

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет»
(ТвГТУ)

В.А. Беляков

СПЕЦИАЛЬНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Учебное пособие

Тверь 2024

УДК 624.132.3.002.5:621.8(075.8)

ББК 38.6 – 5я7

Рецензенты: кандидат физико-математических наук доцент кафедры компьютерной безопасности и математических методов управления ТвГУ Суворов В.И.; кандидат технических наук зав. кафедрой механизации природообустройства и ремонта машин ТвГТУ Крылов К.С.

Беляков В.А. Специальные строительные машины: учебное пособие. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2024. 84 с.

Составлено в соответствии с рабочей программой дисциплины «Специальная строительная техника» и содержит сведения о применении отдельных видов машин на земляных работах. Изложены базовые сведения о специальных строительных машинах. Расчетные формулы, описание устройства машин, значения коэффициентов позволят студентам ознакомиться с терминологией и более глубоко изучить конструкции строительных машин, определять их производительность и другие технические характеристики, а также получить навыки по выбору оборудования. Приведены методические рекомендации и примеры выполнения заданий для лучшего усвоения теоретического материала, приведенного в пособии.

Предназначено для студентов направления подготовки специалистов 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства (специализация подготовки «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные средства и оборудование») и студентов направления подготовки бакалавров 23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы (профиль подготовки «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные средства и оборудование»).

ISBN 978-5-7995-1336-8

© Тверской государственный
технический университет, 2024
© Беляков В.А., 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение | 5 |
| 1. Машины для подготовительных работ | 6 |
| 1.1. Рыхление мерзлых грунтов..... | 6 |
| 1.2. Очистка строительной площадки от леса и кустарников..... | 11 |
| 1.2.1. Машины для удаления надземной части растительности..... | 11 |
| 1.2.2. Машины для корчевания пней..... | 14 |
| Практическое занятие «Расчет сменной производительности бульдозерно-рыхлительного агрегата»..... | 15 |
| 2. Одноковшовые фронтальные погрузчики | 20 |
| 2.1. Назначение и классификация погрузчиков..... | 20 |
| 2.2. Конструктивные схемы и основные параметры погрузчиков..... | 22 |
| Практическое занятие «Определение производительности одноковшового погрузчика и количества транспорта для его обслуживания»..... | 25 |
| 3. Землесосные снаряды | 29 |
| 3.1. Классификация земснарядов и основные характеристики..... | 29 |
| 3.2. Характеристики корпуса земснаряда и его устройство... | 32 |
| 3.3. Рыхлители, насосы и пульпопроводы..... | 36 |
| Практическое занятие «Изучение устройства и определение параметров земснаряда»..... | 38 |

| | |
|--|-----------|
| Практическое занятие «Изучение устройства и рабочих процессов рыхлителей фрезерного типа»..... | 43 |
| 4. Многоковшовые траншейные экскаваторы..... | 48 |
| 4.1. Общие сведения о многоковшовых экскаваторах..... | 48 |
| 4.2. Траншейные экскаваторы..... | 53 |
| Практическое занятие «Технологические расчеты многоковшовых траншейных экскаваторов»..... | 57 |
| 5. Машины для свайных работ и бестраншейной прокладки подземных коммуникаций..... | 62 |
| 5.1. Копры и копровое оборудование..... | 62 |
| 5.2. Свайные погружатели..... | 64 |
| 5.2.1. Свайные погружатели ударного действия..... | 65 |
| 5.2.2. Свайные погружатели вибрационного и виброударного действия..... | 68 |
| 5.2.3. Свайные погружатели вдавливающего и завинчивающего действия..... | 71 |
| Практическое занятие «Изучение конструкции и определение параметров дизельных молотов»..... | 74 |
| 5.3. Машины и оборудование для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций..... | 77 |
| Библиографический список..... | 83 |

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование и ускорение строительного производства, подъем его на качественно новый уровень возможны исключительно за счет индустриализации и комплексной механизации основных трудоемких работ с конечной целью полного исключения ручного труда. В стране ежедневно тысячи машин рыхлят, разрабатывают, перемещают, укладывают и уплотняют грунт. Выбор землеройных машин для производства земляных работ зависит от вида грунта, рельефа местности, объема и глубины земляных выработок, условий выполнения работы (в отвал, на транспорт), транспортных средств и дальности перемещения грунта.

Высокий темп промышленного и гражданского строительства, сокращение сроков выполнения работ без учета времени года, а также условия строительства в районах Урала, Сибири, Дальнего Востока и Севера приводят к тому, что грунты все чаще разрабатываются в мерзлом состоянии. Для облегчения разработки грунта в зимних условиях практикуются предохранение грунтов от промерзания, оттаивание грунта перед его разработкой и в основном рыхление мерзлого грунта различными способами.

Земляные работы являются первым этапом дорожного, промышленного и гражданского строительства, от качества их выполнения во многом зависит долговечность строительных объектов. Обычно технологический процесс открытых земляных работ состоит из следующих операций: подготовки поверхности грунта к разработке (рыхления плотных, прочных и мерзлых грунтов, удаления камней, корчевания пней, срезания кустарника и др.); разработки грунта (отделения части грунта от массива и извлечения этой разрушенной части грунта землеройными машинами); транспортирования грунта (перемещения к месту укладки землеройно-транспортными машинами или земснарядами); укладки грунта в земляные сооружения (или в отвал).

Имеется, помимо перечисленных аппаратов для открытых земляных работ, группа машин и механизмов для закрытой разработки грунта. К ней относятся машины для горизонтального бурения, прокола, продавливания и других методов бестраншейной прокладки коммуникаций, которые позволяют эффективно разрабатывать грунт под естественными и искусственными препятствиями, не нарушая сложившуюся наземную инфраструктуру сооружений, дорог и других объектов.

Учебное пособие включает пять тем, в которых рассматриваются машины для подготовительных, погрузочных, землеройных работ, а также для гидромеханизированных работ и бестраншейной прокладки подземных коммуникаций, их назначение, классификация; приводятся конструктивные схемы и фотографии общего вида, технические характеристики основного оборудования, расчетные формулы для определения производительности, мощности, усилий в отдельных узлах конструкций.

1. МАШИНЫ ДЛЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

При возведении земляных сооружений их площадки должны быть подготовлены для строительных работ. Подготовительные работы включают очистку площадки от леса и кустарников; корчевку и удаление пней; удаление камней; рыхление скальных пород и мерзлых грунтов; понижение уровня грунтовых вод и др.

1.1. Рыхление мерзлых грунтов

Грунты в строительстве – горные породы, образующие поверхностные слои земли, служащие основанием или материалом для сооружений. Грунт представляет собой систему, состоящую из минеральных частиц, пространство между которыми заполнено воздухом, водой или льдом.

Мерзлые твердые грунты характеризуются практической несжимаемостью и хрупким разрушением. Пластичные грунты обладают вязкими свойствами и способны сжиматься под нагрузками (за счет высокого процента незамерзшей воды). Отличительными чертами грунтов являются значительная прочность, механическая неоднородность и высокая абразивность, особенно в грунтах с высоким содержанием каменных включений.

Механическая прочность грунта при замерзании возрастает и зависит от его гранулометрического состава, влажности и температуры. Наибольшей прочностью на сжатие при замерзании обладают влажные песчаные грунты (до 20 МПа). Прочность мерзлого грунта на сжатие в 3...5 раз выше его прочности на растяжение, поэтому мерзлый грунт легче разрушать скалыванием, чем резанием. Прочность указанного грунта быстро увеличивается с понижением температуры, особенно у песка и супеси. Его прочность также возрастает с повышением влажности до полной его влагоемкости; при дальнейшем увеличении содержания влаги прочность уменьшается. Прочность возрастает также с увеличением в мерзлом грунте количества частиц песка.

Рыхление мерзлого грунта с последующей разработкой землеройными и землеройно-транспортными машинами осуществляют *механическим* или *взрывным* методом. Взрывное рыхление выполняют обычно при большом объеме работ, значительной глубине промерзания или проведении взрывных работ на «выброс». Оно используется при значительном удалении от сооружений.

При механическом рыхлении мерзлого грунта применяют строительные машины повышенной мощности. Это рыхление базируется на резании, раскалывании или сколе слоя мерзлого грунта *статическим* или *динамическим* воздействием.

При динамическом воздействии на мерзлый грунт осуществляется его раскалывание или сколы молотами свободного падения (шар- и клин-молотами), подвешенными на канатах на стрелы экскаваторов (рис. 1.1а),

либо молотами направленного действия, когда рыхление реализуется в основном сколом грунта (рис. 1.1б).

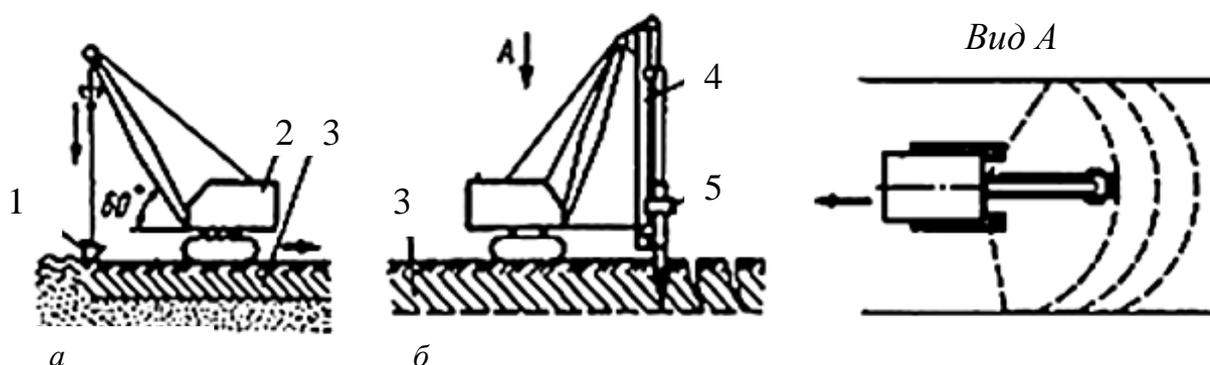


Рис. 1.1. Рыхление мерзлого грунта динамическим воздействием:

а – схема рыхления молотом свободного падения; *б* – то же, дизель-молотом;
1 – молот; 2 – экскаватор; 3 – мерзлый слой грунта; 4 – мачта копра; 5 – дизель-молот

Рыхление механическим способом позволяет осуществлять разработку грунта землеройными и землеройно-транспортными машинами. Молоты массой до 5 т сбрасывают с высоты 5...8 м. Молот в форме шара рекомендуется использовать при рыхлении песчаных и супесчаных грунтов, клин-молоты – глинистых (при глубине промерзания 0,5...0,7 м). В качестве молота направленного действия широко применяют дизель-молоты на экскаваторах или тракторах, позволяющие разрушать промороженный грунт на глубину до 1,3 м.

Статическое воздействие основано на создании непрерывного режущего усилия в мерзлом грунте специальным рабочим органом – зубом. В этом случае применяют бульдозерно-рыхлительные агрегаты, у которых непрерывное режущее усилие зуба образуется за счет тягового усилия трактора-тягача, или гидравлические экскаваторы с рабочим органом – зубом-рыхлителем (рис. 1.2...1.4). Машины указанных типов производят послойную проходку мерзлого грунта, обеспечивая за каждую проходку глубину рыхления порядка 0,3...0,4 м. Рыхлят грунт параллельными проходками (иногда при прочных грунтах с последующими поперечными проходками под углом 60°...90° к предыдущим). Возможность послойной разработки мерзлого грунта делает статические рыхлители применимыми независимо от глубины промерзания.

Существует большое число рыхлителей различных конструкций, которые можно разделить на типы:

- по виду тяги – навесные и прицепные;
- глубине рыхления – общего (для поверхностного рыхления на глубину до 500 мм) и специального назначения (для рыхления более 500 мм);

мощности двигателя базового трактора – малой (менее 100 л. с.), средней мощности (100–200 л. с.), мощные (200–400 л. с.) и сверхмощные (свыше 400 л. с.);

виду ходового устройства базового трактора (тягача) – на рыхлители на гусеничном и пневмоколесном ходу.

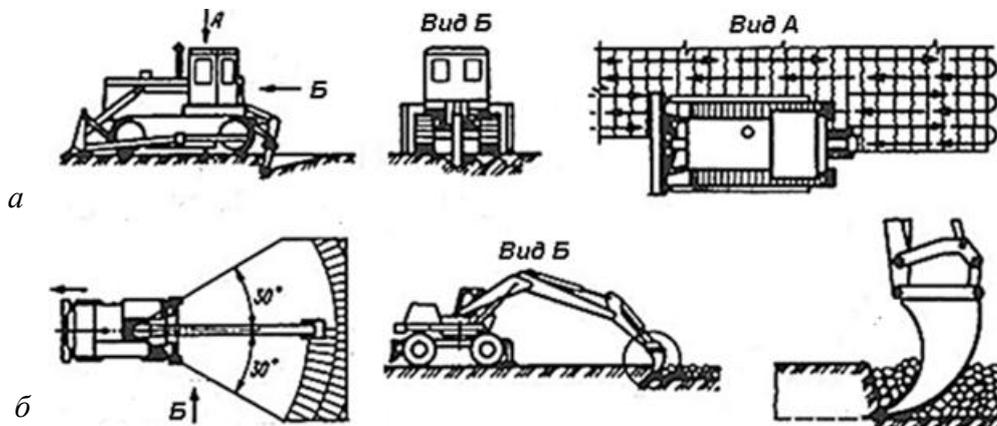


Рис. 1.2. Рыхление мерзлого грунта статическим воздействием:
а – бульдозерно-рыхлительным агрегатом; *б* – экскаватором-рыхлителем



Рис. 1.3. Бульдозерно-рыхлительный агрегат

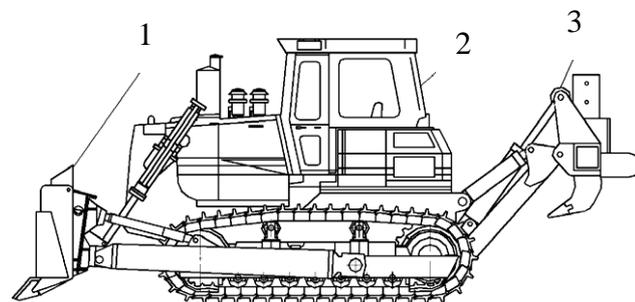


Рис. 1.4. Экскаватор-рыхлитель

Как правило, оборудование рыхлителя монтируют на гусеничных бульдозерах, а получающиеся в итоге машины называют бульдозерно-рыхлительными агрегатами (рис. 1.5).



а



б

Рис. 1.5. Бульдозерно-рыхлительный агрегат:
а – общий вид; *б* – конструктивная схема;
 1 – бульдозерное оборудование; 2 – промышленный трактор; 3 – рыхлитель

Различают трех- и четырехзвенное рыхлительное оборудование (рис. 1.6). Трехзвенное навесное устройство является наиболее простым: при подъеме или опускании рыхлящий зуб поворачивается относительно шарниров крепления к опорной раме, а угол рыхления изменяется.

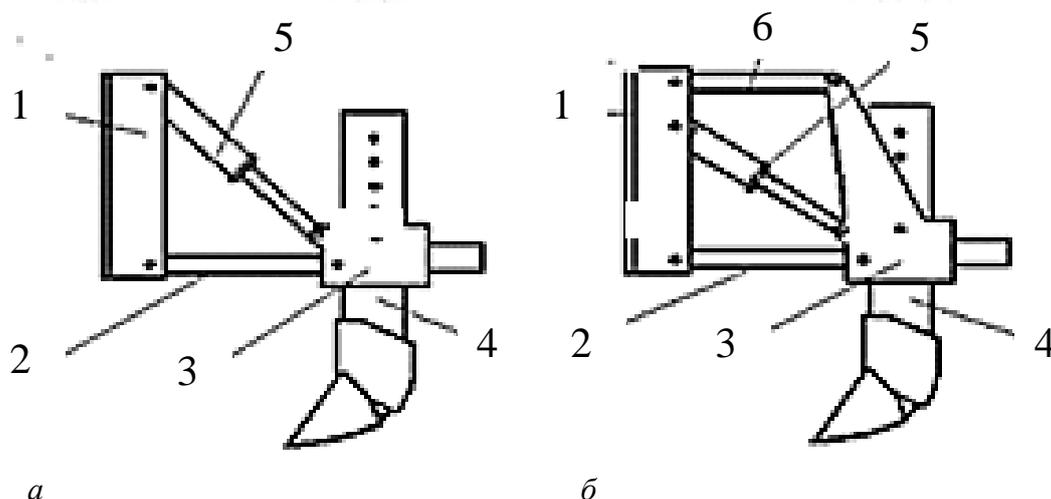


Рис. 1.6. Тип рыхлительного оборудования:

a – трехзвенное; *б* – четырехзвенное;

1 – опорная рама; 2 – нижняя тяговая рама; 3 – рабочая балка; 4 – рыхлящий зуб;
5 – гидроцилиндры подъема и опускания рабочей балки; 6 – верхняя тяговая рама

На небольшом отдалении наконечника зуба от поверхности земли угол рыхления близок к 90° , а передняя грань его стойки наклонена к поверхности. При этом сопротивление рыхлению увеличивается, задняя часть тягача разгружается, из-за чего ухудшаются его тяговые характеристики, заглупление зуба в грунт на начальном этапе затрудняется.

У рыхлителей с четырехзвенным рабочим оборудованием и гидравлическим управлением ориентация рыхлящих зубьев в пространстве не зависит от глубины рыхления, при замене верхней тяговой рамы гидроцилиндрами позволяет регулировать угол рыхления в пределах до 30° .

Зубья рыхлителя крепят к рабочей балке. Однозубые рыхлители монтируют на тягачах с большим тяговым усилием и применяют при разрушении скальных, вечномерзлых и прочных грунтов. Многозубые рыхлители используют при работе с более слабыми породами, искусственными дорожными покрытиями, грунтами сезонного промерзания и т. п.

Зубья либо жестко крепят в гнездах рабочей балки пальцами или клиньями, либо шарнирно (посредством флюгеров). Зуб рыхлителя (рис. 1.7) представляет собой металлическую стойку с отверстиями (как правило) для фиксации в рабочей балке. Передняя грань нижней рабочей части стойки защищена от износа накладкой и наконечником. Для крепления накладки и наконечника к стойке зуба чаще всего применяют пальцевые соединения со стопорными устройствами.

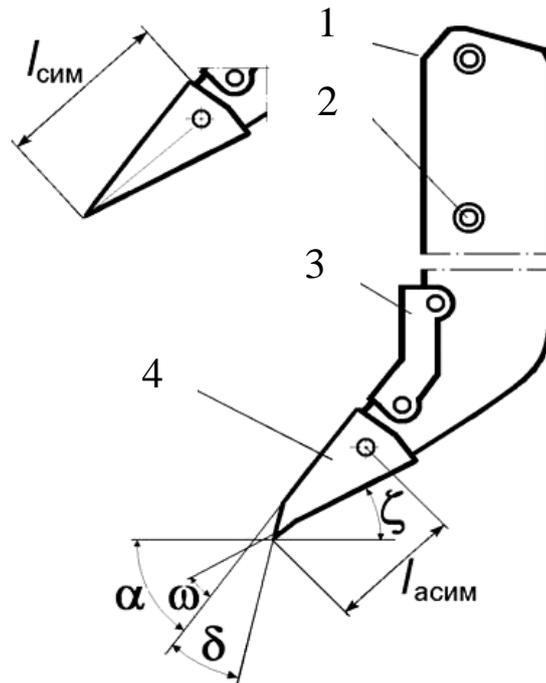


Рис. 1.7. Элементы и параметры зуба рыхлителя: 1 – стойка зуба; 2 – отверстия под пальцы крепления; 3 – защитная накладка; 4 – сменный наконечник; $l_{\text{сим}}$ – длина симметричного наконечника; $l_{\text{асим}}$ – длина асимметричного наконечника; α – угол рыхления; δ – угол отгиба наконечника (для симметричного наконечника 0°); ω – угол заострения; ζ – задний угол

Длину сменного наконечника выбирают по условиям его работы. Для усредненных условий работы она составляет 2,5...3,0 длины его режущей кромки; для работы со значительными динамическими нагрузками – 1,0...2,5 длины кромки; в условиях повышенного абразивного изнашивания – 1,0...3,0 длины кромки. Длина симметричных наконечников $l_{\text{сим}}$ – это расстояние от режущей кромки до отверстия стопорного пальца, асимметричных $l_{\text{асим}}$ – расстояние от режущей кромки до заднего конца передней грани. Задняя грань наконечника может быть плоской, но выгнутая вверх форма облегчает внедрение зуба в прочные грунты.

Рыхлители общего назначения оборудуются одним-пятью, а специального – одним-тремя съемными зубьями прямой или изогнутой формы.

Силы, действующие на рыхлитель. При работе рыхлителя необходимо рассчитать рабочий орган и систему подвески на прочность и долговечность, а также определить необходимые усилия заглабления рабочего органа с учетом режимов работы и свойств грунта.

При расчете на прочность принимают два основных положения, при которых возникают наибольшие нагрузки (рис. 1.8). Первое расчетное положение (при заглаблении): по известной силе тяжести трактора G_T (включая бульдозерное и рыхлительное оборудование) определяют максимальную силу заглабления зуба P_3 . Из условия приподнимания (вывешивания) базового трактора относительно точки A (точнее, относительно ребра A) составляют уравнение моментов (рис. 1.8a): $\Sigma M_A = 0$. По силе P_3 находят

геометрические размеры зуба, при которых этой силы достаточно для его внедрения в грунт.

Условие внедрения зуба $P_3 \geq k_p F$, где k_p – коэффициент удельного сопротивления грунта рыхлению; F – максимальная площадь части зуба, которая внедряется в грунт, m^2 .

Второе расчетное положение (при выглублении): определяют максимальную силу подъема зуба из положения максимально возможного заглубления. В этом случае силу выглубления P_B находят из условия опрокидывания рыхлителя вокруг точки B , т. е. из уравнения моментов $\Sigma M_B = 0$ (рис. 1.8б).

