтов на объектах с широким фронтом работ используют самоходные трамбуемые машины на базе гусеничного трактора класса 10...15 (рис. 7.52). Машина оборудована двумя перемещающимися по направляющим чугунными плитами массой 1,3 т каждая, которые поочередно поднимаются и падают на уплотняемую поверхность при непрерывном движении базового трактора. В зависимости от содержания в грунте глинистых частиц уплотнение на глубину до 1,2 м достигается за три-шесть ударов плиты по одному месту. Соответствующая этим требованиям скорость передвижения трактора составляет 160...320 м/ч. Предельный (разрушающий) импульс для малосвязанных грунтов (песчаных и супесчаных) ~ 5 кПа, а для весьма связных глинистых грунтов ~ 30 кПа.

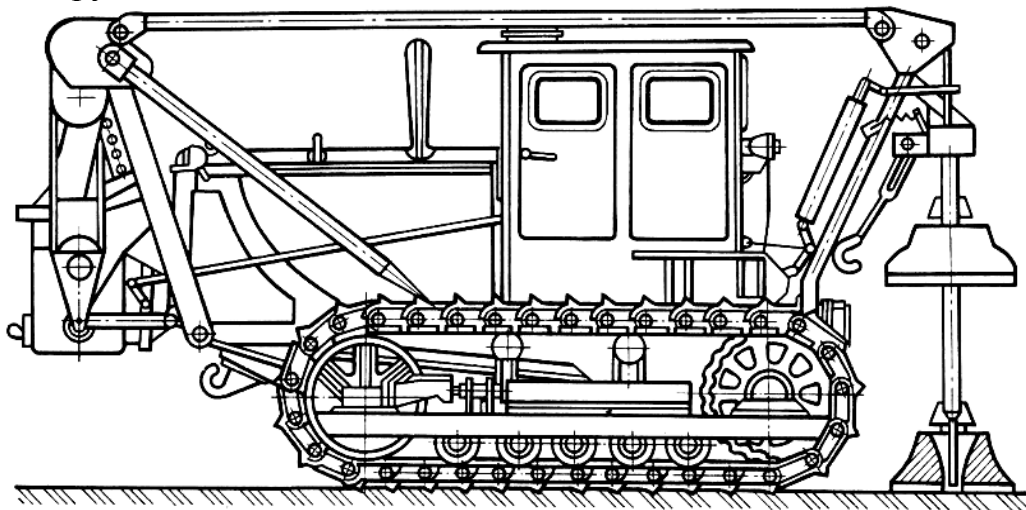


Рис. 7.52. Самоходная трамбовочная машина

Вибрационное уплотнение производится виброплитами, вибротрамбовочными машинами и виброкатками. При уплотнении несвязных

грунтов слоями 0,4...0,8 м эта глубина увеличивается в 1,5 раза, а с увеличением толщины уплотняемого слоя до 0,8...1,2 м – в 1,2 раза. При $k_y = 0,98...1$ оптимальную толщину уплотняемого слоя грунта принимают равной половине активной глубины. При уплотнении связных грунтов наиболее целесообразна толщина слоя 0,6...0,8 м.

Для уплотнения несвязных и слабосвязных грунтов на ограниченных поверхностях применяют вибрационные поверхностные уплотнители (виброплиты). Грунт уплотняют плитой-поддоном 1 (рис. 7,53, а и б), которой сообщаются колебания, генерируемые двухдебалансным вибратором 2.

Принцип работы двухдебалансного вибратора направленного действия показан на рис. 7.53, д. При вращении дебаланса массой m с угловой скоростью ω и смещении центра масс от оси вращения (эксцентриситете) r центробежная сила составит $P = m\omega^2 r$. Два дебаланса с одинаковыми параметрами смонтированы в одном корпусе и им сообщается встречное вращение. Результирующая центробежных сил (вынуждающая сила) будет равна $Q = 2P \cos \varphi \cdot t$ и направлена перпендикулярно плоскости осей вращения дебалансов. Составляющие центробежных сил в этой плоскости взаимно уравновешиваются.

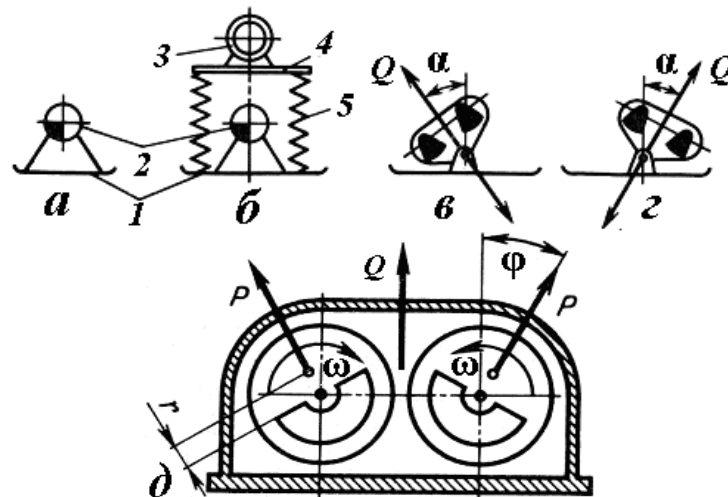


Рис. 7.53. Виброплиты: а – одномассная; б – двухмассная; в, г – схемы перемещения виброплиты; д – принцип работы вибратора направленного действия

Вибратор обычно устанавливают на поддоне, а приводящий его двигатель 3 или на том же поддоне, или на специальном подрамнике 4, опирающемся на поддон через пружины 5 или резиновые амортизаторы. Первую схему называют *одномассной*, а вторую *двухмассной*. Благодаря мягкой подвеске верхняя часть двухмассной виброплиты (7,53, б) не участвует в колебаниях, но воздействует на грунт своей силой тяжести, что улучшает условия работы двигателя, а также снижение до минимума инерционных потерь энергии. В среднем подпружиненная масса составляет 40...50% общей массы виброплиты. При двухмассной виброплите вращение дебалансам передается от двигателя через гибкую, обычно клиноременную, передачу с автоматическим обеспечением заданного натяжения ремней.