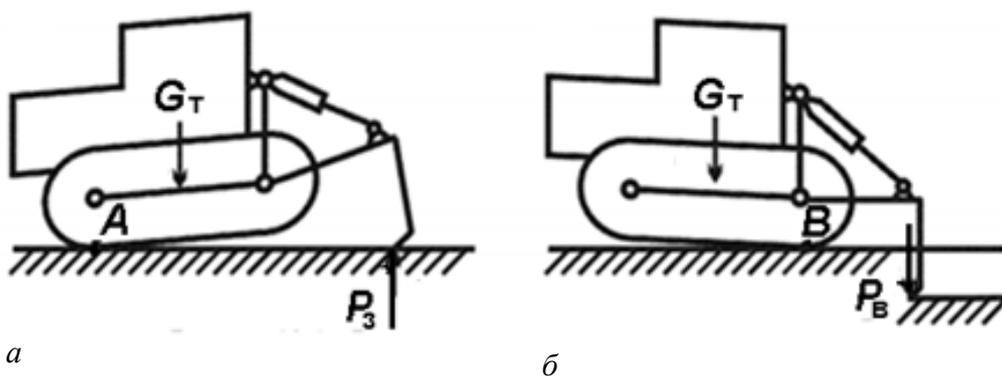


Рис. 1.8. Расчетные схемы для определения усилий на рабочем органе рыхлителя:
а – при заглублении; б – выглублении

Для расчета рамы и гидравлического привода рыхлительного оборудования на прочность к силам P_3 и P_B следует добавить силу тяги $T_{сц}$.

1.2. Очистка строительной площадки от леса и кустарников

Существуют две группы машин и орудий для удаления кустарника и мелколесья:

- 1) оборудование для удаления надземной части растительности путем ее срезания или измельчения;
- 2) для удаления растительности с корневой системой или пней с корнями.

1.2.1. Машины для удаления надземной части растительности

Для срезания кустарника и мелколесья (отдельных стволов) применяются кусторезы с рабочими органами активного и пассивного действия. У первых режущий орган совершает вращательное или возвратно-поступательное движение. К технике с активными инструментами относят устройства с дисковыми фрезами, горизонтальными ножами (в том числе косилочными), режущими приспособлениями на гибкой вязке и ножами на вращающихся дисках (рис. 1.9, 1.10).

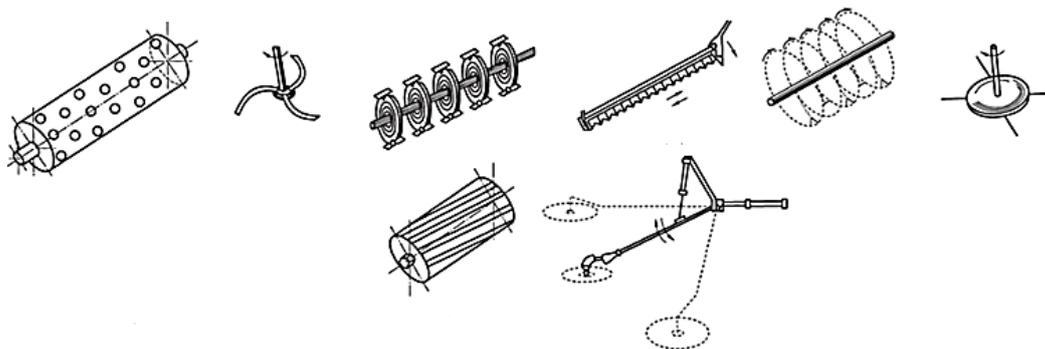


Рис. 1.9. Рабочие органы кусторезов активного действия



Рис. 1.10. Кусторезы с различными активными рабочими органами

Работа кустореза с активным рабочим органом состоит в спиливании деревьев и кустарников вращающейся циркулярной пилой. Вместо пилы также применяют диски с ножами и ножи косилочного типа. Рабочий орган навешивается на трактор и получает вращение через карданный вал и конический редуктор. В современных кусторезах привод осуществляется гидромоторами и гидроцилиндрами. Близким к промышленным кусторезам по назначению оборудованием являются мульчеры. Их также используют для очистки участков от древесно-кустарниковой растительности.

По конструкции, принципам работы и управления кусторезы пассивного типа аналогичны бульдозерам и имеют унифицированные с ними узлы. Кусторезное оборудование состоит из специального отвала и рычажно-шарнирной системы его крепления к тягачу в виде унифицированной тол-

кающей рамы, которая используется для бульдозера, а также для корчевателя и снегоочистителя. Подъем рамы осуществляется гидроцилиндрами. Кусторезный отвал – это две отвальные поверхности (1 и 5), расположенные в виде симметричного клина (рис. 1.11), или одна косо поставленная отвальная поверхность 4 (рис. 1.12). Нижняя часть отвальной поверхности оснащена ровной или пилообразной режущей кромкой, перед ней расположен колун, а сверху – защитная конструкция. Движение срезаемого материала вдоль отвала возможно, если острый угол между его режущей кромкой и вектором скорости машины не меньше 40° .

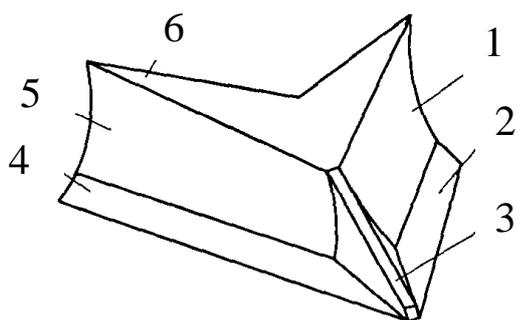


Рис. 1.11. Клиновидный кусторезный отвал:
1 и 5 – отвальные поверхности;
2 и 4 – ножи; 3 – колун; 6 – кожух

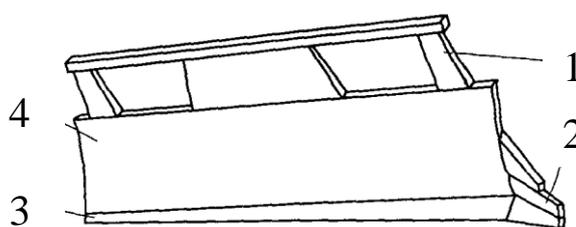


Рис. 1.12. Однокорпусной косо поставленный кусторезный отвал:
1 – защитное ограждение; 2 – колун;
3 – режущая кромка;
4 – отвальная поверхность

Колун раскалывает и раздвигает древесные стволы, режущая кромка срезает мелкие деревья и кустарник, отвал собирает и сдвигает срезанную растительность с очищаемой полосы в боковые валики.

Срезка кустарника совмещается с удалением дерна, так как отвал заглубляется на 3...5 см, поэтому кустарник и мелколесье (с диаметром стволов до 15 см) срезают, не оставляя пней. Максимальный диаметр срезаемых деревьев (за несколько проходов) достигает 40 см в зависимости от породы дерева. В процессе работы кустореза отвал, опущенный на поверхность грунта, скользит по нему, срезая кустарник и деревья на ширину захвата отвала.

Техническая производительность кустореза, $\text{м}^2/\text{ч}$:

$$P_{\text{тех}} = \frac{B L_{\text{рх}}}{\left(\frac{L_{\text{рх}}}{v_{\text{рх}}} + t_{\text{пов}}\right) n},$$

где B – ширина захвата, м; $L_{\text{рх}}$ – длина участка (от поворота до поворота), м; n – число проходов (по одному месту); $v_{\text{рх}}$ – скорость рабочего хода, м/ч; $t_{\text{пов}}$ – время одного поворота в конце участка ($t_{\text{пов}} = 90 \dots 120$ с).

1.2.2. Машины для корчевания пней

Для корчевания пней диаметром до 30 см применяют тракторы, бульдозеры, корчеватели-сборатели, у которых отвал представляет собой решетчатый щит с изогнутыми зубьями, расположенными в нижней части. Зубья корчевателя-сборателя опускаются ниже уровня земли на 15...20 см и при движении поддевают корневища, выдергивая их, затем удаляют за пределы площадки волоком.

Для корчевки пней диаметром 40...50 см используют корчевательные лебедки и корчеватели (ДП-8А, ДП-2, ДП-3, ДП-25, Д-695А). Для корчевки пней диаметром более 50 см с сильно развитой корневой системой или пней диаметром более 30 см, находящихся в мерзлых грунтах, следует применять взрывной способ.

Корчеватель представляет собой базовую машину с навесным рабочим органом со специальными зубьями. Он предназначен для корчевки и уборки пней диаметром до 50 см, расчистки участков от камней, корней, сваленных деревьев. Его можно задействовать и для рыхления грунта.

Имеется два варианта корчевателей: с передней и задней навесками рабочего оборудования. Конструкция корчевателя с задним расположением рабочего оборудования (рис. 1.13) напоминает конструкцию рыхлителя.

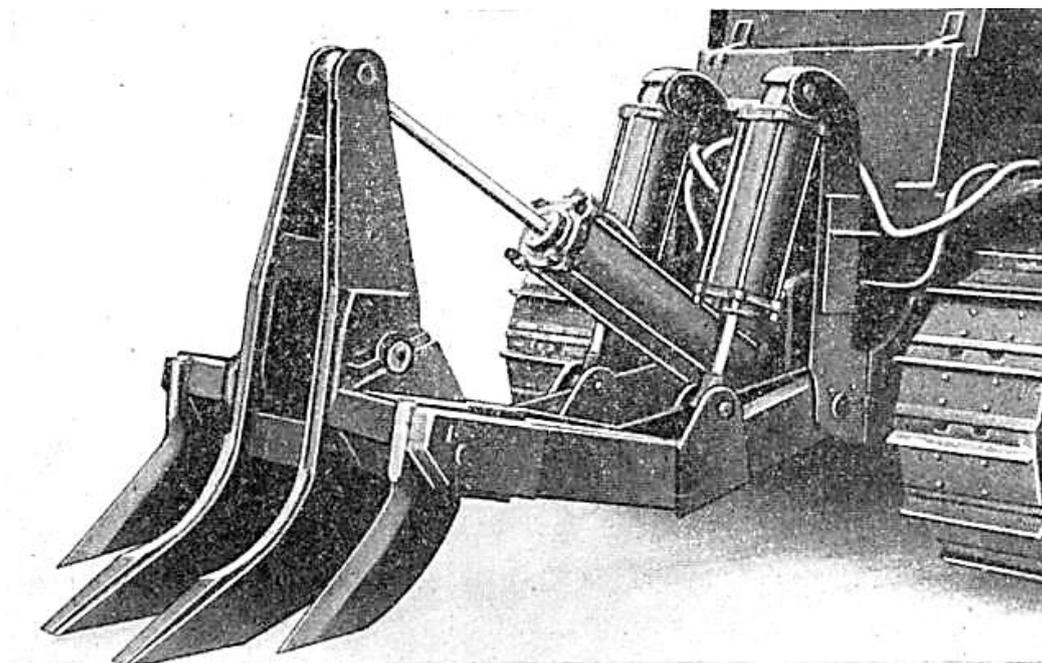


Рис. 1.13. Корчевальная машина К-1 с задней навеской

Корчеватели с передней навеской (рис. 1.14) различаются размерами и частотой расположения зубьев. Машину с более мелкими зубьями называют корчевателем-сборателем. Он производит корчевку кустарника и пней диаметром до 30 см. При корчевании зубья заглубляются в грунт (за 0,5...0,75 м от пня), после чего отвал приподнимается.



Рис. 1.14. Корчеватель-собиратель с передней навеской

В ряде конструкций универсальных рам отвал может поворачиваться (относительно рамы) в вертикальной плоскости с помощью дополнительных гидроцилиндров (рис. 1.15). Это облегчает его разгрузку, а также обеспечивает усилия при корчевке пней как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости.

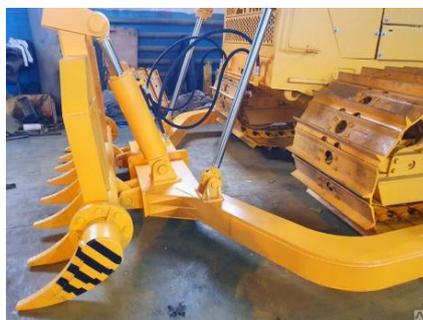


Рис. 1.15. Корчеватель с вертикальным поворотом

Техническая производительность корчевателя, $\text{м}^2/\text{ч}$, определяется так же, как и производительность кустореза.

Практическое занятие «Расчет сменной производительности бульдозерно-рыхлительного агрегата»

Цель и задачи занятия: изучить классификацию, основные параметры и общее устройство машин для подготовительных земляных работ; исследовать рабочий процесс бульдозера-рыхлителя для разработки плотных и мерзлых грунтов и определить его производительность.

Методические указания

Рабочий процесс рыхлителя (рис. 1.16) состоит из заглубления зуба стойки до установленной глубины рыхления H_p (вид А-А) и последующего прямолинейного движения машины на участке работ длиной L_y . При проходе первой борозды однозубым рыхлителем образуется зона разрушения с общей глубиной H_p , шириной B_p поверху и b_p понизу. При последующих проходах (вид Б-Б) необходимо выбирать такой шаг, при котором получалась бы максимальная высота слоя разрушения h_s , так как слишком близко параллельные проходы делать нельзя из-за неустойчивой работы рыхлителя. Оптимальный шаг должен быть равен $B_p/2$. В этом случае второй и

последующий проходы дают меньшую площадь разрушения, чем первый. Следовательно, наибольшие нагрузки на рабочем органе будут возникать при первом проходе.

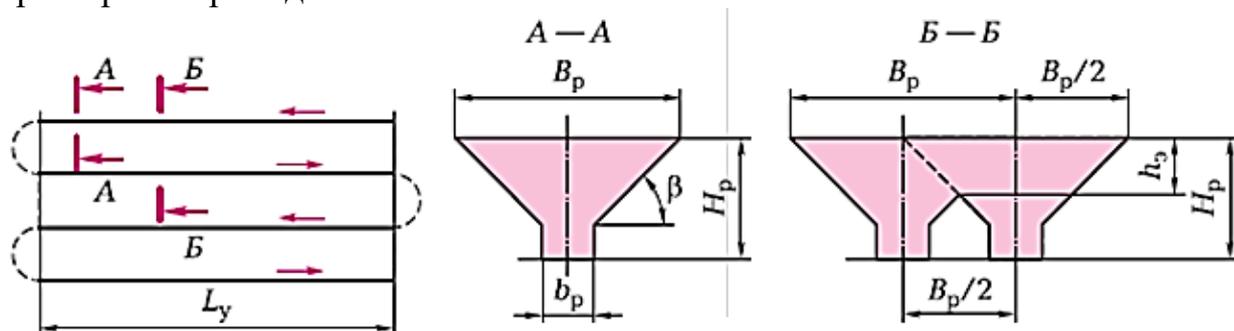


Рис. 1.16. Схема рабочего процесса рыхлителя:

L_y – длина рабочего участка; B_p – ширина прорези поверху;
 b_p – ширина нижней части прорези; β – угол раскрытия прорези;
 H_p – глубина заглупления зуба; h_3 – глубина эффективного рыхления

Ширина захвата при рыхлении многозубым рыхлителем, м:

$$B_3 = k_{\text{пер}}[b_p z + 2H_p \text{tg}\beta + s(z - 1)], \quad (1.1)$$

где $k_{\text{пер}} = 0,75$ – коэффициент перекрытия; b_p – ширина основания прорези, м; z – количество зубьев; $\beta = 15 \dots 60$ – угол скола от вертикали (меньшие значения угла при рыхлении мерзлых грунтов и скальных пород, большие – при рыхлении талых грунтов); s – шаг зубьев.

Ширина основания прорези $b_p = \psi \cdot b_{\text{зуб}}$, где ψ – степень увеличения ширины основания прорези в сравнении с шириной наконечника зуба рыхлителя $b_{\text{зуб}}$ ($\psi = 1,5 \dots 2,5$).

Глубина эффективного рыхления, м, при параллельных проходах рыхлителя определяется по формуле

$$h_3 = \frac{1}{k_2} [k_1 H_p - 0,5(B_3 - b_p) \text{tg}\beta], \quad (1.2)$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий форму поперечного сечения прорези ($k_1 = 0,7 \dots 0,9$); k_2 – коэффициент, учитывающий влияние состояния массива на размеры неразрушенных гребней ($k_2 = 0,9 \dots 1,0$); H_p – глубина заглупления зуба, м; B_3 – расстояние между смежными проходами, м; β – угол наклона стенок прорези.

Расстояние между соседними полосами рыхления следует выбирать такое, чтобы зубья рыхлителя не попадали в ранее полученные прорези.

При определенных размерах разрыхляемого участка, возможности разворота на его концах и работе без поперечных проходов эксплуатационная производительность рыхлителя по объему грунта, подготавливаемого для транспортирования, м³/ч:

$$\Pi_{\text{э1}} = \frac{B_{\text{э}} h_{\text{э}} L_{\text{у}} k_{\text{т}} k_{\text{в}}}{\frac{L_{\text{у}}}{1000 v_{\text{раб}}} + \frac{t_{\text{пов}}}{3600}}, \quad (1.3)$$

где $B_{\text{э}}$ – ширина захвата рыхлителя, м; $h_{\text{э}}$ – глубина эффективного рыхления, м; $L_{\text{у}}$ – средняя длина рабочего хода в одну сторону, м; $k_{\text{т}}$ – коэффициент снижения скорости ($k_{\text{т}} = 0,8 \dots 0,9$); $k_{\text{в}}$ – коэффициент использования времени (при средних условиях $k_{\text{в}} = 0,85$); $v_{\text{раб}}$ – скорость рабочего хода, км/ч; $t_{\text{пов}} = 15 \dots 20$ с – время одного разворота в конце участка с учетом выглубления зубьев.

Производительность рыхлителей по объему грунта, подготавливаемого для транспортирования при работе с поперечными проходами, м³/ч:

$$\Pi_{\text{э2}} = \frac{1000 v_{\text{раб}} H_{\text{р}} E_{\text{э}} k_3 k_4}{k_5 k_6}, \quad (1.4)$$

где k_3 – коэффициент, учитывающий снижение рабочей скорости ($k_3 = 0,7 \dots 0,8$); k_4 – коэффициент, учитывающий уменьшение толщины разрыхляемого слоя грунта ($k_4 = 0,6 \dots 0,8$, причем меньшие значения соответствуют грунтам, образующим крупный скол, глыбы); k_5 – число проходов по одному резу; k_6 – число слоев рыхления в поперечных направлениях для подготовки грунта к транспортированию.

Пример

Рассчитать производительность однозубого бульдозера-рыхлителя ДП-22С при рыхлении мерзлого грунта параллельными и перекрестными ходами на площадке длиной $L_{\text{у}} = 70$ м и шириной $B = 30$ м. Глубина промерзшего слоя $H = 0,7$ м, число проходов по одному резу равно 1. Определить время выполнения работ. Исходные данные – параметры рыхлителя (по заданию преподавателя) – приведены ниже:

| Марка рыхлителя/ трактора | Число зубьев рыхлителя, шт. | Глубина рыхления, мм | Ширина наконечника зуба, мм | Рабочая скорость при рыхлении | |
|------------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------|
| | | | | м/с | км/ч |
| ДП-22С/Т-180КС | 1 | 500 | 86 | 0,6 | 2,16 |

Решение

Ширина основания прорези

$$b_{\text{р}} = \psi \cdot b_{\text{зуб}} = 2 \cdot 0,086 = 0,172 \text{ м.}$$

Рыхление первого слоя на глубину 0,5 м

Ширина захвата при рыхлении однозубым рыхлителем (см. формулу (1.1)):

$$B_3 = k_{\text{пер}} [b_p z + 2 H_p \text{tg}\beta + s(z - 1)] = \\ = 0,75 [0,172 \cdot 1 + 2 \cdot 0,5 \cdot \text{tg}15^\circ] = 0,33 \text{ м.}$$

Глубина эффективного рыхления при параллельных проходах рыхлителя (см. формулу (1.2)):

$$h_3 = \frac{1}{k_2} [k_1 H_p - 0,5 (B_3 - b_p) \text{tg}\beta] = \\ = \frac{1}{0,95} [0,8 \cdot 0,5 - 0,5 (0,33 - 0,172) \text{tg}15^\circ] = 0,40 \text{ м.}$$

Эксплуатационная производительность рыхлителя при работе с параллельными проходами (см. формулу (1.3)):

$$П_{31} = \frac{1000 v_{\text{раб}} H_p B_3 k_3 k_4 k_5}{k_5 k_6} = \frac{1000 \cdot 2,16 \cdot 0,5 \cdot 0,33 \cdot 0,75 \cdot 0,6 \cdot 0,85}{1 \cdot 1} = 136 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Рыхление второго слоя на глубину $(H - h_3) = 0,7 - 0,4 = 0,3 \text{ м.}$

Ширина захвата при рыхлении однозубым рыхлителем (см. формулу (1.1)):

$$B_3 = k_{\text{пер}} [b_p z + 2 H_p \text{tg}\beta + s(z - 1)] = \\ = 0,75 [0,172 \cdot 1 + 2 \cdot 0,3 \cdot \text{tg}15^\circ] = 0,25 \text{ м.}$$

Глубина эффективного рыхления при параллельных проходах рыхлителя (см. формулу (1.2)):

$$h_3 = \frac{1}{k_2} [k_1 H_p - 0,5 (B_3 - b_p) \text{tg}\beta] = \\ = \frac{1}{0,95} [0,8 \cdot 0,3 - 0,5 (0,25 - 0,172) \cdot \text{tg}15^\circ] = 0,24 \text{ м.}$$

Эксплуатационная производительность рыхлителя при работе с поперечными проходами (см. формулу (1.4)):

$$П_{32} = \frac{1000 v_{\text{раб}} H_p B_3 k_3 k_4 k_5}{k_5 k_6} = \frac{1000 \cdot 2,86 \cdot 0,3 \cdot 0,24 \cdot 0,75 \cdot 0,6 \cdot 0,85}{1 \cdot 1} = 82 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Определяем время рыхления первого слоя:

$$T_1 = \frac{LB h_3}{П_{31}} = \frac{70 \cdot 30 \cdot 0,4}{136} = 6,2 \text{ ч.}$$

Находим время рыхления второго слоя:

$$T_2 = \frac{LB h_3}{П_{32}} = \frac{70 \cdot 30 \cdot 0,24}{82} = 6,1 \text{ ч.}$$

Параметры отечественных рыхлителей представлены в таблице.

Техническая характеристика отечественных рыхлителей

| Параметр | Марка рыхлителя | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------|---------|----------|--------|-------------|-----------|
| | ДП-26С | ДП-22С | ДП-9ВХЛ | ДП-10С | ДП-29АХЛ | ДЗ-141ХЛ |
| Марка базового трактора | Т-130 | Т-180КС | ДЭТ-250М | Т-330 | Т-330 Р1-01 | Т-500 |
| Мощность двигателя, кВт | 118 | 133 | 243 | 250 | 250 | 353 |
| Тяговый класс, кН | 100 | 150 | 250 | | | 350 |
| Расстояние между осями зубьев, мм | – | 795 | – | 700 | – | – |
| Число зубьев | 1 | 1; 3 | 1 | 1; 3 | 1 | 1 |
| Ширина наконечника зуба, мм | 66 | 86 | 105 | 114 | 114 | 120...125 |
| Глубина рыхления, мм | 450 | 500 | 1 200 | 700 | 700 | 1 300 |
| Угол рыхления, град | 45 | 48 | 45 | 45 | 45...50 | 25...50 |
| Скорость движения при рыхлении, м/с | 0,6 | | 0,75 | | | 0,92 |
| Масса рыхлительного оборудования, т | 1,4 | 3,1 | 3,9 | 5,4 | 6,6 | 7,0 |

Контрольные вопросы

1. Какие машины разрабатывают мерзлые грунты, а какие применяют для предварительного разрушения (рыхления) указанных грунтов?
2. Опишите способ разрушения мерзлых грунтов падающими снарядами. Каковы достоинства и недостатки этого способа?
3. Для чего предназначены рыхлители? Чем отличаются основные рыхлители от вспомогательных? Как устроены и как работают основные рыхлители?
4. Какие схемы устройства навесных рыхлителей вы знаете?
5. В каких случаях выгоднее использовать однозубые рыхлители? Какими другими мерами можно повысить эффективность работы рыхлителей?
6. Какие сопротивления передвижению возникают при работе рыхлителя?
7. Опишите назначение и устройство баровых и фрезерных машин, принцип их работы.

2. ОДНОКОВШОВЫЕ ФРОНТАЛЬНЫЕ ПОГРУЗЧИКИ

Погрузчики предназначены для выполнения землеройно-транспортных операций с разработкой предварительно разрыхленных грунтов, для погрузки сыпучих и мелкокусовых материалов в транспортные средства или в отвал, со сменными рабочими органами – для обработки штучных грузов, в том числе длинномеров, контейнеров, валунов, для выполнения монтажных работ, снегоочистки и т. п. Погрузчики могут использоваться для перемещения и подачи к месту производства работ в пределах рабочей площадки (до 150 м) различных материалов, строительных деталей и оборудования.

2.1. Назначение и классификация погрузчиков

Существуют различные классификации погрузчиков:

по назначению – для сыпучих материалов и штучных грузов;
режиму работы – непрерывного и циклического (периодического) действия;

типу рабочего органа – одно-, многоковшовые и вилочные;
ходовому оборудованию – на гусеничном или пневмоколесном ходу, на базе автомобилей, тракторов и тягачей.

Многоковшовые погрузчики используются там, где рабочий процесс должен быть непрерывным (например, зимняя уборка снега на городских улицах с одновременной погрузкой в транспортные средства). Одноковшовые погрузчики являются универсальными и могут применяться для различных целей.

Погрузчики периодического действия (рис. 2.1) не только грузят материалы в транспортные средства, но и могут перемещать их на расстояние до 150 м. Их применяют для штабелирования сыпучих и кусковых материалов на складах заполнителей смесительных узлов и установок. По способу захвата груза погрузчики периодического действия можно разделить на *зачерпывающие* и *подхватывающие*. У первых захватным органом является ковш. У вторых основным захватным органом служат вилы. Основной тип зачерпывающих погрузчиков – одноковшовые с передней (фронтальной) и задней разгрузкой ковша. У погрузчика с *задней разгрузкой* (перекидные погрузчики) врезание ковша в материал происходит при движении на первой или второй скорости. После подъема загруженного ковша погрузчик движется задним ходом к месту разгрузки, где ковш отводится назад и разгружается (рис. 2.1а). Погрузчик, не разворачиваясь, передним ходом возвращается к штабелю материала с опущенным вперед ковшом.



Рис. 2.1. Фронтальные погрузчики периодического действия:
а – с задней разгрузкой; *б* – полуповоротный;
в – с ковшем боковой разгрузки; *г* – шарнирно-сочлененной рамой

Погрузчик с *передней разгрузкой* (фронтальный) может быть как на гусеничном, так и на пневмоколесном ходу (см. рис. 2.1г). Такой погрузчик после набора материала в ковш и поворота его в вертикальной плоскости (для предотвращения высыпания) должен отъехать назад, а в некоторых случаях и развернуться, чтобы обеспечить выгрузку материала в транспорт.

Погрузчики с *боковой разгрузкой* (полуповоротные), как правило, изготавливаются с ковшами грузоподъемностью 0,8, 1,25 и 2 т (см. рис. 2.1б). После набора материала ковш такого погрузчика с помощью гидроцилиндра и системы рычагов поворачивается в вертикальной плоскости для предотвращения высыпания материала. Гидроцилиндры поднимают стрелу вместе с ковшем. Поворот платформы с рабочим оборудованием на разгрузку происходит с помощью гидроцилиндров и цепи, установленных внутри ходовой рамы. Время рабочего цикла полуповоротных погрузчиков на 30...40 % меньше, чем фронтальных. Этому способствует поворот платформы, исключая необходимость маневрирования всей машины. Такие погрузчики весьма эффективны при работе в стесненных городских условиях, однако они являются более дорогостоящими. Менее дорогостоящи погрузчики с ковшами боковой разгрузки (см. рис. 2.1в).

Кроме погрузочно-разгрузочных работ, одноковшовые погрузчики могут использоваться для послойной разработки грунтов I...III категории с погрузкой их в транспортные средства или отсыпкой в отвал. Эти машины со сменными рабочими органами используют для погрузки и разгрузки контейнеров, труб, лесоматериалов, обратной засыпки траншей и котлованов, уборки дорог и внутриквартальных территорий и пр.

По основному параметру – номинальной грузоподъемности – одноковшовые погрузчики разделяют на малогабаритные (менее 5 кН), легкие (5...20 кН), средние (20...40 кН), тяжелые (40...100 кН) и большегрузные (более 100 кН).

2.2. Конструктивные схемы и основные параметры погрузчиков

Погрузчики на пневмоколесном ходу монтируются обычно на четырехколесных, двухосных специальных шасси с жесткими рамами и поворотными колесами или с шарнирно-сочлененными рамами (см. рис. 2.1а). Ходовое оборудование имеет колесные схемы 2×4 и 4×4 , а также балансирующую подвеску одного из мостов (обычно заднего) для постоянного опирания на грунт всех четырех колес. С этой же целью в машинах с шарнирно-сочлененными рамами предусматривают дополнительные горизонтальные шарниры.

Рабочее оборудование погрузчика состоит из стрелы, рабочего органа, механизмов подъема стрелы и поворота рабочего органа. Навешивают погрузочное оборудование на трактор через специальный портал, на заднюю навеску трактора нередко устанавливают рыхлитель, используемый для предварительного рыхления грунта, разрабатываемого погрузчиком.

В зависимости от физико-механических свойств разрабатываемого (погружаемого) материала применяют различные способы заполнения ковша. При *раздельном способе* ковш внедряется в грунт под действием напорного усилия ходового оборудования машины. После окончания этой операции машинист поворачивает ковш, внедренный в материал, заполняет его и поднимает стрелу с ковшом в транспортное положение. Преимущество данного способа работы заключается в его простоте, однако он подходит только для работы с легкими (насыпными) материалами, так как при значительных сопротивлениях грунта напорного усилия машины не хватает для достаточного внедрения ковша и он заполняется лишь частично. К разновидностям указанного способа погрузки причисляют послойную разработку грунта относительно тонкими стружками (скреперный способ), что обеспечивает хорошее заполнение ковша при работе на достаточно прочных грунтах.

При *совмещенном способе* ковш заполняется под действием напорного усилия ходового оборудования при одновременном подъеме стрелы и повороте ковша. На практике совмещают операцию внедрения ковша с подъемом стрелы (экскавационный способ) или операцию внедрения ковша с его поворотом и подъемом стрелы, в результате чего ковш заполняется лучше и сокращается продолжительность цикла. Сочетать операции можно при установке отдельных насосов для подъема стрелы и поворота ковша или в случае применения делителей потока. Совмещенный способ, требующий высокой квалификации машинистов, особенно эффективен при автоматизированных системах управления погрузчиками.

Для того чтобы грунт не высыпался при подъеме и опускании рабочего оборудования, используют рычажные механизмы поворота ковша параллелограммного или антипараллелограммного типа, а также гидравлические следящие системы, обеспечивающие подачу жидкости в соответствующую полость гидроцилиндра ковша для сохранения нужного угла запрокидывания.

Базовое шасси или трактор, предназначенные для навески погрузочного оборудования, характеризуются массой, мощностью установленного двигателя, рабочими и транспортными скоростями передвижения, размерами движителя и его маневренностью.

Тяговые расчеты машины выполняют для различных режимов работы: заполнения ковша, передвижения погрузчика с грузом в различных условиях, а также без груза. Для этих расчетов необходимо знать массу базового шасси или тягача G_T и задаться номинальной грузоподъемностью $Q_{ном}$ погрузчика и массой его рабочего оборудования G_o . Величину напорного усилия принимают для колесных погрузчиков $P_{нап} = 0,5...0,6G_T$, для гусеничных $P_{нап} = 0,7...1,0G_T$. При этом мощность двигателя должна быть достаточной для обеспечения рабочей скорости $v_p = 0,5...1,0$ м/с, транспортной скорости с грузом $v_{т.г} = 1,0...3,0$ м/с и транспортной скорости без груза $v_T = 3,0...10,0$ м/с (меньшие значения указаны для машин на гусеничном ходу).

Разгрузка ковша, образуемая поворотом ковша на выгрузку («от себя»), определяет основные параметры погрузчика: высоту разгрузки H_2 , вылет кромки ковша L , углы разгрузки ε_p и запрокидывания ε_3 ковша (рис. 2.2).

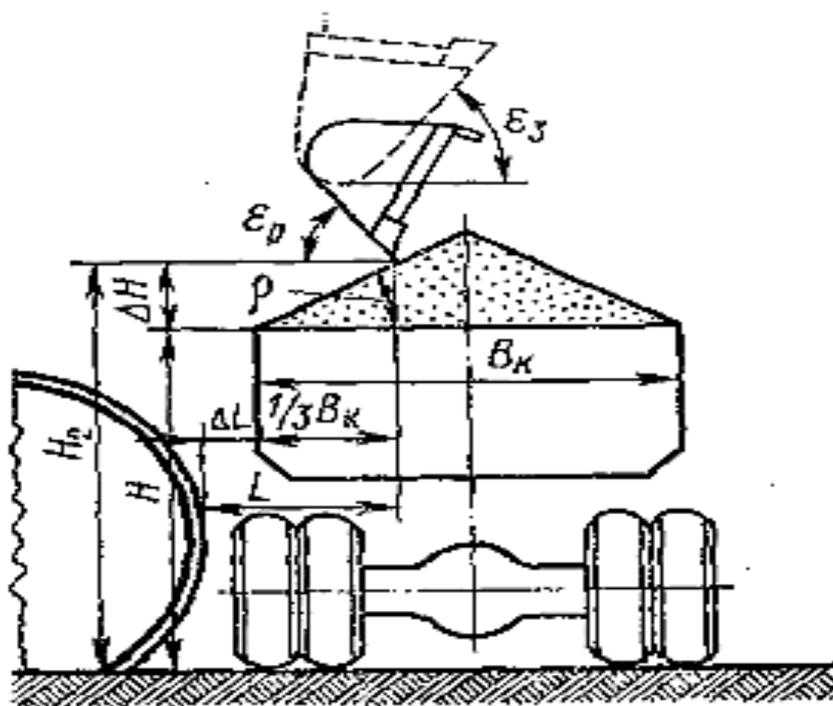


Рис. 2.2. Схема погрузки грунта в автосамосвал

Для обеспечения эффективной совместной работы погрузчиков и автомобилей-самосвалов их параметры должны быть взаимосвязаны. Известно, что материал (грунт) в кузове автомобиля распределяется равномерно, если режущая кромка ковша при его разгрузке находится от борта на расстоянии не менее $1/3$ ширины кузова. Исходя из этого и учитывая необходимость загрузки автосамосвалов с шапкой, вылет кромки ковша принимают равным

$$L = 0,333 B_{\text{к}} + \Delta L,$$

где $B_{\text{к}}$ – ширина кузова автосамосвала; $\Delta L = 0,14 \dots 0,25$ м – расстояние от погрузчика до автосамосвала (зазор безопасности). Высота разгрузки самосвала

$$H_2 = H + \Delta H = H + 0,333 B_{\text{к}} \text{tg} \rho,$$

где H – высота борта самосвала; ρ – угол естественного откоса погружаемого материала.

Для уменьшения потерь материала при транспортировании значения угла ρ принимают минимальными. Для нормальной работы с различными грунтами и материалами механизм поворота ковша должен при максимально поднятом ковше обеспечивать $\varepsilon_{\text{р}} \geq 50^\circ$ и $\varepsilon_{\text{з}} > 40^\circ$.

Номинальную грузоподъемность погрузчика $Q_{\text{ном}}$ выбирают в зависимости от статической опрокидывающей нагрузки Q , приложенной в центре тяжести ковша при его максимальном вылете (рис. 2.3).

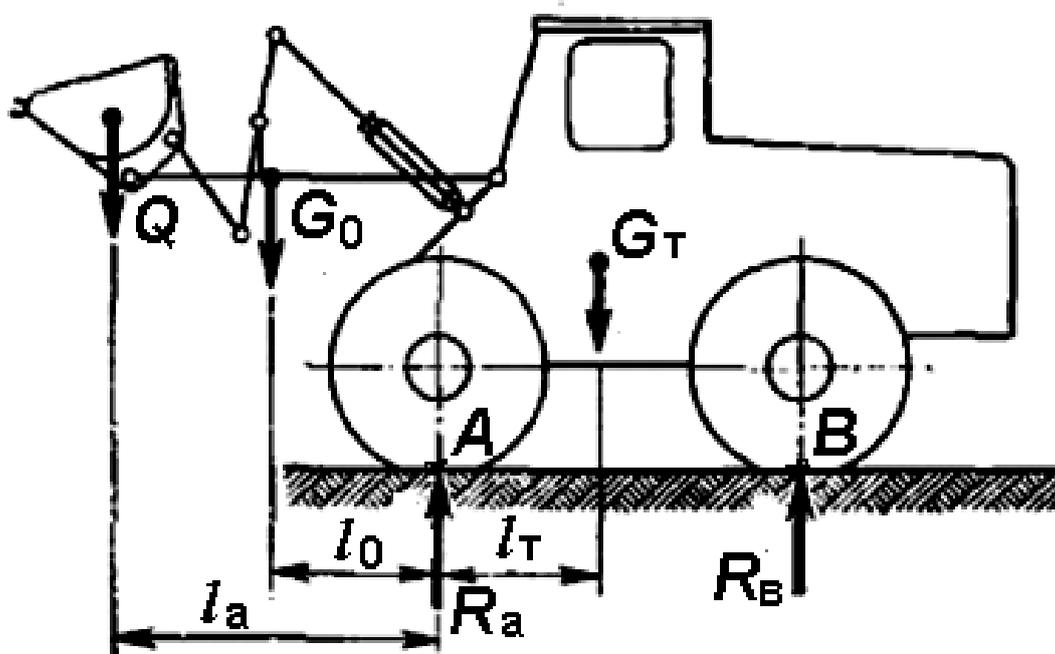


Рис. 2.3. Схема к определению грузоподъемности погрузчика

Исходя из момента начала потери устойчивости при $R_b = 0$, находим

$$Q = (G_T l_T - G_O l_O) / l_Q.$$

Номинальная грузоподъемность машины

$$Q_{\text{ном}} = Q / k,$$

где k – понижающий коэффициент, значения которого выбирают из условий работы машины.

Как было указано, одноковшовые строительные погрузчики черпают материал при совмещении операций напора и подъема. Для такой схемы работы необходимо на режущей кромке ковша обеспечить достаточное усилие резания; в нашей стране для этой группы машин принято $k = 2$.

Для тех случаев, когда нет необходимости черпать материал (погрузчики штучных грузов, лесопогрузчики и др.), значения k можно уменьшать. Для этих машин номинальную грузоподъемность определяют из условий устойчивости их на всех режимах работы.

Окончательно определить грузоподъемность погрузчика можно лишь после выполнения всего комплекса расчетов, определения параметров рабочего оборудования и его массы, нагрузок на ходовую часть, массы базовой машины и т. д. Номинальную грузоподъемность одноковшовых строительных погрузчиков выбирают в соответствии с ГОСТ 12568-67 «Погрузчики одноковшовые строительные» равной 2, 3, 4, 6 и 10 т.

Практическое занятие «Определение производительности одноковшового погрузчика и количества транспорта для его обслуживания»

Цель и задачи занятия: изучить конструкции и рабочие процессы одноковшовых фронтальных погрузчиков; определить эксплуатационную производительность одноковшового погрузчика; подобрать марку транспортных средств, обслуживающих погрузчик, и рассчитать количество транспортных средств; найти время их цикла.

Методические указания

Исходные данные для расчета даются преподавателем.

Техническая производительность одноковшового погрузчика, $\text{м}^3/\text{ч}$:

$$P_{\text{п тех}} = 3\,600 q_{\text{п}} k_{\text{н}} / t_{\text{ц}} k_{\text{р}},$$

где $q_{\text{п}}$ – геометрическая вместимость ковша погрузчика, м^3 (табл. 2.1); $k_{\text{н}}$ – коэффициент наполнения ковша погрузчика; $k_{\text{р}}$ – коэффициент разрыхления грунта; $t_{\text{ц}}$ – время рабочего цикла погрузчика, с.

Значения коэффициентов $k_{\text{н}}$ и $k_{\text{р}}$ даны в табл. 2.2.

Таблица 2.1. Характеристики одноковшовых погрузчиков

| Показатель | Марка погрузчика | | | | | | | |
|--|------------------|-------------|---------------|-------------|--|-------------|-----------|-----------|
| | ТО-7 | ТО-12 | ТО-10 | ТО-5 | ТО-17 мини | ТО-11 | ТО-8 | ТО-24 |
| Двигатель | Гусеничный | | | | Колесный | | | |
| Марка тягача | ДТ-75Б | Т-4П | Т-130П | Д-804ПГ | Специальное шасси с шарнирно-сочлененной рамой | К-702 | МоА3-542А | ТП-330 |
| Марка двигателя | СМД-14 | АМ-41 | Д-130 | Д-180 | АМ-41 | ЯМЗ-238НБ | ЯМЗ-238 | 8ДВТ-330 |
| Тип погрузчика | Фронтальный | | Универсальный | Фронтальный | Универсальный | Фронтальный | | |
| Грузоподъемность $G_{п}$, т | 2 | 3 | 4 | 5 | 2 | 4 | 5 | 10 |
| Вместимость ковша $q_{п}$, м ³ | 1 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 1,0 | 2,0 | 2,8 | 5,0 |
| Ширина ковша $B_{п}$, мм | 2 050 | 2 340 | 2 900 | 3 032 | 2 330 | 2 770 | 3 100 | 3 700 |
| Рабочее давление p , МПа | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 14,5 |
| Скорость передвижения вперед $v_{п}$, км/ч | 3,55...19,24 | 2,89...74 | 3,84...10,65 | 2,74...12,5 | 0...32,9 | 0...40 | 0...40 | 0...13,46 |
| Скорость передвижения назад $v_{з.х}$, км/ч | 4,44 | 4,07...6,11 | 6,25...8,63 | 3,08...7,83 | 0...21,1 | 0...40 | 0...40 | 0...13,46 |
| Масса $m_{п}$, кг | 9 651 | 12 565 | 20 500 | 12 500 | 8 500 | 15 850 | 19 300 | 53 615 |

Таблица 2.2. Коэффициенты наполнения k_n , разрыхления k_p и плотности γ различных грунтов

| Тип грунта | Значение коэффициента | | |
|----------------|-----------------------------|-------------|-------|
| | γ , т/м ³ | k_n | k_p |
| Рыхлый грунт | 1,6 | 0,80...0,90 | 1,15 |
| Влажный песок | 1,7 | 0,75 | 1,12 |
| Гравий | 1,8 | 0,6 | 1,22 |
| Щебень | 1,75 | 0,5 | 1,25 |
| Скальный грунт | 1,75 | 0,4 | 1,3 |

Время рабочего цикла погрузчика, с:

$$t_{ц} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7,$$

где t_1 – время наполнения ковша; t_2 – время на отъезд от забоя; t_3 – время на подъезд погрузчика к транспорту ($t_3 = l_1 / v_{п}$, где l_1 – длина пути перемещения к транспорту, м; $v_{п}$ – соответствующая скорость (см. табл. 2.1)); $t_4 = 2...3$ с – время разгрузки; t_5 – время на подъезд к забою; $t_6 = 6...8$ с – время маневрирования транспорта; $t_7 = 5...10$ с – время на переключение скоростей; t_1, t_2, t_5 принимаются по исходным данным.

Погрузчик обычно передвигается на первой или на второй передаче. Соответственно, скорость для определения t_3 выбирается из технической характеристики погрузчика (см. табл. 2.1) (*принимается минимальная скорость*).

Использование автомобилей-самосвалов наиболее целесообразно при транспортировании грунта на расстояние свыше 0,5 км. Причем современные технико-экономические исследования показали выгоду увеличения грузоподъемности автомашин с возрастанием расстояния транспортирования.

Разнообразие типоразмеров автомобилей-самосвалов позволяет использовать их при различных объемах работ (табл. 2.3). Наилучшие показатели имеют место тогда, когда транспортная машина вмещает объем грунта, подаваемый погрузчиком за несколько циклов погрузки. Для погрузчиков с небольшой емкостью ковша этот показатель составляет 4...6 циклов, а большей емкости – 1...4 цикла.

К работающему погрузчику транспорт необходимо подавать бесперебойно. Грузоподъемность транспортной единицы должна быть в целое число раз больше массы грунта в ковше погрузчика.

Задаваясь числом циклов погрузки, определяем предварительную грузоподъемность самосвала, т:

$$G_T = \frac{n_{п} q_{п} \gamma k_n}{k_p k_r},$$

где $n_{п}$ – целое число выгрузок (ссыпок) грунта погрузчиком в кузов самосвала; γ – плотность грунта, т/м³ (см. табл. 2.2); k_r – коэффициент использования грузоподъемности самосвала (0,9).