При одномассной виброплите вибратор устанавливают на ее поддоне на шарнире с возможностью его отклонения вручную и фиксации в заданном положении. При наклоне вибратора на угол α от вертикали возникнет горизонтальная составляющая вынуждающей силы $Q_x = Q \sin \alpha$. Если эта составляющая превадит сопротивление передвижению виброплиты, то плита начнет перемещаться в направлении отклонения вибратора от вертикали (рис. 7.53, *в* и *г*). Управляет виброплитой оператор с помощью рычагов, установленных на дышле, которое соединено с плитой также через амортизаторы. Поворотом дышла изменяется направление самопередвижения виброплиты. Виброплиты транспортируют на специальных тележках, буксируемых трактором или автомобилем.

Современные виброплиты производительностью 300...900 м²/ч массой 150...1400 кг уплотняют грунт на глубину 0,3...1 м.

На эффективность виброуплотнения грунта существенно влияет его влажность. Наименьшая продолжительность уплотнения соответствует влажности грунта, превышающей стандартную на 10...20%. С уменьшением влажности эффект уплотнения снижается, и при ее значении, составляющем 70...80% оптимальной для стандартного уплотнения, довести грунт до плотности $k_y = 0,95$ этим способом практически не удается.

Машина приспособлена для грунтоуплотнительных работ в тесных местах на ограниченной площади. Она может поворачиваться на месте в обе стороны, перемещаться задним ходом.

С возрастанием вынуждающей силы виброуплотнение может перейти в вибротрамбование с отрывом рабочего органа от уплотняемой поверхности грунта и частыми ударами по ней. Этот переход осуществляется при отношении вынуждающей силы к силе тяжести рабочего органа от 0,7...1 при частоте колебаний 12...25 Гц до 1,4...2,3 при частоте 50...85 Гц. В случае уплотнения несвязных грунтов этим отношениям соответствуют амплитуды, равные 0,3...0,4 мм.

Для привода вибратора двигатель (карбюраторный, дизель, реже электрический) выбирают по мощности, удельное значение которой (на 1 т массы виброплиты) принимают от 7...10 кВт/т при частоте 20 Гц до 22...35 кВт/т при частоте 75...90 Гц.

Ударно-вибрационный способ уплотнения грунтов реализуется в самоходной машине на базе гусеничного трактора с навесным трамбовочным оборудованием (рис. 7.54). Рабочее оборудование состоит из двух виброударных рабочих органов, смонтированных на раме 11, способной перемещаться в поперечном направлении на 0,5...0,7 м от следа базового трактора для уплотнения грунтов вне полосы его движения.

Генератором вертикальных перемещений трамбующей плиты 10 на каждом рабочем органе служит вибромолот 5, приводимый гидромотором-редуктором 3 через двухступенчатую клиноременную передачу 4. Вибромолот устроен подобно вибратору направленного действия и отличается от последнего тем, что его корпус может перемещаться по вертикальным

направляющим 6, на которых его среднее (нерабочее) положение фиксировано пружинами 7. В процессе этих перемещений, вызванных вынуждающей силой дебалансов, вибромолот ударяет бойком 9 в нижней части своего корпуса по наковальне 8, жестко соединенной с трамбующей плитой 10. Таким образом, трамбующая плита воспринимает ударные нагрузки через наковальню, а вибрационные – через пружины 7 и направляющие 6, сочетая в воздействии на грунт эффекты трамбования и виброуплотнения.

Рабочее оборудование устанавливают на раме 1, которую через амортизаторы 12 шарнирно крепят на лонжеронах гусеничных тележек базового трактора. Посредством гидроцилиндра 2 рабочее оборудование может быть установлено в рабочее положение или поднято для транспортного передвижения машины. Ударно-вибрационную машину комплектуют бульдозерным отвалом 14 с планирующей плитой 13 для разравнивания грунта в полосе перемещаемого следом рабочего органа.

Для уплотнения малосвязных грунтов весьма эффективно применять **вибрационные катки** с гладкими, кулачковыми или решетчатыми вальцами, внутри которых вмонтирован вибратор направленных колебаний, приводимый от автономного двигателя, установленного на раме катка. Эффективность уплотнения достигается путем совместного действия на грунт гравитационных и вынуждающих сил, генерируемых вибратором, что позволяет получить требуемую плотность грунта при сравнительно меньшей массе катка. Так, при уплотнении песков путем вибрационного воздействия масса катка может быть снижена примерно в 5 раз, при супесях – в 2 раза, а при уплотнении средних и тяжелых суглинков лишь на 10...30 %. Эффективность вибрационного воздействия снижается с увеличением содержания в грунте глинистых частиц. Поэтому для уплотнения связных и высокосвязных грунтов требуется применять весьма тяжелые катки. Виброкатки могут работать в вибрационном и виброударном режимах. Последний наступает при амплитудах вынуждающей силы, превышающих удвоенную силу тяжести катка.