Таблица 2.3. Основные технические характеристики автомобилей-самосвалов

| Показатель | Марка автомобиля | | | | | | | | |
|--|------------------|--------------|-------------|----------|-----------|---------|------------|-----------|------------|
| | ГАЗ-53Б | ЗИЛ-ММЗ-585Л | ЗИЛ-ММЗ-555 | МАЗ-5543 | КрАЗ 256В | МАЗ-526 | БелАЗ-548А | БелАЗ-549 | КамАЗ-5511 |
| Грузоподъемность G_T , т | 3,5 | 3,5 | 4,5 | 7,0 | 15,0 | 25,0 | 40,0 | 75,0 | 10,0 |
| Объем кузова $q_{тр}$, м ³ | 3,8 | 2,44 | 3,0 | 5,0 | 6,0 | 14,3 | 26,0 | 49,7 | 7,2 |
| Максимальная скорость v_T , км/ч | 85 | 65 | 80 | 75 | 65 | 30 | 55 | 57 | 80 |
| Масса в снаряженном состоянии (без груза) m_T , кг | 3 750 | 4 175 | 4 575 | 6 750 | 11 400 | 24 380 | 26 925 | 52 800 | 8 480 |
| Высота кузова H_T , мм | 2 380 | 2 015 | 1 900 | 2 260 | 2 385 | 2 800 | 3 580 | 4 750 | 2 320 |
| Ширина кузова B_T , мм | 2 475 | 2 500 | 2 420 | 2 500 | 2 640 | 2 700 | 3 420 | 5 300 | 2 500 |

По рассчитанной грузоподъемности подбираем марку самосвала и проверяем заполнение объема кузова транспортного средства:

$$q_{тр} \geq q_{п} n_{п} k_{н}, \text{ м}^3.$$

При необходимости следует подкорректировать G_T и марку транспортного средства в сторону увеличения.

Окончательно уточняем число сыпков $n_{п}$ и вес погруженного грунта. Количество транспортных единиц, обслуживающих погрузчик, определяем по формуле

$$n_{тр} = \frac{П_{эп} t_{тр}}{q_{п} n_{п} k_{втр}} + 1,$$

где $t_{тр}$ – время цикла транспортной единицы без учета времени простоя под погрузкой.

Время цикла автомобиля-самосвала

$$t_{тр} = (l_2 / v_{гр}) + (l_3 / v_{х.х}) + t_p + t_{пов},$$

где l_2 , l_3 – длина пути движения груженого и порожнего транспорта, км; $v_{гр}$, $v_{х.х}$ – средние скорости движения груженого и порожнего транспорта соответственно, км/ч (для расчетов принять $v_{гр} = 20$ км/ч; $v_{х.х} = 30$ км/ч);

$t_p = 0,005...0,02$ – время разгрузки транспорта, ч; $t_{пов} = 0,009...0,013$ – время поворота транспортного средства.

Вычертить схему погрузки и проставить основные технологические размеры.

Контрольные вопросы

1. Какие машины используют для погрузки сыпучих материалов?
2. Для чего предназначены одноковшовые погрузчики? Приведите их краткую классификацию.
3. Расскажите о составе рабочего оборудования.
4. Перечислите виды рычажных механизмов поворота ковша.
5. Опишите устройство и рабочий процесс фронтальных погрузчиков, способы работы погрузчика на площадке, заполнения ковша.
6. Приведите основные параметры фронтальных погрузчиков.
7. Перечислите виды сменного и навесного оборудования фронтальных погрузчиков.
8. Как определяют производительность одноковшовых погрузчиков при работе с сыпучими и штучными грузами?

3. ЗЕМЛЕСОСНЫЕ СНАРЯДЫ

Землесосный снаряд (земснаряд) – плавучая машина, предназначенная для извлечения грунта из-под воды и транспортирования его в виде пульпы (смеси грунта с водой) к месту укладки. Применяют их при строительстве плотин, дамб, крупных каналов, котлованов, водоемов; углублении гаваней и фарватеров; добыче песка, гравия, сапропелей, ракушки; очистке от наносов мелиоративных каналов, прудов, рек. Они могут также использоваться в качестве плавучих насосных станций.

3.1. Классификация земснарядов и основные характеристики

Существуют следующие классификации земснарядов:

1) по назначению:

горные – добыча полезных ископаемых;

мелиоративные – очищение каналов и водоемов, возведение мелиоративных сооружений;

строительные – различные гидротехнические работы;

2) по классу речного регистра:

для малых рек – Л;

речные – Р;

озерные – О;

морские – М;

3) по способу забора и перемещения грунта:

землесосные – извлекают и перекачивают грунт в виде пульпы с применением грунтового насоса (наиболее распространенный тип земснарядов, используемый в I–IV классах грунтов) (рис. 3.1);

землечерпальные – являются разновидностью экскаваторов, поднимают и перемещают грунт посредством ковшей или черпаков (используются на твердых грунтах V–VI класса). Землечерпальные снаряды подразделяются на *одночерпаковые штанговые* (одноковшовый экскаватор, установленный на понтоне (рис. 3.2)); *одночерпаковые грейферные* (подъемный кран с грейфером (рис. 3.3)); *многочерпаковые* (многоковшовый экскаватор (МЭ), установленный на понтоне (рис. 3.4));

4) по способу транспортировки грунта:

рефулерные – транспортировка грунта осуществляется при помощи плавучего пульпопровода;

лотковые – вдоль наклонного лотка (до 30 м);

шаландовые – шаландами (специальными судами, принимающими грунт в трюм и отвозящими его к месту размещения);

самоотвозные – грунт принимается земснарядом в собственный трюм и отвозится к месту свалки;

с гидромониторным выбросом пульпы – при работе на воде с сильным волнением для укладки грунта на берег;

5) по методу рабочих перемещений:

самоходные;

несамоходные – используют папильонажные лебедки и якоря или свайный ход;

б) по производительности:

снаряды весьма малой (до 50 м³/ч) производительности;

малой (50...100 м³/ч);

средней (100...300 м³/ч);

большой (300...500 м³/ч);

весьма большой (более 500 м³/ч);

7) по роду энергетической установки (приводящей в движение снаряд): паровые, дизельные, дизель-электрические, дизель-гидравлические, газотурбинные и электрические дноуглубительные снаряды;

8) по способу транспортировки между объектами:

малогабаритные,

разборные,

самоходные.



Рис. 3.1. Рефулерный земснаряд



Рис. 3.2. Одночерпаковый штанговый земснаряд



Рис. 3.3. Одночерпаковый грейферный земснаряд



Рис. 3.4. Многочерпаковый земснаряд

Основными технологическими параметрами земснаряда являются производительность, напор и глубина черпания.

Производительность земснаряда – объем пульпы, перекачиваемой за 1 ч, или количество разрабатываемого за 1 ч грунта. Условно принято считать производительность по грунту равной 10 % производительности по пульпе.

Напор – характеристика, включающая напор на преодоление геодезической высоты подъема и потерь напора в напорном пульпопроводе.

Старая маркировка землесосов состояла из двух цифр, отражающих условную часовую производительность по грунту, м³/ч, и развиваемый напор, м. Например, земснаряд 200-50 имеет производительность по пульпе 2 000 м³/ч или по грунту 200 м³/ч и развивает полный напор 50 м, из которых около 8 м расходуется на преодоление сопротивления всасыванию, около 2 м – на преодоление сопротивлений во внутренних пульпопроводах, 40 м – на гидротранспорт грунта.

В 1985 году была введена новая маркировка земснарядов. Теперь они обозначаются тремя группами букв и цифр, разделяемыми точками (например, 12Э.50М.42.3). Первая группа указывает на наибольшую глубину разработки в метрах и тип землесосного снаряда по источнику энергопитания: Э – электрический; Д – дизельный; ДЭ – дизель-электрический. Вторая характеризует вид грунтозаборного устройства. Стандартом предусмотрены три разновидности устройств с предварительным рыхлением грунта:

механическое (фреза, ротор и т. п.) (обозначается по усилию резания, кгс/см²: 40М, 60М, 80М);

гидравлическое (по напору насоса в метрах: 40Г, 50Г);

вибрационное (по возмущающей силе вибратора).

Всасывание без предварительного рыхления обозначается 00.

Третья группа содержит диаметр всасывающего пульпопровода в сантиметрах и суммарный напор грунтовых насосов, обозначаемый следующим образом: цифра 1 соответствует напору до 20 м, 2 – до 40 м и т. д., т. е. на каждые 20 м добавляется единица; цифра 9 обозначает напор в 180 м; цифра 0 ставится при отсутствии грунтового насоса.

В настоящее время производители могут присваивать земснарядам свою индексацию.

Глубина разработки – это расстояние от поверхности воды до подошвы забоя. Оно обуславливается длиной грунтозаборного устройства и составляет от 6...8 до 15 м.

Каждому земснаряду (судну) присваивают класс Речного регистра.

3.2. Характеристики корпуса земснаряда и его устройство

Правильно спроектированный корпус земснаряда должен обеспечивать плавучесть, остойчивость, непотопляемость, прочность, маневренность.

По отношению к корпусу выделяют следующие понятия и определения:

диаметральная плоскость (ДП) – вертикальная плоскость, проходящая через продольную ось корпуса;

основная плоскость (ОП) – горизонтальная плоскость, касательная к днищу понтона;

плоскость мидель-шпангоута – вертикальная плоскость, проходящая через середину длины корпуса и перпендикулярная его оси;

мидель-шпангоут – линия, полученная от пересечения ОП и плоскости мидель-шпангоута;

действующая ватерлиния (ВЛ) – след поверхности воды на корпусе;

расчетная ВЛ – расчетная линия, параллельная ОП;

угол крена – угол между следами действующей и расчетной ВЛ на плоскости мидель-шпангоута;

угол дифферента – угол между следами действующей и расчетной ВЛ на диаметральной плоскости. Положительным принято считать дифферент на нос.

За координатные оси принимаются прямые от пересечения мидель-шпангоута (y), ОП (x) и ДП (z) (рис. 3.5).

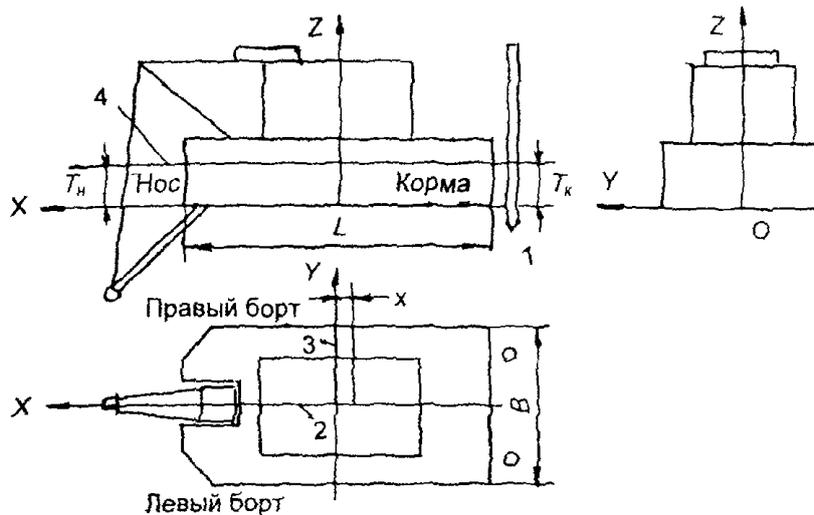


Рис. 3.5. Координатные оси земснаряда: 1 – основная плоскость; 2 – диаметральной плоскости; 3 – мидель-шпангоут; 4 – ВЛ

Главные геометрические размерения корпуса – длина L , ширина B , высота борта H и осадка T , причем осадка измеряется в носу T_n и корме T_k . Средняя осадка $T_{cp} = 0,5(T_n + T_k)$. Величина $T_n - T_k$ называется дифферен- том. При $T_n - T_k = 0$ говорят, что земснаряд сидит на ровном киле. Величи- на $H - T = H_{над}$ есть высота надводного борта.

Объем подводной части корпуса называется *объемным водоизмеще- нием* V . Его ЦТ называется *центром величины* (ЦВ). Вес всего землесосно- го снаряда называют просто *водоизмещением* D .

Форма корпуса земснаряда, как правило, принимается прямоуголь- ной, что дает минимальную осадку. В корме обычно имеется скос как бор- тов, так и днища с целью уменьшения сопротивления воды движению при его буксировке. Характеристика формы корпуса определяется коэффици- ентами δ и β и соотношениями главных размерений.

Коэффициент полноты водоизмещения $\delta = \frac{V}{LBT}$; полноты площади ВЛ $\alpha = \frac{F_{ВЛ}}{LB}$, где $F_{ВЛ}$ – площадь ВЛ; полноты площади миделя $\beta = \frac{\omega}{BT}$, где ω – площадь миделя.

Для корпусов земснарядов характерны следующие значения коэф- фициентов: δ – от 0,85 до 0,93; величина α обычно близка к δ , ее можно принимать в тех же пределах; $\beta = 1$ или близко к ней.

На земснаряд действуют два рода сил: силы веса D и силы плавуче- сти, которые равны $\gamma_v V$, где γ_v – вес 1 м^3 воды. Точки приложения этих сил ЦТ земснаряда (G) и ЦВ (C); ЦВ есть геометрический ЦТ подводного объ- ема корпуса. Для того чтобы земснаряд плавал без крена и дифферента, должны быть соблюдены условия:

$$D = \gamma_v V; \quad x_c = x_G; \quad y_c = y_G.$$

Первое из этих уравнений есть уравнение плавучести, которое мож- но выразить через главные размерения и δ :

$$D = \gamma_B L B T \delta.$$

При наличии у земснаряда крена и дифферента уравнения равновесия принимают вид:

$$D = \gamma_B V; y_c - y_G = (z_G - z_c)\theta; x_c - x_G = (x_G - x_c)\psi,$$

где x_c, y_c, z_c и x_G, y_G, z_G – соответственно координаты ЦБ и ЦТ; θ и ψ – углы крена и дифферента соответственно.

Количество груза, которое корпус может принять до полного погружения, называется *запасом плавучести* (ЗП); ЗП для земснаряда имеет большое значение, поскольку всегда существует опасность получения пробоины или поступления пульпы в корпус при разрыве напорного пульпопровода. Есть два способа увеличения плавучести земснаряда: прямой – увеличение надводного борта, косвенный – увеличение числа водонепроницаемых переборок. Последний способ, как правило, лимитируется размерами отсека машинного отделения; $H_{\text{над}}$ следует принимать согласно Речному регистру РФ.

Способность судна, выведенного внешними силами из положения равновесия, возвращаться в первоначальное положение после снятия этих сил называется *стойчивостью*. Она может быть продольной (при дифференте) и поперечной (при крене). Величину стойчивости в каждом положении определяет восстанавливающий момент M_θ :

$$M_\theta = D l_\theta = \gamma V l_\theta,$$

где l_θ – плечо статической стойчивости, которое зависит как от формы корпуса, так и от положения ЦТ земснаряда.

Корпус земснаряда состоит из внутреннего каркаса (набора) с переборками, разделяющими корпус на водонепроницаемые отсеки, и наружной обшивки. Набор корпуса представляет собой систему продольных и поперечных балок из профильного металла, по которым устроены наружная обшивка и внутренние переборки.

Поперечную прочность корпуса обеспечивают рамные шпангоуты и поперечные переборки. Рамные шпангоуты состоят из бортового рамного шпангоута (по борту), флорного шпангоута (по днищу) и флорного бимса (по палубе). Продольную прочность обеспечивают кильсоны (по днищу) и карлингсы (по палубе), борта и продольные переборки. Между основными несущими балками располагаются соответствующие холостые (вспомогательные) балки набора. Каждый шпангоут имеет свой порядковый номер, считая от носа земснаряда. Пространство между двумя смежными шпангоутами называется шпацией. Вертикальные стойки, соединяющие элементы днищевого и палубного наборов корпуса, называют пиллерсами. Они служат для усиления набора в местах размещения на палубе сосредоточенных нагрузок (лебедки и т. д.).

В зависимости от преимущественного расположения основных несущих балок применяют поперечную, продольную и смешанную системы набора (рис. 3.6). При постройке корпуса земснаряда обычно используют поперечную систему набора.

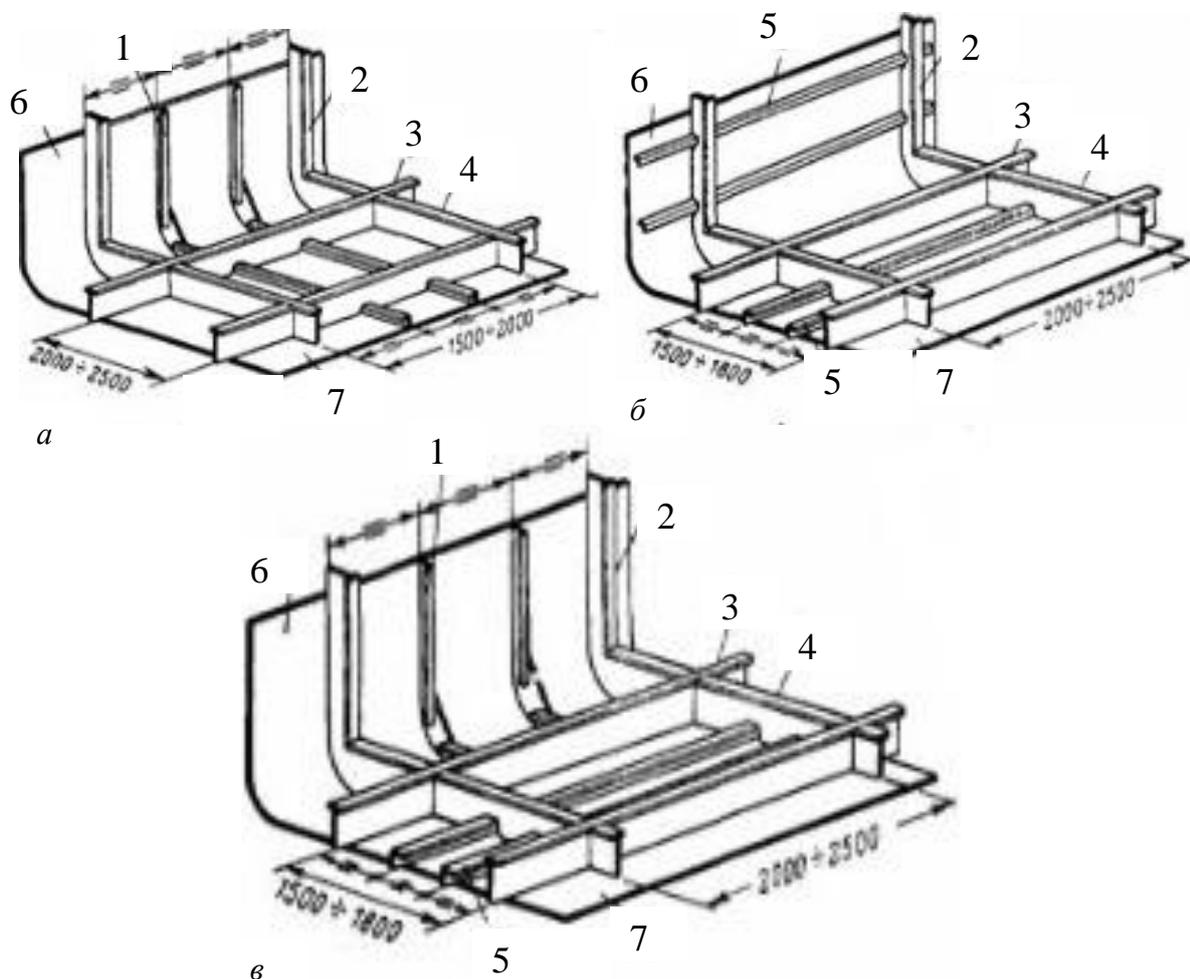


Рис. 3.6. Системы набора корпуса землесосных снарядов.

а – поперечная; *б* – продольная; *в* – смешанная;

1 – холостой шпангоут; 2 – рамный шпангоут; 3 – кильсон; 4 – флорный шпангоут;
5 – холостой набор; 6 – борт; 7 – днище

По конструкции корпуса земснаряды разделяют на сборно-разборные и неразборные (цельносварные). Большинство земснарядов (за исключением земснарядов 300-40, 350-50Л и 400-70) имеет металлический сборно-разборный корпус из отдельных понтонов на болтовом соединении.

В целях повышения степени сборности и транспортабельности земснарядов осуществлена унификация корпуса и узлов земснаряда. В качестве плавучей базы принят сборно-разборный унифицированный корпус с прямыми обводами (рис. 3.7), состоящий из 3–6 понтонов (центральных и боковых).

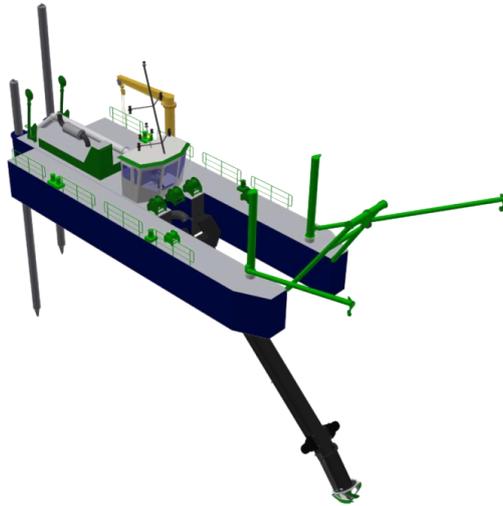


Рис. 3.7. Земснаряд со сборно-разборным корпусом, оборудованный свайным рабочим ходом и фрезерным рыхлителем

Конструкция центрального понтона предусматривает размещение в нем грунтовых насосов с приводом и вспомогательных насосов для воды. Боковые понтоны имеют скосы и подзоры для подхода к кромке прорези и облегчения буксировки. Габаритные и присоединительные размеры центрального и боковых понтонов одинаковые. Габариты и масса понтонов позволяют перевозить их по железной дороге без габаритных ограничений, а также автомобильным транспортом.

3.3. Рыхлители, насосы и пульпопроводы

Для разработки связных грунтов применяют механические рыхлители (фрезерные, роторно-ковшовые, вибрационные и т. п.). Наиболее распространенным типом является фрезерный (рис. 3.8). При вращении рыхлители отделяют от дна водоема грунтовую стружку, увлекаемую потоком воды во всасывающую трубу. Эта труба входит внутрь фрезы, а подача грунта к всасывающему отверстию обеспечивается соответствующим наклоном ножей. Конструкции фрез весьма разнообразны.

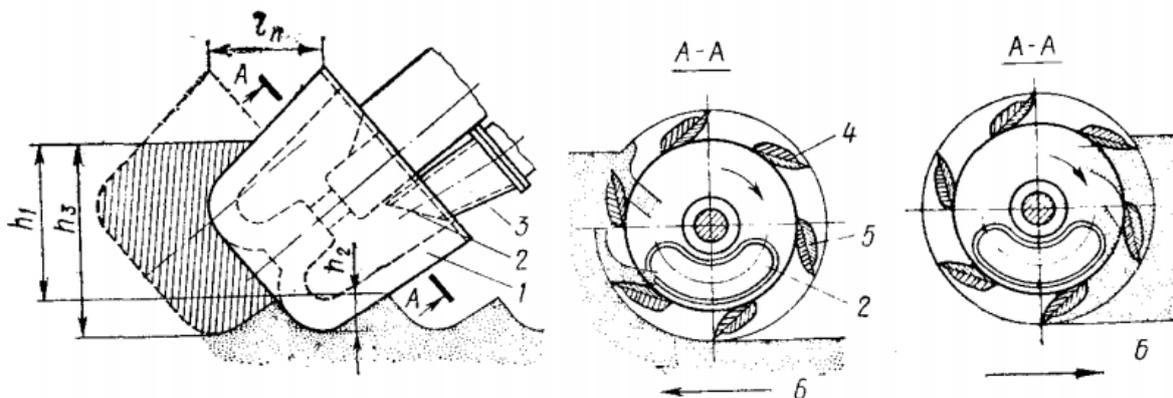


Рис. 3.8. Схема фрезерного рыхлителя:
 1 – фреза; 2 – всасывающее отверстие; 3 – всасывающая труба; 4 – ножи;
 5 – ребра ступицы; 6 – направление перемещения фрезы

Фрезу укрепляют на конце вала, идущего от двигателя. Мощность двигателя рыхлителя обычно составляет 25...50 % мощности, потребляемой грунтовым насосом. Скорость резания его 1,25...1,5 м/с, что при диаметре рыхлителя 2 м соответствует частоте вращения 12...14 об/мин.

В результате движения грунтозаборного устройства, оснащенного фрезерным рыхлителем, удаляется стружка грунта, поперечное сечение которой на рис. 3.8 заштриховано. После этого землесосный снаряд подают вперед на расстояние $l_{п}$, а грунтозаборное устройство перемещают в обратном направлении. Рыхлители вращаются в одном направлении, поэтому при перемещении их в одну сторону грунт срезается ножами снизу вверх или вподрез. При обратном движении грунт срезается сверху вниз, т. е. внакат. Работа вподрез немного эффективнее, так как при вращении фрезы рыхлитель прижимается к дну прорези. Во время работы внакат рыхлитель при попадании на камень или участок с плотным грунтом может приподняться и катиться по его поверхности. Вследствие этого при резании внакат производительность землесосного снаряда меньше, чем в первом случае.

Водогрунтовую смесь всасывает грунтовой насос (или, как его еще называют, землесос). Он представляет собой центробежный насос, состоящий из корпуса и вращающегося в нем рабочего колеса, которое укреплено на валу двигателя. Основное отличие грунтовых насосов от центробежных для перекачки чистой воды заключается в том, что их конструкция рассчитана на пропуск крупнообломочных и абразивных материалов.

Внутреннюю поверхность корпуса насоса, соприкасающуюся с частицами грунта, защищают от износа прочной облицовкой из марганцовистой или хромоникелевой стали. Облицовывают также всасывающий патрубок.

Для обеспечения исправной работы грунтового насоса систематически проверяют состояние облицовки и зазоры между рабочим колесом и корпусом. Изношенные части облицовки восстанавливают или заменяют.

Размещать грунтовой насос можно на палубе землесосного снаряда или в трюме, а также на несущей конструкции грунтозаборного устройства ниже поверхности воды. Вследствие этого длина всасывающего пульпопровода, т. е. участка, расположенного между грунтозаборным устройством и грунтовым насосом, зависит от расположения последнего. Обычно грунтовые насосы размещают в трюме, вблизи уровня воды. В этом случае глубина разработки, определяемая атмосферным давлением, не превосходит 7...8 м. В последнее время широко распространены землесосные снаряды, в которых насосы расположены вблизи заборного устройства (погрузные насосы). При этом у всасывающего патрубка иногда может возникать незначительное положительное давление. Это обеспечивает устой-

чивую работу грунтового насоса на высоких консистенциях пульпы при большой глубине разработки.

В процессе работы всасывающий пульпопровод с грунтозаборным устройством должен иметь возможность подниматься и опускаться, т. е. совершать рабочие движения в вертикальной плоскости, а также изменять свое положение относительно корпуса землесосного снаряда и располагаемого в нем участка напорного пульпопровода. Конструкция их соединения должна обеспечивать возможность таких движений и вместе с тем герметичность. Гибкие соединения выполняют в виде металлического шарового шарнира, а иногда в виде специального резинового рукава. Шланговые резиновые соединения уменьшают гидравлические потери в пульпопроводе, монтировать их значительно проще, чем шаровые, однако последние более изнаноустойчивы и надежны.

Напорный пульпопровод землесосного снаряда обычно состоит из двух основных участков: внутреннего (как следует из названия, находящегося внутри снаряда) и внешнего, плавучего, поддерживаемого на поверхности водоема с помощью поплавков, понтонов и т. п. Звенья плавучего пульпопровода соединяют между собой, а также с внутренним участком напорного пульпопровода с помощью гибких устройств, что обеспечивает всему снаряду необходимую подвижность и маневренность.

Практическое занятие «Изучение устройства и определение параметров земснаряда»

Цель и задачи занятия: изучить конструкции и рабочие процессы земснарядов; определить производительность земснаряда и напор грунтового насоса; рассчитать мощность привода земснаряда и выбрать соответствующую марку земснаряда.

Методические указания

Исходные данные к заданию даются преподавателем.

Решающим фактором при выборе земснаряда является объем работ, м³, выполняемый земснарядом на объекте:

$$V = 1\,000Bhl, \quad (3.1)$$

где B – ширина месторождения, м; h – глубина разработки, м; l – длина разрабатываемого участка, км.

Производительность насоса по пульпе, м³/ч:

$$Q_n = 3\,600\pi d_n^2 / 4v, \quad (3.2)$$

где d_n – диаметр пульпопровода, м; v – скорость транспортирования пульпы, м/с.

Скорость транспортирования пульпы выбираем по данным табл. 3.1.

Таблица 3.1. Средние скорости транспортирования пульпы, м/с

| Диаметр $d_{п}$ пульпопровода, мм | Глины, суглинки | Супеси, мелкие и средние пески | Пески с небольшим содержанием гравия | Пески с большим содержанием гравия |
|-----------------------------------|-----------------|--------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 250 | 1,7 | 2,0 | 2,5 | 2,8 |
| 350 | 2,1 | 2,2 | 3,0 | 3,4 |
| 400 | 2,3 | 2,6 | 3,6 | 4,0 |
| 600 | 2,7 | 3,2 | 4,2 | 4,6 |

Определяем сезонную производительность земснаряда, м³/сезон:

$$Q_c = \frac{Q_n \cdot T_c \cdot K_b \cdot (100 - W_{п})}{100 - W_y}, \quad (3.3)$$

где Q_n – производительность грунтового насоса по пульпе, м³/ч; T_c – количество часов работы земснаряда в сезоне (1 680...2 200 ч); K_b – коэффициент использования земснаряда (0,6...0,8); $W_{п}$ – влажность пульпы, % (90...98 %); W_y – условная влажность готовой продукции, % (60...80 %).

Определяем количество земснарядов, шт.:

$$z = \frac{V}{Q_c}, \quad (3.4)$$

где V – объем разработки, м³; Q_c – производительность земснаряда (сезонная), м³/сезон.

Необходимый напор насоса, м:

$$H = H_{\Delta} + Li \cdot k_{п}, \quad (3.5)$$

где H_{Δ} – геодезическая разность отметок насоса и отвала, м; L – длина транспортирования пульпы, м; $k_{п}$ – коэффициент увеличения потерь напора для пульпы; i – гидравлический уклон, определяемый по эмпирическому уравнению

$$i = \frac{\kappa_y \cdot v^2}{c \cdot R}, \quad (3.6)$$

где v – скорость движения пульпы, м/с; κ_y – коэффициент уклона, (0,01 м/с²); R – гидравлический радиус, равный отношению сечения трубы к ее периметру: $R = F / p$ (для расчетов можно брать $R = d_{п}$), м; c – коэффициент, учитывающий шероховатость стенок и определяемый по формуле

$$c = \sqrt{R/m}, \quad (3.7)$$

где m – коэффициент, принимаемый для труб, бывших в употреблении, и равный 0,012 м.

Коэффициент увеличения потерь напора для пульпы $k_{п}$ зависит от консистенции пульпы следующим образом:

| | | | | |
|---------------------|-------|-------|-------|--------|
| Консистенция пульпы | 1 : 3 | 1 : 5 | 1 : 8 | 1 : 10 |
| $k_{п}$ | 1,6 | 1,5 | 1,3 | 1,2 |

Мощность привода земснаряда, кВт:

$$N = N_n + N_p + N_{вс}, \quad (3.8)$$

где N_n – мощность, потребляемая насосом, кВт; N_p – мощность, потребляемая рыхлителем, кВт; $N_{вс}$ – потери мощности на всасывание, кВт.

Земснаряды отечественного производства в основном комплектуются рыхлителями фрезерного типа мощностью привода 13...175 кВт (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Техническая характеристика земснарядов

| Показатель | Марка земснаряда / тип грунтового насоса | | | | |
|--|--|---------------|-------------------|----------------|--------------------|
| | 12А-4М/12НЗУ | 12А-5Д/3ГМ-1М | 180-60/ГруТ200/63 | 300-40М/20Р-11 | 400-70/ГруТ4000/71 |
| Диаметр рабочего колеса, мм | 1 000 | 700 | 1 030 | 1 250 | 1 360 |
| Проходное сечение, мм | 230 | 200 | 230 | 280 | 300 |
| Производительность, м ³ /ч | 1 600 | 1 300 | 2 200 | 4 000 | 4 000 |
| Напор, м | 54 | 40 | 63 | 60 | 70 |
| Мощность электродвигателя грунтового насоса, кВт | 500 | 340 | 630 | 1 100 | 1 600 |
| Частота вращения, об/мин | 590 | 750 | 590 | 500 | 500 |
| Глубина разработки, м: | | | | | |
| максимальная | 7,5 | 7,5 | 10 | 11 | 15 |
| минимальная | 2,5 | 2,0 | 2,5 | 3,5 | 3,5 |
| Оптимальная ширина проходки, м | 35 | 40 | 40 | 45 | 45 |
| Грунтозаборное устройство | | | | | |
| Тип рыхлителя | Фрезерный | | | | |
| Диаметр фрезы, мм | 1 250 | 1 250 | 1 250 | 1 900 | 1 900 |
| Частота вращения вала фрезы, об/мин | 10; 20 | 15 | 14,7; 29,4 | 9–24 | 18,5 |
| Мощность привода, кВт | 29; 58 | 40 | 46; 55 | 175 | 160 |
| Диаметр всасывающей трубы, мм | 400 | 400 | 500 | 600 | 700 |
| Лебедка папильонажная | | | | | |
| Мощность двигателя, кВт | 3,2...6,0 | 3,2...6,0 | 3,2...6,0 | 12,5 | 10,17 |
| Диаметр каната, мм | 17 | 20 | 20 | 19,5 | 29 |
| Длина каната, м | 160 | 160 | 145 | 230 | 230 |
| Общая мощность электрооборудования, кВт | 750 | 420 | 900 | 2 030 | 2 520 |
| Масса, т | 28,7 | 28,7 | 42,0 | 63,0 | 93,0 |

Мощность, расходуемая насосом, определяется по формуле

$$N_H = W_{уд} \Pi_{\Gamma} / 102 \eta, \quad (3.9)$$

где Π_{Γ} – количество перемещаемого грунта, м³/ч ($0,01 Q_H$ по воде); η – КПД насоса (0,6...0,8); $W_{уд}$ – удельный расход электроэнергии на транспортирование 1 м³ грунта, кВт*ч/м³.

$$W_{уд} = 3 (L + 0,04 H_{\Delta}), \quad (3.10)$$

где L – дальность транспортирования, м.

Данные расчетов корректируем и заносим в сводную таблицу, которая выглядит следующим образом:

| $V, \text{ м}^3$ | $z, \text{ шт.}$ | $Q_c, \text{ м}^3/\text{сезон}$ | $Q_H, \text{ м}^3/\text{ч}$ | $H, \text{ м}$ | $N, \text{ кВт}$ | Тип земснаряда |
|------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------|------------------|----------------|
| | | | | | | |

По характеристике грунтового насоса выбираем земснаряд (см. табл. 3.2).

Пример выполнения работы

Исходные данные для расчета по варианту № 0:

| | |
|---|-----------------------|
| Ширина месторождения B | 50 м |
| Глубина разработки h | 1,5 м |
| Длина разрабатываемого участка l | 0,8 км |
| Производительность насоса Q_H | 720 м ³ /ч |
| Диаметр пульпопровода $d_{\text{п}}$ | 250 мм |
| Геодезическая разность отметок насоса и отвала H_{Δ} | 5,0 м |
| Длина транспортирования пульпы L | 500 м |
| Консистенция пульпы | 1 : 3 |
| Потери мощности на всасывание $N_{\text{вс}}$ | 5,0 кВт |

Решение

Определяем общий объем работ на объекте по формуле (3.1):

$$V = 1\,000 B h l = 1\,000 \cdot 50 \cdot 1,5 \cdot 0,8 = 6\,000 \text{ м}^3.$$

Производительность земснаряда находим по формуле (3.2):

$$Q_H = 3\,600 \pi d_{\text{п}}^2 / 4v = 3\,600 \cdot 3,14 \cdot 0,25^2 / 4 \cdot 1,7 = 103,9 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Скорость транспортирования пульпы выбираем по данным табл. 3.1: $v = 1,7$ м/с (глины, суглинки).

Сезонную производительность земснаряда рассчитываем по формуле (3.3):

$$Q_c = (103,9 \cdot 1\,680 \cdot 0,6 \cdot (100 - 90)) / (100 - 60) = 26\,182 \text{ м}^3/\text{сезон}.$$

Находим количество земснарядов:

$$z = V / Q_c = 60\,000 / 26\,182 \approx 2 \text{ шт.}$$

Гидравлический уклон определяем по формуле (3.6):

$$i = \frac{\kappa_y \cdot V^2}{c \cdot R} = \frac{0,01 \cdot 1,7^2}{4,6 \cdot 0,25} = 0,03.$$

Коэффициент, учитывающий шероховатость стенок, рассчитываем по формуле (3.7):

$$c = \sqrt{R/m} = \sqrt{0,25/0,012} = 4,6.$$

Коэффициент увеличения потерь напора для пульпы при консистенции 1 : 3 $k_{\Pi} = 1,6$.

Необходимый напор насоса рассчитываем по формуле (3.5):

$$H = H_{\Delta} + L \cdot i \cdot k_{\Pi} = 5 + 500 \cdot 0,03 \cdot 1,6 = 29 \text{ м.}$$

Земснаряды отечественного производства комплектуются рыхлителями фрезерного типа мощностью привода 13...175 кВт (см. табл. 3.2).

Принимаем земснаряд с рыхлителем фрезерного типа мощностью привода 29 кВт.

Удельный расход электроэнергии на транспортирование 1 м³ грунта находим по формуле (3.10):

$$W_{уд} = 3(500 + 0,04 \cdot 5) = 1\,501 \text{ кВт/м}^3.$$

Мощность, расходуемую насосом, определяем по формуле (3.9):

$$N_H = W_{уд} \cdot \Pi_r / 102\eta = 1\,501 \cdot 0,01 \cdot 103,9 / 102 \cdot 0,6 = 25,5 \text{ кВт,}$$

где $\Pi_r = 0,01 Q_H$ по воде.

Мощность привода земснаряда рассчитываем по формуле (3.8):

$$N = N_H + N_p + N_{вс} = 25,5 + 29 + 5 = 59,5 \approx 60 \text{ кВт.}$$

По характеристике грунтового насоса (см. табл. 3.2) выбираем земснаряд типа 12А-4М с грунтовым насосом типа 12НЗУ.

Полученные данные корректируем и заносим в сводную таблицу:

| $V, \text{ м}^3$ | $z, \text{ шт.}$ | $Q_c, \text{ м}^3/\text{сезон}$ | $Q_H, \text{ м}^3/\text{ч}$ | $H, \text{ м}$ | $N, \text{ кВт}$ | Тип земснаряда |
|------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------|------------------|----------------|
| 7 500 000 | 28 | 26 182 | 103,9 | 29 | 60 | 12А-4М |

Контрольные вопросы

1. Расскажите об области применения и устройстве земснарядов. Какой вид энергии они используют? Как перебазируют земснаряды при смене объектов по воде и по суше?

2. Перечислите классификации земснарядов.

3. Назовите основные параметры земснарядов.

4. Дайте определение параметров корпуса земснаряда: ОП и ДП, плоскости мидель-шпангоута; ВЛ; углам крена и дифферента; главным геометрическим размерениям; водоизмещению; ЗП; остойчивости.

5. Перечислите конструкции корпусов земснарядов.

Практическое занятие «Изучение устройства и рабочих процессов рыхлителей фрезерного типа»

Цель и задачи занятия: изучить конструкции рыхлителей фрезерного типа, рассчитать конструктивные размеры фрез по заданной производительности земснаряда, определить мощности привода рыхлителя и выбрать его трансмиссии и двигатели.

Методические указания

Изучаем конструкции рыхлителей фрезерного типа по литературным источникам.

Данные для расчета основных параметров фрезерного рыхлителя выдаются преподавателем.

Размеры фрезы (диаметр и длина) должны быть согласованы с размерами зоны активного всасывания, зависящими от подачи грунтового насоса, формы и размеров зева грунтоприемника. С их увеличением возрастает глубина зоны активного всасывания, следовательно, размеры фрезы можно принимать большими.

Производительность земснаряда по грунту может лимитироваться условиями грунтозабора или гидротранспорта. Причем эти условия в значительной мере определяются параметрами рыхлителя, поэтому количество грунта, нарезанного фрезой, должно быть не меньше того, которое может транспортировать грунтонасосная установка.

При послойной разработке грунта (глины, суглинка) связь между размерами фрезы и ее производительностью записывается в виде

$$Q_{\text{гр}} = 60 L_{\text{ф}} D_{\text{ф}} v_{\text{п}} k_{\text{Л}} k_{\text{Д}} k_{\text{пр}}, \quad (3.11)$$

где $Q_{\text{гр}}$ – паспортная часовая производительность земснаряда по грунту, м³/ч; $L_{\text{ф}}$ – длина фрезы, м; $D_{\text{ф}}$ – диаметр фрезы, м; $v_{\text{п}}$ – скорость папильонирования, м/мин; $k_{\text{Л}}$ – коэффициент, характеризующий степень использования фрезы по длине (0,55...0,90); $k_{\text{Д}}$ – коэффициент, характеризующий степень использования фрезы по диаметру (0,85...0,95); $k_{\text{пр}}$ – коэффициент просора грунта.

Исходя из производительности земснаряда $Q_{\text{гр}}$ (м³/ч) по условиям гидротранспорта при оптимальных технологических параметрах резания, **диаметр фрезы**, м, определяем:

по формуле Б.М. Шкундина:

для легких несвязных грунтов

$$D_{\text{ф}} = 0,23 Q_{\text{гр}}^{0,35}; \quad (3.12)$$

тяжелых связных грунтов

$$D_{\text{ф}} = 0,21 Q_{\text{гр}}^{0,35}; \quad (3.13)$$

формуле С.П. Огородникова:

легких несвязных грунтов

$$D_{\text{ф}} = 0,20 Q_{\text{гр}}^{0,33}; \quad (3.14)$$

тяжелых связных грунтов

$$D_{\phi} = 0,25Q_{\text{гр}}^{0,33}, \quad (3.15)$$

где D_{ϕ} – диаметр фрезы, м; $Q_{\text{гр}}$ – часовая производительность земснаряда, м³/ч.

Оптимальные значения D_{ϕ} лежат в пределах между значениями, определяемыми по формулам (3.12)–(3.15).

Длину фрезы L_{ϕ} , м, выбираем в зависимости от ее диаметра и рода разрабатываемого грунта из соотношения $L_{\phi} / D_{\phi} = 0,65 \dots 0,90$. При этом короткие фрезы целесообразно использовать для разработки тяжелых грунтов.

Число ножей z_{ϕ} фрезы принимаем 4...6 в зависимости от размеров фрезы по формуле

$$z_{\phi} = k\pi D_{\phi} / L_{\phi} \text{tg}\varphi, \quad (3.16)$$

где k – коэффициент перекрытия ножей (1,1...1,5); φ – угол наклона ножей к оси вращения фрезы (42°...45°).

Мощность привода фрезерного рыхлителя, кВт:

$$N_{\phi} = Q_{\text{ч}} \cdot N_{\text{уд}}, \quad (3.17)$$

где $N_{\text{уд}}$ – удельная мощность привода фрезерного рыхлителя, приходящаяся на 1 м³ часовой производительности (табл. 3.3), кВт · ч/м³.

Таблица 3.3. Удельная мощность привода фрезерного рыхлителя

| Грунт | $N_{\text{уд}}$, кВт · ч/м ³ |
|-----------------------------------|--|
| Пески рыхлые неслежавшиеся | 0,20...0,30 |
| Пески слежавшиеся, иловатые пески | 0,35...0,45 |
| Илы слежавшиеся, суглинки легкие | 0,45...0,60 |
| Глины легкие нежирные | 0,60...0,75 |
| Глины плотные | 0,75...0,90 |
| Скала мягкая | 0,90...1,20 |

Исходя из полной мощности двигателя привода, рассчитываем крутящий момент, кг · см:

$$M_{\phi} = 9\,550\varepsilon\eta N_{\phi} / 1\,000n_{\phi}, \quad (3.18)$$

где ε – коэффициент перегрузки двигателя (1,2...2,0); η – КПД привода фрезы; n_{ϕ} – частота вращения вала привода фрезы, об/мин.

Определяем число оборотов вала привода фрезы, об/мин:

$$n_{\phi} = 60v_{\phi} / \pi D_{\phi}, \quad (3.19)$$

где v_{ϕ} – скорость вращения фрезы.

Находим передаточное отношение редуктора:

$$i_{\text{р}} = n_{\text{д}} / n_{\phi}, \quad (3.20)$$

где $n_{\text{д}}$ – число оборотов вала электродвигателя, об/мин; n_{ϕ} – число оборотов вала фрезы, об/мин.

По расчетным значениям крутящего момента и числу оборотов вала фрезерного рыхлителя выбираем муфту, электродвигатель и редуктор привода (табл. 3.4–3.6).

Таблица 3.4. Муфты универсальные втулочно-пальцевые типа МУВП (ГОСТ 21424-75)

| Типоразмер | Диаметры посадочных отверстий d , мм | Номинальный передаточный крутящий момент M , кг · см |
|------------|--|--|
| МУВП...1 | 10, 11, 12, 14 | 0,63 |
| МУВП...2 | 16, 18 | 1,6 |
| МУВП...3 | 16, 18, 20, 22 | 3,15 |
| МУВП...4 | 20, 22 | 6,3 |
| МУВП...5 | 25, 28 | 12,5 |
| МУВП...6 | 32, 36, 40, 45 | 25,0 |
| МУВП...7 | 40, 45, 50, 56 | 50,0 |
| МУВП...8 | 50, 56, 63 | 100,0 |
| МУВП...9 | 63, 71, 80, 90 | 200,0 |
| МУВП...10 | 80, 90, 100, 110 | 400,0 |

Таблица 3.5. Электродвигатели фланцевые трехфазные асинхронные с короткозамкнутым ротором серии 4А (ГОСТ 19523-74).

| Серия электродвигателя | Мощность N , кВт, при частоте вращения n , об/мин | | |
|------------------------|---|-------------|-------------|
| | 750 | 1 000 | 1 500 |
| 4А71 | 0,25 | 0,37...0,55 | 0,55...0,75 |
| 4А80 | 0,35...0,55 | 0,75...1,1 | 1,1...1,5 |
| 4А90 | 0,75...1,1 | 1,5 | 2,2 |
| 4А100 | 1,5 | 2,2 | 3,0...4,0 |
| 4А112 | 2,2...3,0 | 3,0...4,0 | 5,5 |
| 4А132 | 4,0...5,5 | 5,5...7,5 | 7,5...11,0 |
| 4А160 | 7,5...11,0 | 11,0...15,0 | 15,0...18,5 |
| 4А168 | 15,0 | 18,5 | 22,0...30,0 |
| 4А200 | 18,5...22,0 | 22,0...30,0 | 37,0...45,0 |
| 4А225 | 30,0 | 37,0 | 55,0 |
| 4А250 | 37,0...45,0 | 45,0...55,0 | 75,0...90,0 |
| 4А280 | 55,0...75,0 | 75,0...90,0 | 110...132 |

Таблица 3.6. Редукторы червячные типа РЧУ (ГОСТ 13563-68)

| Типоразмер | Переда- точное отноше- ние | Мощность N , кВт, на валу червяка и момент на валу червячного колеса M , кг · см, при частоте вращения вала червяка n , об/мин | | | | | |
|------------|--|--|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| | | 750 | | 1 000 | | 1 500 | |
| | | N | M | N | M | N | M |
| РЧУ-40 | 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80 | 0,05...0,35 | 2,75...3,1 | 0,1...0,45 | 2,75...3,0 | 0,1...0,6 | 2,6...2,7 |
| РЧУ-50 | | 0,1...0,7 | 4,1...6,0 | 0,1...0,85 | 4,0...5,6 | 0,15...1,1 | 3,8...5,0 |
| РЧУ-63 | | 0,15...1,25 | 8,4...11,5 | 0,2...1,6 | 8,7...10,5 | 0,25...2,1 | 8,2...9,8 |
| РЧУ-80 | | 0,3...2,5 | 17,2...22,5 | 0,4...3,1 | 16,4...21,1 | 0,55...4,1 | 15,9...18,9 |
| РЧУ-100 | | 0,45...4,4 | 33,2...41,2 | 0,7...5,5 | 31,8...39,2 | 0,9...6,8 | 30,5...32,4 |
| РЧУ-125 | | 0,9...8,0 | 57,3...74,5 | 1,15...9,9 | 56,1...70,1 | 1,5...12,0 | 51,5...57,3 |
| РЧУ-160 | | 1,8...16,1 | 120...150 | 2,2...17,8 | 116...127 | 3,0...20,4 | 98,5...117 |

Данные расчетов корректируем и заносим в сводную таблицу:

| № варианта _____ | Значения |
|---|----------|
| Часовая производительность земснаряда по грунту $Q_{\text{ч}}$, м ³ /ч | |
| Скорость папильонирования $V_{\text{п}}$, м/мин | |
| Длина фрезы $L_{\text{ф}}$, м | |
| Диаметр фрезы $D_{\text{ф}}$, м | |
| Скорость вращения фрезы $v_{\text{ф}}$, м/с | |
| Число ножей $z_{\text{ф}}$, шт. | |
| Удельная мощность привода фрезерного рыхлителя $N_{\text{уд}}$, кВт·ч/м ³ | |
| Частота вращения вала электродвигателя $n_{\text{д}}$, об/мин | |
| Передаточное отношение i | |
| Муфта (типоразмер) | МУВП– |
| Крутящий момент M , кг · см | |
| Диаметр посадочного отверстия $d_{\text{п.о}}$ | |
| Редуктор (тип) | РЧУ– |
| Момент, кг · см | |
| Диаметр d , мм | |
| Электродвигатель (серия) | 4А200 |
| Мощность N , кВт | |
| Крутящий момент M , кг · см | |
| Частота вращения вала электродвигателя $n_{\text{д}}$, об/мин | |
| Диаметр вала электродвигателя $d_{\text{э.д}}$, мм | |

Пример

Исходные данные: номер варианта – 2.

Производительность земснаряда по пульпе $Q_{\text{пул}} = 1\,300$ м³/ч; по грунту $Q_{\text{гр}} = 130$ м³/ч. Скорость папильонирования $v_{\text{п}} = 4$ м/мин. Скорость вращения фрезы $v_{\text{ф}} = 2,5$ м/с. Коэффициент просора грунта $k_{\text{пр}} = 0,85$. Коэффициент полезного действия привода фрезы $\eta = 0,9$. Тип грунта: песок слежавшийся.

Решение

Определяем конструктивные размеры фрезы. Исходя из производительности земснаряда $Q_{\text{гр}}$ (м³/ч) по условиям гидротранспорта при оптимальных технологических параметрах резания, находим диаметр фрезы $D_{\text{ф}}$ для слежавшихся песков по формуле (3.12): $D_{\text{ф}} = 0,23Q_{\text{гр}}^{0,35} = 0,23 \cdot 130^{0,35} = 1,26$ м; формуле (3.14): $D_{\text{ф}} = 0,20Q_{\text{гр}}^{0,33} = 0,20 \cdot 130^{0,35} = 1,15$ м.

Принимаем $D_{\text{ф}} = 1,2$ м. Тогда длина фрезы из выражения (3.11) составит

$$L_{\text{ф}} = Q_{\text{гр}} / 60D_{\text{ф}}v_{\text{п}}K_{\text{Л}}K_{\text{Д}}K_{\text{пр}} = 130 / 60 \cdot 1,2 \cdot 4 \cdot 0,6 \cdot 0,95 \cdot 0,85 = 0,93 \text{ м.}$$

Проверяем длину фрезы в зависимости от ее диаметра и рода разрабатываемого грунта из соотношения $L_{\phi} / D_{\phi} = 0,65 \dots 0,90$:

$$L_{\phi} / D_{\phi} = 0,93 / 1,2 = 0,78.$$

Полученное соотношение укладывается в приведенный диапазон.

Число ножей фрезы (4...6) принимаем в зависимости от размеров фрезы по формуле (3.16):

$$z_{\text{мин}} = k\pi D_{\phi} / L_{\phi} \operatorname{tg}\varphi = 1,1 \cdot 3,14 \cdot 1,2 / 0,88 \cdot 0,9 = 5,23.$$

Принимаем 6 ножей.

Мощность привода фрезерного рыхлителя находим по формуле (3.17):

$$N_{\phi} = Q_{\text{гр}} N_{\text{уд}} = 130 \cdot 0,4 = 52 \text{ кВт.}$$

Определяем число оборотов вала привода фрезы по формуле (3.19):

$$n_{\phi} = 60v_{\phi} / \pi D_{\phi} = 60 \cdot 2,5 / 3,14 \cdot 1,2 = 40 \text{ об/мин.}$$

Исходя из полной мощности двигателя привода, рассчитываем крутящий момент на валу рыхлителя по формуле (3.18):

$$M_{\phi} = 9\,550\epsilon\eta N_{\phi} / 1\,000n_{\phi} = 9\,550 \cdot 1,2 \cdot 0,9 \cdot 52 / 1\,000 \cdot 40 = 13,4 \text{ кг} \cdot \text{см.}$$

Определяем передаточное число редуктора по формуле (3.20):

$$i_p = n_d / n_{\phi} = 1\,500 / 40 = 37,5;$$

принимаем $i_p = 40$.

По расчетным значениям мощности $N_{\phi} = 52$ кВт подбираем электродвигатель 4А225, $N = 55,0$ кВт, $n = 1\,500$ об/мин, по частоте вращения вала фрезерного рыхлителя $n = 40$ об/мин, передаточному отношению $i = 40$ – редуктор РЧУ-80, а для соединения валов – муфту типоразмера МУВП-6 (см. табл. 3.4...3.6).

Данные расчетов корректируем и заносим в сводную таблицу:

| № варианта | Значения |
|---|----------|
| Часовая производительность земснаряда по грунту $Q_{\text{гр}}$, м ³ /ч | 130 |
| Скорость папильонирования $v_{\text{п}}$, м/мин | 4 |
| Длина фрезы L_{ϕ} , м | 0,23 |
| Диаметр фрезы D_{ϕ} , м | 1,2 |
| Скорость вращения фрезы v_{ϕ} , м/с | 2,5 |
| Число ножей z_{ϕ} , шт. | 6 |
| Удельная мощность привода фрезерного рыхлителя $N_{\text{уд}}$, кВт*ч/м ³ | 0,4 |
| Частота вращения вала выходного редуктора, об/мин | 40 |
| Передаточное отношение i | 40 |
| Муфта (типоразмер) | МУВП-6 |
| Крутящий момент M , кг · см | 50 |

| № варианта | Значения |
|---|----------|
| Редуктор (тип) | РЧУ-160 |
| Момент, кг · см | 50 |
| Электродвигатель привода (серия) | 4А225 |
| Мощность N , кВт | 55 |
| Крутящий момент M , кг · см | 50 |
| Частота вращения вала электродвигателя n_d , об/мин | 1 500 |

Контрольные вопросы

1. Назовите типы грунтозаборных устройств земснарядов. Опишите принцип работы безрыхлительных грунтозаборных устройств.
2. Расскажите об устройстве и принципе работы фрезерных грунтозаборных устройств.
3. Приведите классификацию фрез и фрезерных рыхлителей земснарядов.
4. Опишите процесс папильонажных перемещений бессвайных и свайных земснарядов.
5. Расскажите об устройстве грунтовых насосов и пульпопроводов.
6. Каков расчет мощности на привод грунтового насоса?

4. МНОГОКОВШОВЫЕ ТРАНШЕЙНЫЕ ЭКСКАВАТОРЫ

4.1. Общие сведения о многоковшовых экскаваторах

Многоковшовые экскаваторы используются при разработке траншей и каналов различного назначения, возведении насыпей и планировании горизонтальных и наклонных поверхностей, добыче строительных материалов и полезных ископаемых. Экскаваторы непрерывного действия (за исключением карьерных) предназначены для разработки грунтов I...III категорий, не имеющих крупных каменистых включений. Для разрушения мерзлых грунтов и твердых искусственных покрытий выпускаются машины непрерывного действия с баровыми рабочими органами.

Многоковшовые экскаваторы разрабатывают грунт выше уровня стоянки (МЭ верхнего копания) или ниже (нижнего копания). Большинство современных экскаваторов могут работать как верхним, так и нижним копанием. Разработанный грунт укладывается на транспортирующие устройства (входящие в состав этих экскаваторов), передающие его на специальные разгружающие устройства (у экскаваторов большой мощности) или же непосредственно разгружающие в транспортные средства или в отвал.

При разработке забоя МЭ перемещаются или в процессе работы (т. е. передвижение является рабочим), или же после выработки забоя в пределах своих рабочих органов.

Многоковшовые экскаваторы классифицируют по ГОСТ 21796-90 «Экскаваторы непрерывного действия. Термины и определения»:

по назначению: траншейные, канавокопатели, дренаукладчики, карьерные;

виду рабочего оборудования (рис. 4.1): цепные (скребковые и ковшовые), роторные, шнековые и комбинированные;

способу работы (по направлению перемещения рабочего органа): продольного, поперечного и радиального копания;

способу соединения рабочего оборудования с базовым шасси: с навесным, полуприцепным и прицепным рабочим оборудованием;

типу ходового оборудования: гусеничные и колесные экскаваторы непрерывного действия.

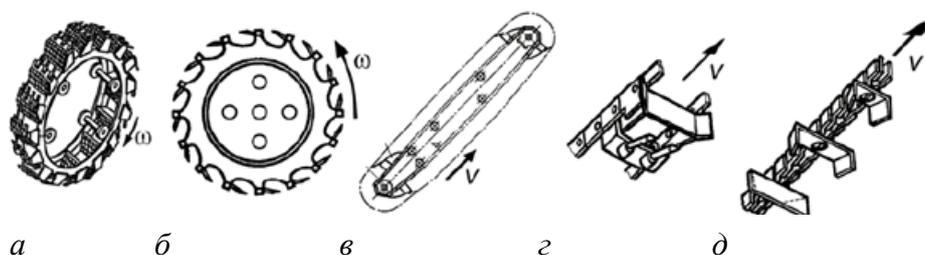


Рис. 4.1. Рабочие органы экскаваторов непрерывного действия:
a – роторный ковшовый; *б* – роторный фрезерный; *в* – цепной ковшовый;
г и *д* – цепные скребковые

Индекс экскаваторов непрерывного действия состоит из символов, кодирующих классификационные характеристики машин (табл. 4.1). Буквы отражают назначение машины и тип ее рабочего органа, а цифры – главный параметр и индексацию изготовителя.

Таблица 4.1. Классификация и индексация МЭ

| Признак классификации | | | Индекс | Наименование экскаватора |
|------------------------|----------------|----------------|---|-------------------------------|
| Направление копания | Рабочий орган | Назначение | | |
| Продольное | Цепной | Траншейный | ЭТЦ | Цепной траншейный |
| | | Дренаукладчик | | Дренаукладчик |
| | Роторный | Траншейный | ЭТР | Роторный траншейный |
| | | Дренаукладчик | | Дренаукладчик |
| | Шнеко-роторный | Канавокопатель | ЭТР | Шнеко-роторный каналокопатель |
| Двухфрезерный | Канавокопатель | ЭТР | Двухроторный или двухфрезерный каналокопатель | |
| Плужно-роторный | Канавокопатель | МК | Плужно-роторный каналокопатель | |
| Поперечное, радиальное | Цепной | Мелиоративный | МР | Мелиоративный |
| | | Карьерный | ЭМ | Цепной |
| | Роторный | Карьерный | ЭР | Роторный стреловой |

После буквенного индекса следует цифровое обозначение, которое содержит следующую информацию:

для экскаваторов продольного копания (ЭТР и ЭТЦ) первые две цифры обозначают глубину копания, дм, третья – порядковый номер модели;

экскаваторов радиального копания первые три цифры обозначают вместимость ковша, л, а четвертая – порядковый номер модели;

экскаваторов поперечного копания первые две цифры обозначают вместимость ковша, л, третья – порядковый номер модели.

Например, индекс ЭТР-206А обозначает следующее: экскаватор траншейный роторный; глубина копания – 20 дм (2,0 м); шестая модель – б; первая модернизация – А.

Очередная модернизация базовой модели отражается добавлением к цифровому коду русской буквы в алфавитном порядке. В конце индекса указывается вид климатического исполнения машины: ХЛ (северное); Т (тропическое) или ТВ (тропическое влажное).

Цепной рабочий орган МЭ представляет собой цепь, на звеньях которой закреплены ковши или режущие элементы (скребки, резцы и др.).

Цепь приводится в движение от звездочки верхнего (турасного) вала и огибает нижний (полевой) турас, который выполнен в виде огибающего блока, свободно сидящего на оси. Верхняя ветвь опирается на поддерживающие ролики, а нижняя может перемещаться в направляющих (рис. 4.2а) или же свободно провисать (рис. 4.2б).

При движении цепи в направляющих обеспечивается ровная поверхность забоя в случае однородного грунта. Но если встречаются каменистые включения, то поднимается вся ковшовая рама (она крепится на гибкой подвеске), что сопровождается высокими динамическими нагрузками и нарушением рабочего процесса, поэтому рамы с направляющими используют для работы в однородных грунтах (например, на МЭ поперечного копания для разработки глины в карьерах).

Для свободно провисающей цепи ковш при копании удерживается за счет натяжения цепи, ровная поверхность забоя не выдерживается (т. е. ковши могут быть наполнены неодинаково), но зато ковш относительно свободно обходит непреодолимые препятствия в грунте. В частности, при встрече с камнем он отклоняется и обходит его (рис. 4.2в). Так продолжается несколько раз, пока камень не оголится и ковш не захватит его, поэтому свободно провисающие цепи устанавливают на экскаваторах, работающих в разнообразных грунтовых условиях, в том числе на всех траншейных экскаваторах.

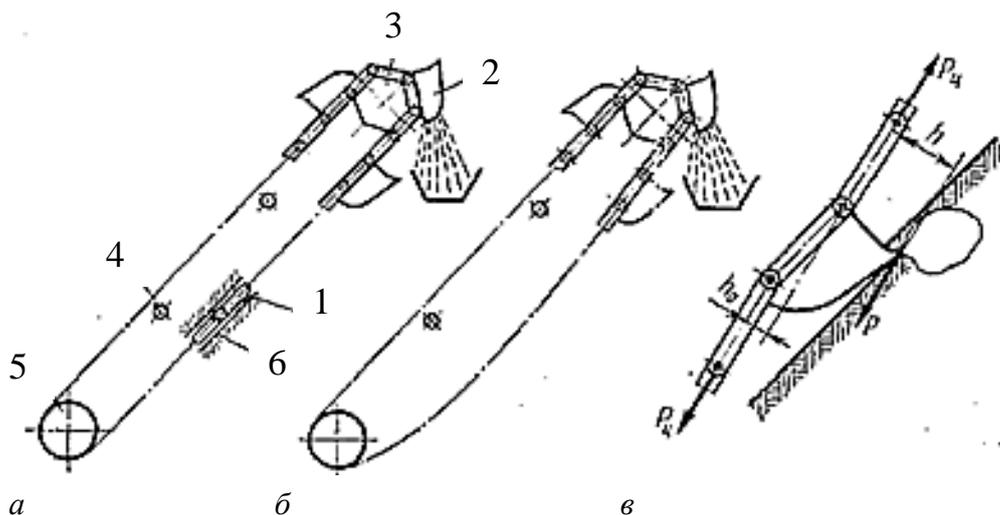


Рис. 4.2. Цепной многоковшовый рабочий орган:

- a* – цепь в направляющих; *б* – свободно провисающая цепь;
- в* – встреча ковша, закрепленного на свободно провисающей цепи, с препятствием;
- 1 – цепь; 2 – ковш; 3 – звездочки верхнего (турасного) вала;
- 4 – верхние поддерживающие ролики; 5 – огибные блоки; 6 – направляющие

Ковши (рис. 4.3) обычно саморазгружающиеся, открытые спереди и сверху, с проушинами на боковых стенках для крепления цепи. Корпус выполняют из листовой стали, необходимую жесткость корпусу придает козырек. Сопряжения днища ковша с боковыми стенками и хвостовой частью закругляют, чтобы уменьшить налипание и намерзание грунта.

В бесковшовом рабочем органе (см. рис. 4.1г, д) режущие элементы (резцы и скребки) закреплены на цепи. Срезаемый грунт увлекается вдоль забоя ими или же специальными транспортирующими элементами.

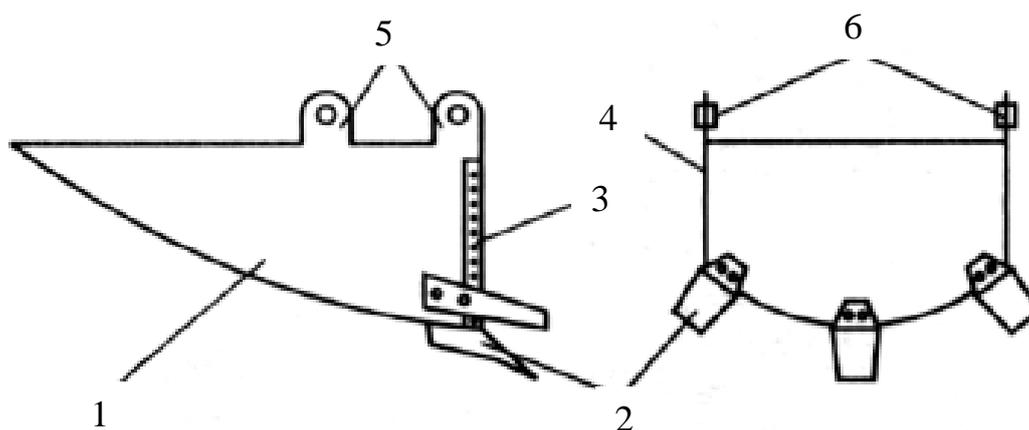


Рис. 4.3. Ковш (один из видов): 1 – днище;

- 2 – передние зубья; 3 – боковая режущая кромка; 4 – боковая стенка;
- 5 – проушины для крепления к цепи; 6 – втулки проушин

Техническую производительность МЭ $P_{\text{тех.мэ}}$ определяют по выносной способности (т. е. по максимальному объему грунта, транспортируемого в единицу времени).

Для МЭ с ковшовым органом

$$\Pi_{\text{тех.мэ}} = \frac{q_k n k_H}{k_p},$$

где q_k – объем ковша, м^3 ; n – число разгрузок в единицу времени; k_H и k_p – коэффициент наполнения ковша и разрыхления грунта в ковше соответственно.

Для МЭ с бесковшовым органом

$$\Pi_{\text{тех.мэ}} = \frac{v_p F_p k_H}{k_p},$$

где v_p – скорость движения рабочих или транспортирующих элементов, м/с ; F_p – площадь сечения рабочего пространства, м^2 .

Роторный многоковшовый рабочий орган МЭ отличается от цепного тем, что его ковши, как следует из названия, закреплены на вращающемся роторе. У роторного рабочего органа нет большого количества шарниров, отсутствуют динамические нагрузки, возникающие из-за неравномерности скорости движения цепи, более высокий КПД. Благодаря этому можно применять большие скорости копания и достигать лучшей производительности.

Рабочее оборудование роторных экскаваторов включает в себя рабочий орган, а именно ротор с ковшами, приемно-питающее устройство и стрелу (рис. 4.4).

Основой ротора являются два параллельно расположенных несущих кольца, соединенных перемычками. Внутренними поверхностями кольца опираются на ролики с ребордами, воспринимающими радиальные и осевые нагрузки. По периферии колец равномерно расположены ковши. Расстояние между кольцами примерно равно ширине ковша. На широких роторах ковши устанавливаются в два ряда с промежуточным третьим кольцом между ними и со смещением одного ряда ковшей относительно другого на половину шага, что обеспечивает относительно равномерную нагрузку ротора при работе.

Между кольцами расположен неподвижный цилиндрический лист (обечайка), соединенный с рамой ротора и допускающий высыпание грунта из ковшей только тогда, когда они проходят над отвальным конвейером.

Ковш состоит из режущего периметра (рис. 4.4), закрепленных на нем режущих зубьев и днища (иногда из сварных цепей). Ковши заполняются грунтом с лобовой стороны, а разгружаются со стороны, прилегающей к ротору. В момент выгрузки грунта цепи ковша провисают и он полностью опорожняется, что особенно важно на липких грунтах. Распространены также ковши со свободной разгрузкой через заднюю кромку днища. Во время копания грунт удерживается в ковше благодаря форме и размеру последнего, а при его опрокидывании выгружается на отвальный конвейер через заднюю кромку.

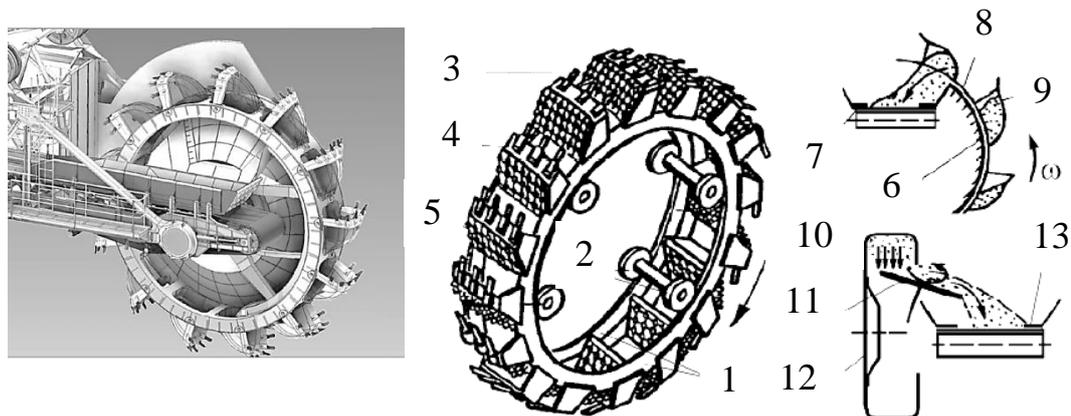


Рис. 4.4. Ротор (рабочее колесо) экскаватора:
 1 – несущие кольца; 2 – опорные ролики с ребрами; 3 – рыхлящий зуб;
 4 – режущий периметр ковша; 5 – днище ковша из сварных цепей; 6 – обечайка;
 7 и 13 – отвальный конвейер; 8 и 12 – ротор; 9 и 10 – ковш с грунтом;
 11 – тарельчатый питатель

При вращении ротора ковши срезают грунт и поднимают его вверх к месту разгрузки. Для того чтобы грунт не высыпался из ковшей во время подъема, предусматривается внутренний защитный кожух. В месте разгрузки кожух прерывается и переходит в течку, направляющую грунт на разгрузочный конвейер (рис. 4.5). Ротор вращается с окружной скоростью и одновременно вместе с экскаватором перемещается со скоростью вращения стрелы.

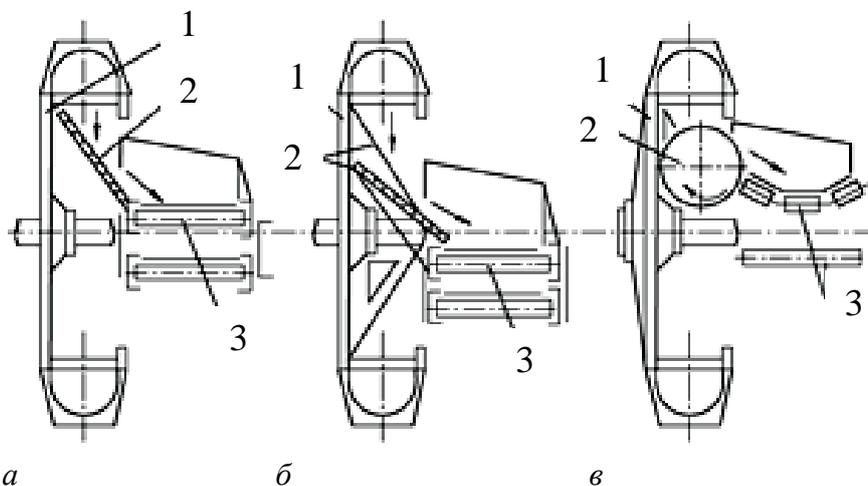


Рис. 4.5. Конструктивные схемы приемно-питающих устройств ротора:
 а – неподвижный желоб; б – вращающийся конус; в – барабанный питатель;
 1 – ротор; 2 – приемно-питающее устройство; 3 – конвейер

4.2. Траншейные экскаваторы

Траншейные экскаваторы – это неповоротные машины нижнего продольного копания. Ось машины располагается обычно по оси траншеи (иногда она сдвинута на 0,5...0,8 м или на бровку траншеи). Вместимость ковшей обычно 20...150 л, бывает до 2 000 л. Их применяют для рытья

траншей прямоугольного или трапецеидального профиля (под газо-, нефте-, водопроводы, канализационные системы и кабельные линии).

Траншейные экскаваторы состоят из трех основных частей:

- 1) базового тягача;
- 2) рабочего оборудования, включающего рабочий орган для копания траншей и поперечное (к продольной оси машины) отвальное устройство для удаления грунта (ленточный конвейер или шнеки);
- 3) вспомогательного оборудования для управления рабочим органом и другими механизмами, а также откосообразователей и зачистных устройств.

Траншейные экскаваторы оборудованы многоковшовым или бесковшовым (скребковым, плужковым, зубчатым) рабочим органом (рис. 4.6). При своем перемещении они разрабатывают (за собой) в течение одного прохода траншею заданных параметров (глубины, ширины, профиля) с одновременной транспортировкой грунта в сторону от нее. Их рабочие органы непрерывно перемещаются по замкнутому контуру при одновременном перемещении траншейного экскаватора. Они разрабатывают как мерзлые, так и немерзлые грунты. Траншейные экскаваторы эффективны при работе на прямолинейных участках большой протяженности (с минимальными пионерными выемками одноковшовыми экскаваторами для ввода траншейных экскаваторов).



а



б



в



г

Рис. 4.6. Траншейные экскаваторы:
а – цепной многоковшовый; *б* – цепной с резцами;
в – роторный ковшовый; *г* – роторный фрезерный

Для эффективного использования траншейных экскаваторов при разработке грунтов различной крепости и рытья траншей разной глубины они должны иметь многоступенчатое (или лучше бесступенчатое) регулирование скорости их перемещения.

Поскольку траншейные экскаваторы работают на разных грунтах и при различных поперечных сечениях траншеи (используя зубья-уширители), рабочему органу желательно иметь не менее двух-трех скоростей.

На максимальной скорости рабочий орган разрабатывает грунт невысокой крепости, на промежуточной – однородные грунты средней и высокой крепости (в том числе мерзлые), на наименьшей – грунты с твердыми включениями. Рабочие скорости передвижения траншейных экскаваторов назначаются из условия обеспечения всего диапазона изменений скоростей передвижения.

Скорость движения копания рабочего органа и скорость подачи (т. е. передвижения траншейного экскаватора) подбирают такими, чтобы независимо от глубины траншей обеспечивалось максимальное заполнение ковшей, поэтому в современных траншейных экскаваторах рабочая скорость их передвижения бесступенчато регулируется в широком диапазоне (в зависимости от физико-механических свойств грунтов). Она составляет:

для ЭТЦ 5...800 м/ч;
ЭТР 10...500 м/ч.

Для получения таких скоростей трансмиссии ходовых устройств оборудуют гидромеханическими ходоуменьшителями.

Траншейные экскаваторы используют для работы в однородных грунтах I–IV категорий. Крупные каменистые включения приводят к частым отказам, простоям и дополнительным затратам на ремонтно-восстановительные работы.

Дополнительное рабочее оборудование траншейных экскаваторов. При прокладке траншей в обрушающихся грунтах используют ножевые, тросовые и цепные откосообразователи, а при рытье каналов – винтовые и плужные. Ножевые откосообразователи, устанавливаемые на траншейных роторных экскаваторах, представляют собой наклоненные к вертикали ножи, неподвижно закрепленные с обеих сторон ротора. Угол их установки не превышает угла, при котором откос траншеи сохраняет устойчивость к обрушению.

Траншейные цепные экскаваторы оборудуются двумя активными откосообразователями (по одному с каждой стороны траншеи), представляющими собой цепи (1) со сварными звеньями, в каждом из которых закреплен резец, или тросы с такими резцами (рис. 4.7). Каждая цепь верхним концом закреплена на коромысле (2), расположенном над траншеей и качающемся относительно рамы рабочего органа, нижним концом – на

пальце, установленном на торце натяжного барабана с эксцентриситетом относительно оси его вращения. При вращении барабана палец вынуждает цепь двигаться вверх-вниз, пропиливая в грунте откос. Грунт, срезанный с откосов, сползает на дно траншеи, откуда выносятся на поверхность ковшами или скребками.

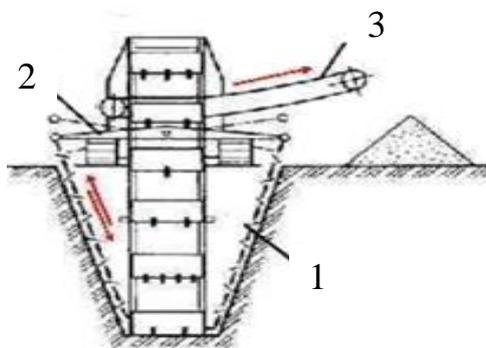


Рис. 4.7. Схема цепного траншейного экскаватора, оборудованного откосниками и отвальным конвейером:
1 – откосник; 2 – коромысло; 3 – конвейер

Шнековые и плужные откосообразователи устанавливаются на шнеко-роторных и плужно-фрезерных каналокопателях соответственно. Они также образуют наклонные стенки выемок, а срезанный грунт подают на ротор.

Зачистное устройство (см. рис. 4.6в) представляет собой пассивный рабочий орган в виде клина с заостренной передней гранью, который, двигаясь непосредственно за ротором или цепью, прижимается к дну и откосам выемки, срезает остающиеся неровности и подгребает срезанный грунт к ковшам или скребкам основного рабочего органа.

Для выноса разработанного грунта в сторону от траншеи на экскаваторах непрерывного действия применяются ленточные, скребковые, винтовые конвейеры, а также отвалы и грунтометатели. Наибольшее распространение получили прямые, криволинейные и складные ленточные конвейеры (рис. 4.8; 4.9), которые могут использоваться для отсыпки грунта в любую сторону от выемки. Складные двух- или трехсекционные ленточные конвейеры применяют, если из-за длины конвейера ширина экскаватора превышает допустимый транспортный габарит.



Рис. 4.8. Траншейный роторный экскаватор с криволинейным конвейером

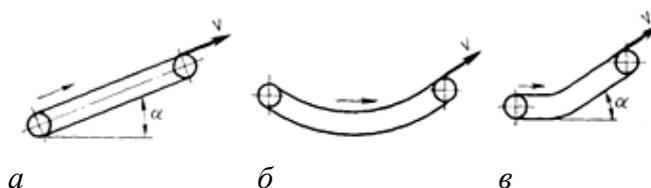


Рис. 4.9. Схемы конвейеров:
а – прямолинейного; б – криволинейного;
в – V-образного

Иногда траншейные скребковые экскаваторы оборудуют поперечным винтовым конвейером, расположенным у поверхности земли (рис. 4.10). Грунт, извлекаемый на дневную поверхность скребками, сдвигается витками конвейера в сторону до того, как он успеет осыпаться обратно в выемку. Фрезерные экскаваторы для этой же цели оборудуют отвалами.

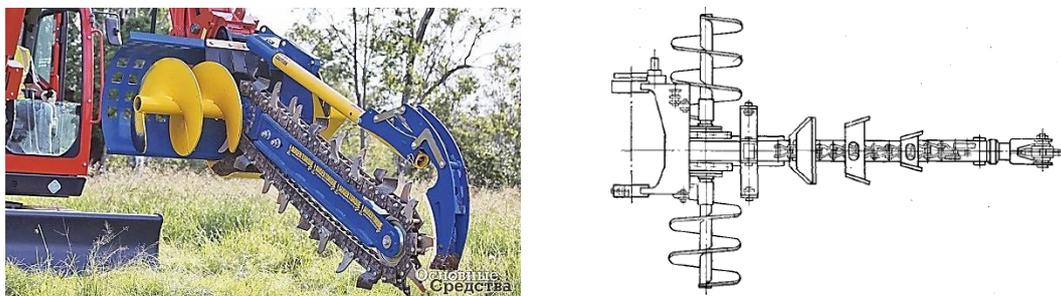


Рис. 4.10. Рабочее оборудование скребкового траншейного экскаватора с поперечным винтовым конвейером

Для удаления извлеченного из забоя грунта могут использовать грунтometатель, представляющий собой барабан с радиальными лопастями, вращающийся внутри кожуха (рис. 4.11). Грунт подается в область, расположенную около оси вращения барабана, и разгоняется лопастями до скорости, при которой центробежная сила прижимает грунт к кожуху и через направляющий аппарат отбрасывает его в сторону от траншеи. Направляющий аппарат внешне похож на патрубок, изменяя угол наклона которого к горизонту, можно регулировать дальность отбрасывания грунта.

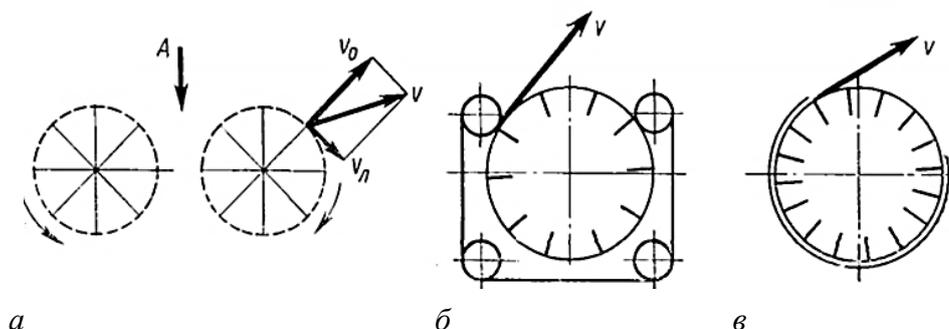


Рис. 4.11. Типы роторных грунтometателей:
a – лопастной; *б* – барабанный с подвижным кожухом; *в* – то же, с неподвижным

Практическое занятие «Технологические расчеты многоковшовых траншейных экскаваторов»

Цели и задачи занятия: изучить конструкцию и основные технико-эксплуатационные параметры многоковшового траншейного экскаватора; подобрать экскаватор по параметрам траншеи; определить производительность экскаватора и мощность, затрачиваемую на копание, подъем в зону

разгрузки и перемещение грунта транспортером, а также на передвижение экскаватора.

Методические указания

В соответствии с вариантом задания, выданным преподавателем, выписываются исходные данные для выполнения работы.

По заданной глубине и ширине траншеи находим экскаватор по табл. 4.2 или 4.3. Выбирая экскаватор, следует исходить из условия, что он должен обеспечить рытье траншей не менее заданной глубины и ширины.

Определяем техническую производительность экскаватора, м³/ч:

$$\Pi_{\text{тех}} = 3,6 \frac{q k_{\text{н}}}{k_{\text{р}}} \cdot n_{\text{к}},$$

где 3,6 – коэффициент перевода из литров в кубические метры и из секунд в часы; q – вместимость ковша, л (табл. 4.2 или 4.3); $k_{\text{н}}$ и $k_{\text{р}}$ – коэффициент наполнения ковша и разрыхления грунта в ковше соответственно; $n_{\text{к}}$ – количество ковшей, разгружаемых в секунду.

Количество ковшей, разгружаемых в секунду, $n_{\text{к}}$:

для *цепных* траншейных экскаваторов с ковшовым рабочим органом

$$n_{\text{к}} = \frac{g_{\text{ц}}}{l},$$

где $g_{\text{ц}}$ – скорость цепи, м/с (табл. 4.3); l – шаг ковшей (расстояние между ковшами на цепи), м (табл. 4.3);

для *роторных* траншейных экскаваторов

$$n_{\text{к}} = n_{\text{р}} \cdot m,$$

где $n_{\text{р}}$ – частота вращения ротора, с⁻¹ (табл. 4.2); m – число ковшей на роторе (табл. 4.2).

Таблица 4.2. Техническая характеристика роторных траншейных экскаваторов

| Показатель | Марка экскаватора | | | | | |
|--|-------------------|----------|------------|----------|----------|-------------|
| | ЭТР-162 | ЭТР-223 | ЭТР-254 | ЭТР-224 | ЭТР-204 | ЭТР-253 |
| l | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Ширина траншеи, м | 0,8 | 1,5 | 1,8/2,1 | 0,85 | 1,2 | 1,8/2,1/2,5 |
| Глубина траншеи максимальная, м | 1,6 | 2,2 | 2,5 | 2,2 | 2,0 | 2,5 |
| Базовая машина (марка) | ДТ-75 | Т-10М | К-702 | Т-10М | Т-130Г | ДЭТ-250 |
| Мощность двигателя, л. с. | 75 | 180 | 350 | 180 | 160 | 350 |
| Наибольшая производительность, м ³ /ч | 300 | 650 | 1 200 | 600 | 650 | 1 200 |
| Диапазон рабочих скоростей, м/ч | 5...308 | 10...300 | 12...1 210 | 10...300 | 10...300 | 0...309 |

Окончание табл. 4.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--|--------|---------|--------|---------|-------------|--------|
| Диаметр ротора по концам зубьев ковшей, м | 2,9 | 3,83 | 4,4 | 3,83 | 3,55 | 4,5 |
| Число оборотов ротора, об/мин | 10,5 | 7,8/9,6 | 7,66 | 7,2/9,0 | 7,8/9,8 | 7,4 |
| Количество ковшей, шт. | 10 | 14 | 24 | 15 | 14 | 14 |
| Геометрическая емкость ковша, л | 70 | 160 | 148 | 85 | 140 | 250 |
| Длина транспортера | 2,8 | 2,16 | 3,6 | 3,6 | 4,0 | 4,5 |
| Скорость ленты транспортера, м/с | 4,1 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 3,4/4,3/5,4 | 4,5 |
| Масса, кг | 12 800 | 33 500 | 49 500 | 31 000 | 29 400 | 59 500 |
| Удельное давление на грунт, кг/см ² | 0,7 | 0,68 | 0,84 | 0,5 | 0,6 | 0,8 |

Таблица 4.3. Техническая характеристика цепных траншейных экскаваторов

| Показатель | Марка экскаватора | | | |
|--|-------------------|----------|---------|---------|
| | ЭТЦ-202 | ЭТЦ-354 | ЭТЦ-402 | БТМ-ТМГ |
| Ширина траншеи, м | 0,5 | 0,8/1,1 | 0,8/1,2 | 0,5/1,1 |
| Глубина траншеи максимальная, м | 2,0 | 3,5 | 4,0 | 1,5 |
| Мощность двигателя, л. с. | 55 | 54 | 110 | 420 |
| Производительность максимальная, м ³ /ч | 60 | 155 | 175 | 350 |
| Диапазон рабочих скоростей, м/ч | 15...400 | 14...135 | 0...154 | 0...200 |
| Геометрическая емкость ковша, л | 23 | 35 | 68 | 45 |
| Шаг ковшей, м | 0,95 | 0,76 | 0,8 | 0,38 |
| Скорость ковшовой цепи, м/с | 1,18 | 1,17 | 1,12 | 0,8/1,2 |
| Число ковшей, шт. | 12 | 21 | 22 | 18 |
| Длина транспортера | 2,2 | 2,8 | 3,2 | 3,2 |
| Скорость ленты транспортера, м/с | 3,2 | 4,1 | 3,8 | 2,8 |
| Масса, кг | 8 500 | 12 260 | 17 000 | 30 000 |
| Удельное давление на грунт, кг/см ² | 0,3 | 0,58 | 0,6 | 0,87 |

Оптимальную скорость $v_{\text{опт}}$ находим следующим образом:

$$v_{\text{опт}} = \Pi_{\text{тех}} / (B_3 \cdot H),$$

где B_3 – ширина траншеи по выбранному экскаватору, м; H – заданная глубина траншеи, м.

Рабочую скорость передвижения экскаватора выбираем согласно его технической характеристике (см. табл. 4.2 или 4.3). Эта скорость равна расчетной оптимальной (если она укладывается в диапазон рабочих скоростей) или принимается максимальной для данного экскаватора (если выходит за указанный диапазон).

Для обеспечения заданной производительности экскаватора при выбранных скоростях передвижения и вращения рабочего органа

необходимо определить мощности, затрачиваемые на копание и подъем грунта в зону разгрузки, его транспортирование транспортером, а также на передвижение экскаватора. При этом должно соблюдаться условие

$$\sum N \leq N_d,$$

где $\sum N$ – суммарная мощность рабочих и вспомогательных механизмов; N_d – мощность двигателя.

Вышеназванная суммарная мощность не должна быть больше мощности силовой установки. Загрузка двигателя должна составлять 75...80 % от N_d . В итоге эта мощность выглядит следующим образом:

$$\sum N = N_k + N_{\text{п}} + N_{\text{гр}} + N_x,$$

где N_k – мощность копания грунта, л. с.; $N_{\text{п}}$ – мощность, затрачиваемая на подъем грунта в зону разгрузки, л. с.; $N_{\text{гр}}$ – мощность, затрачиваемая на вынос грунта ленточным транспортером, л. с.; N_x – мощность, необходимая для передвижения экскаватора, л. с.

Мощность копания грунта

$$N_k = \frac{\Pi_{\text{тех}} k}{270 \cdot 10^3 \eta_p},$$

где k – удельное сопротивление копанию, кг/м²; $\eta_p = 0,6$ – КПД ротора или цепного рабочего органа.

Мощность на подъем грунта в зону разгрузки $N_{\text{п}}$, л. с.:
для роторных экскаваторов

$$N_{\text{п}}^{\text{р}} = \frac{\gamma \cdot (D - 0,5 \cdot H) \cdot \Pi_{\text{тех}}}{270 \cdot 10^3 \cdot \eta_{\text{п}} \cdot k_p};$$

цепных экскаваторов

$$N_{\text{п}}^{\text{ц}} = \frac{\gamma \cdot (L_{\text{к.р}} \cdot \sin \alpha - 0,5 \cdot H) \cdot \Pi_{\text{тех}}}{270 \cdot 10^3 \cdot \eta_p \cdot k_p},$$

где γ – плотность грунта, т/м³; D – диаметр ротора по концам зубьев ковшей, м; $L_{\text{к.р}}$ – длина ковшовой рамы или расстояние между осями ведущей и натяжной звездочек ковшовой цепи, м ($L_{\text{к.р}} = \frac{z \cdot t}{2}$, где z – количество ковшей на рабочем органе, шт.; t – шаг ковшей, м); $\alpha = 45^\circ$ – средний угол наклона ковшовой цепи; $\eta_p = 0,7$ – КПД привода ротора или ковшовой цепи; k_p – коэффициент разрыхления грунта.

Мощность, затрачиваемая на вынос грунта ленточным транспортером:

$$N_{\text{гр}} = \left\{ \left[t_p \cos \alpha_1 (\mu + \mu_p) + \frac{L_1 - l_p}{v_T} (\mu_p \cos \alpha_2 + \sin \alpha_2) \right] \frac{\gamma \Pi_{\text{тех}}}{k_p} + 2q_L L_1 \mu_p \right\} \frac{V_T}{270 \cdot 1000 \eta_T},$$

где t_p – время разгона грунта на ленте транспортера; $\alpha_1 = 0,7^\circ$ – среднее значение угла наклона участка разгона грунта; $\alpha_2 = 24^\circ$ – среднее значение угла наклона участка равномерного движения грунта на транспортере;

$\mu = 0,7$ – коэффициент трения грунта о ленту; $\mu_p = 0,05$ – приведенный коэффициент сопротивления движению ленты по роликам; $l_p = 1,0$ – длина пути разгона грунта, м; L_1 – длина участка транспортера, загруженного грунтом, м; v_T – скорость движения ленты транспортера, м/с; $q_l = 65$ – среднее значение массы одного погонного метра ленты, кг/м; $\eta_T = 0,6$ – КПД привода транспортера.

Длина участка транспортера, загруженного грунтом, м:

$$L_1 = L_{\text{тр}} - l_p - 0,3.$$

Мощность, необходимая для передвижения экскаватора:

$$N_x = \frac{G \cdot (f + i) \cdot P_{\text{тех}}}{270\,000 \cdot B_{\text{э}} \cdot H \cdot \eta_x},$$

где G – масса экскаватора, кг; $f = 0,1$ – среднее значение коэффициента сопротивления передвижению; $i = 0,01$ – уклон траншеи; $\eta_x = 0,7$ – КПД привода механизма передвижения; H – глубина траншеи, м (по исходным данным).

Если суммарная расчетная мощность больше или на 30 и более процентов меньше установленной мощности двигателя экскаватора (см. табл. 4.2 или 4.3), то повторяем расчет.

Выписываем основные технико-эксплуатационные параметры экскаватора. Вычерчиваем схему конструкции экскаватора с обозначением и назначением основных узлов.

Контрольные вопросы

1. Для чего предназначены экскаваторы непрерывного действия? Какими рабочими органами их оборудуют?
2. Что представляет собой классификация экскаваторов непрерывного действия?
3. Расскажите о назначении траншейных экскаваторов, их рабочих органах, главном параметре траншейного экскаватора. На базе каких машин изготавливают траншейные экскаваторы? Какие устройства применяют для отсыпки грунта в бруствер?
4. Опишите устройство роторных траншейных экскаваторов, типы конвейеров роторных траншейных экскаваторов. Каково назначение зачистного щита?
5. Каково устройство цепных траншейных экскаваторов? Назовите их рабочие органы. Как перемещается грунт к отвалообразователю по выходе из траншеи?
6. Для чего применяют роторные и цепные экскаваторы радиального копания? Как они устроены и как работают?

5. МАШИНЫ ДЛЯ СВАЙНЫХ РАБОТ И БЕСТРАНШЕЙНОЙ ПРОКЛАДКИ ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

5.1. Копры и копровое оборудование

При устройстве свайных фундаментов зданий и сооружений различного назначения применяют следующие виды свай: забивные железобетонные и металлические; забивной металлический и железобетонный шпунт; буронабивные железобетонные сваи. Способы погружения свай: ударный, вибрацией, вдавливанием, завинчиванием, буронабивной, комбинированные.

Для погружения готовых свай и шпунта применяют сваепогружающие агрегаты, копры и копровое оборудование со свайными погружателями ударного, вибрационного, виброударного, вдавливающего и вибро-вдавливающего действия и для завинчивания свай. Некоторые виды оборудования (сваевыдергиватели) используют также для извлечения из грунта ранее погруженных элементов.

Копры выполняются передвижными на рельсоколовом ходовом устройстве и безрельсовыми (рис. 5.1). Все копры разделяются на *универсальные* (имеют на полноповоротной платформе оборудование для погружения свай с изменяемым вылетом, продольным и поперечным наклоном копровой мачты для погружения вертикальных и наклонных свай); *полууниверсальные* (имеют на поворотной платформе оборудование для погружения вертикальных свай или только наклонных свай); *простые* (их используют для погружения вертикальных свай, не обладают механизмами поворота платформы, изменения вылета и рабочего наклона копровой мачты) и др.

Рельсовые копры с электрическим и электрогидравлическим приводом передвигаются по рельсовому пути. В их конструкциях используются сборочные единицы и механизмы строительных башенных кранов. Обычно применяют универсальные и полууниверсальные копры.

Самоходные копровые установки (рис. 5.2) представляют собой навесное и сменное копровое оборудование, смонтированное на гусеничных тракторах, экскаваторах и грузовых автомобилях. Такие установки обладают энергетической автономностью, полной механизацией вспомогательных операций, достаточными мобильностью и маневренностью, высокими технико-экономическими показателями.

Гидравлический копер (рис. 5.3) смонтирован на гидравлическом экскаваторе 13 пятой размерной группы, на котором вместо экскавационного оборудования смонтирована решетчатая стрела 7 с гидроцилиндрами 12 подъема и опускания. На стрелу навешена копровая мачта 8 с оголовком 11 и нижней опорой 1. Установка мачты в заданное положение обеспечивается гидроцилиндром 14. На копровой мачте смонтированы грузовая лебедка 9, крюковая подвеска 10, лебедка 5 перемещения гидромолота 6, шнековый бур 3 с приводом 4 для бурения лидерных скважин под сваи 2 в прочных и мерзлых грунтах.

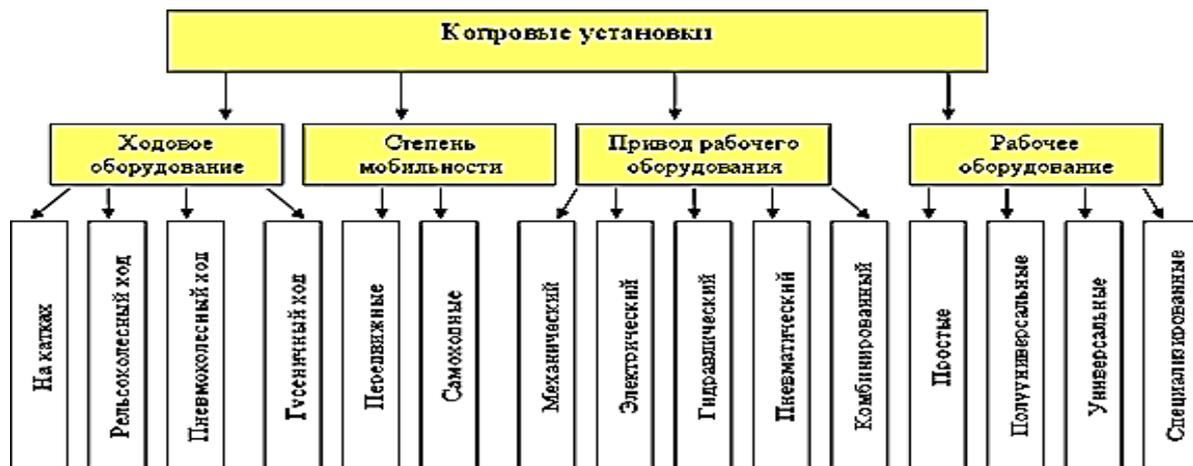


Рис. 5.1. Классификация копрового оборудования



Рис. 5.2. Копровые установки:
а – на тракторе; *б* – на экскаваторе; *в* – на автомобиле

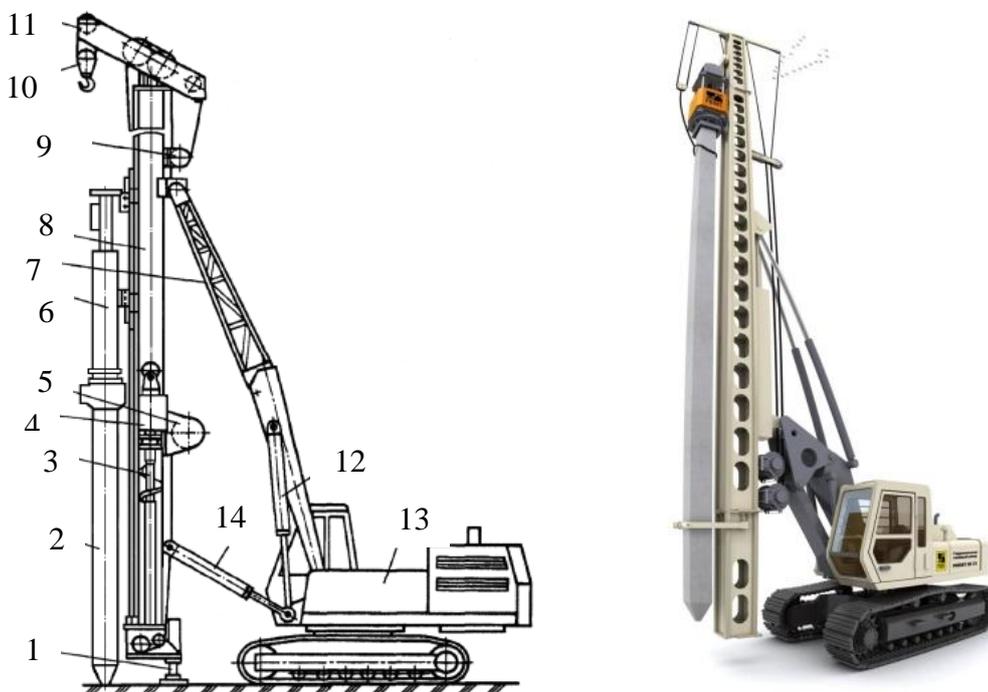


Рис. 5.3. Гидравлический копер: 1 – нижняя опора; 2 – сваи; 3 – шнековый бур; 4 – привод для бурения лидерных скважин; 5 – лебедка перемещения гидромолота; 6 – гидромолот; 7 – решетчатая стрела; 8 – копровая мачта; 9 – грузовая лебедка; 10 – крюковая подвеска; 11 – оголовок; 12, 14 – гидроцилиндры; 13 – гидравлический экскаватор

Гидравлические копры, по сравнению с рассмотренными выше навесными с дизель-молотами, имеют более высокие производительность, маневренность, транспортабельность и безопасность работы.

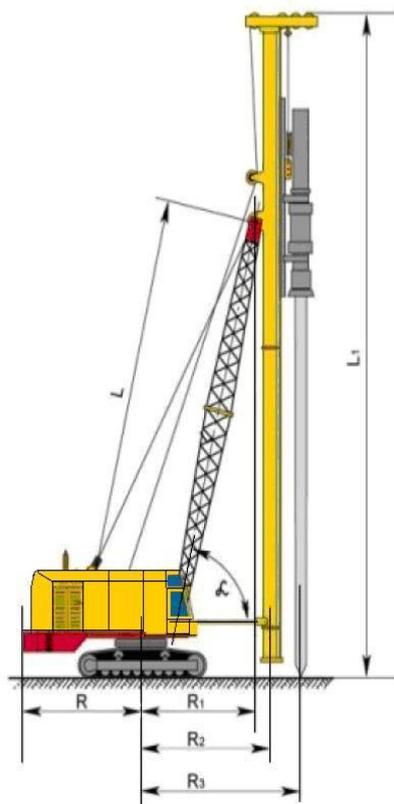


Рис. 5.4. Основные параметры копровых установок

Основными параметрами копров и копровых установок являются (рис. 5.4):

1) грузоподъемность Q (наибольшая суммарная масса подвешенной сваи, наголовника и сваепогрузателя);

2) высота мачты L_1 (расстояние от опорной плоскости копра до оси верхнего грузового блока);

3) вылет мачты R_3 (расстояние от оси вращения поворотной платформы копра до вертикальной оси погружаемой сваи);

4) продольный установочный наклон мачты α (угол между продольной осью мачты и вертикалью в продольной плоскости симметрии копра);

5) поперечный установочный наклон β (угол между продольной осью мачты и вертикалью в поперечной плоскости симметрии копра);

6) колея K ходового устройства копра;

7) общая масса m копра с противовесом.

Мачты копров составлены из нескольких унифицированных секций, что позволяет при необходимости менять их длину.

5.2. Свайные погрузатели

Свайные погрузатели являются сменным оборудованием копров и самоходных (на базе самоходных машин) копровых установок, предназначенных для подтаскивания и установки сваи под требуемым углом наклона в заданной точке погружения, погрузателя на сваю, направления сваепогрузателя и сваи при погружении, а также перемещения в зоне производства работ.

Технологический цикл погружения готовых свай включает захват и установку свай в проектное положение, погружение свай в грунт до проектной отметки, перемещение сваебойной установки к месту погружения очередной сваи. Свайные погрузатели разнообразны по конструкции, виду потребляемой энергии и принципу работы (рис. 5.5). Наибольшее распространение получили свайные погрузатели ударного действия, к которым относятся свайные молоты.

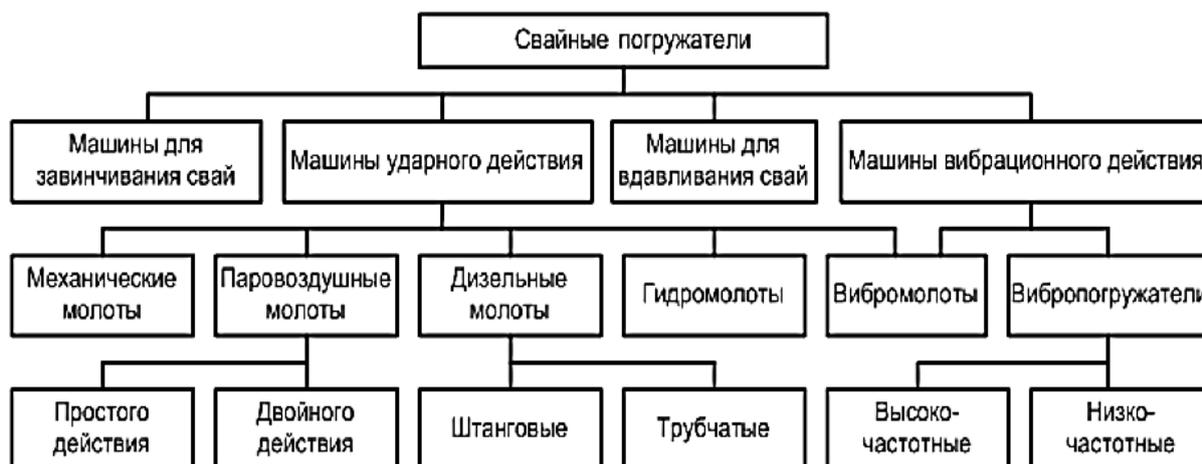


Рис. 5.5. Классификация свайных погружателей

5.2.1. Свайные погружатели ударного действия

Свайные погружатели ударного действия (молоты) состоят из массивной ударной части, движущейся возвратно-поступательно относительно направляющей конструкции в виде цилиндра (трубы), поршня со штоком, штанг и т. п. Ударная часть молота наносит чередующиеся удары по головке свай и погружает сваю в грунт. Направляющая часть молота снабжена устройством для закрепления и центрирования молота на свае.

Паровоздушные молоты приводятся в действие энергией пара или сжатого до 0,5...0,7 МПа воздуха. Различают молоты *одностороннего* действия (энергия привода используется только для подъема ударной части, совершающей затем рабочий ход под действием собственного веса) и *двустороннего* (энергия, создаваемая паром или сжатым воздухом, сообщает ударной части дополнительное ускорение при рабочем ходе, в результате чего увеличивается энергия удара и сокращается продолжительность рабочего цикла). Ударной частью паровоздушных молотов *одностороннего действия* служит чугунный корпус массой 1 250...6 000 кг, направляющей – поршень со штоком, опирающимся на головку свай.

Дизель-молоты (прямодействующие двигатели внутреннего сгорания, работающие по принципу двухтактного дизеля) получили преимущественное распространение в строительстве благодаря энергетической автономности, мобильности, простой и надежной конструкции и высокой производительности.

По типу направляющих для ударной части дизель-молоты делятся на трубчатые и штанговые. У первых массивный подвижный поршень (ударная часть) перемещается в неподвижной трубе (цилиндре); у вторых – наоборот, т. е. ударная часть в виде массивного подвижного цилиндра перемещается по двум параллельным штангам и насаживается на поршень. Распыление дизельного топлива в камере сгорания у штанговых молотов – форсуночное, а у трубчатых – ударное. Дизель-молоты подвешиваются к копровой стреле с помощью захватов и подъемно-сбрасывающего устрой-

ства («кошки»), предназначенного для подъема и пуска молота и прикрепленного к канату лебедки копровой установки.

Различают легкие (масса ударной части до 600 кг), средние (до 1 800 кг) и тяжелые (свыше 2 500 кг) дизель-молоты.

Штанговый дизель-молот (рис. 5.6а) состоит из основных узлов: поршневого блока с шарнирной опорой; ударной части – подвижного рабочего цилиндра; двух направляющих штанг с траверсой; механизма подачи топлива и захвата («кошки»). Эти дизель-молоты обладают малой энергией удара (25...35 % потенциальной энергии ударной части). Их применяют для забивки легких железобетонных и деревянных свай в слабые и средней плотности грунты, стальных труб и шпунта при сооружении защитных шпунтовых стенок траншей, котлованов и каналов. Выпускаются с массой ударной части 240 и 2 500 кг, развивают энергию удара соответственно 3,2 и 20 кДж при частоте ударов 50...55 в минуту и степенях сжатия 16 и 25.



а



б

Рис. 5.6. Дизель-молоты: а – штанговый; б – трубчатый

Трубчатые дизель-молоты (см. рис. 5.6б) предназначены для забивки в грунт преимущественно железобетонных свай массой 1,2...10 т, могут работать при температуре окружающего воздуха от +40 °С до –40 °С. При температуре ниже –25 °С молоты при запуске подогревают.

Все трубчатые дизель-молоты выполнены по единой конструктивной схеме, максимально унифицированы и состоят из основных узлов: ударной части – поршня с компрессионными кольцами, сменного рабочего цилиндра и направляющей трубы, шабота, по которому наносит удар поршень,

топливной и масляной систем, пускового устройства – «кошки» – с подъемно-сбрасывающим механизмом.

Трубчатые молоты более эффективны, чем штанговые, так как при равной массе ударной части могут забивать более тяжелые (в 2...3 раза) сваи за один и тот же отрезок времени. Штанговые дизель-молоты имеют низкие энергетические показатели и невысокую долговечность (в 2 раза меньшую, чем у трубчатых), поэтому производство их сокращается и они будут полностью заменены более совершенными трубчатыми.

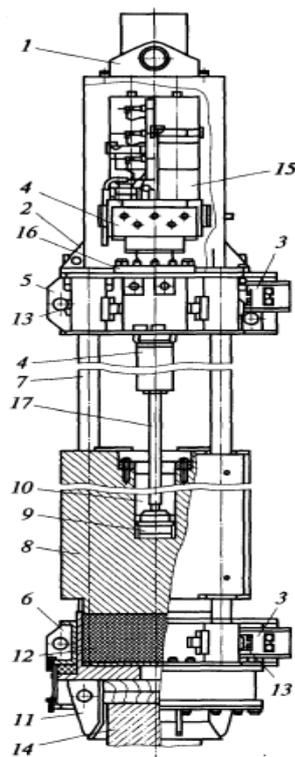
Трубчатые дизель-молоты развивают энергию удара 40...160 кДж при высоте подброса ударной части 3 м и степени сжатия 15. Число ударов в минуту 42.

Общим недостатком дизель-молотов является большой расход энергии на сжатие воздуха (50...60 %), поэтому сравнительно небольшая мощность расходуется на забивку сваи. Массу ударной части дизель-молота подбирают в зависимости от массы погружаемой сваи и типа применяемого молота. Так, масса ударной части штангового дизель-молота должна быть не менее 100...125 %, а трубчатого – 40...70 % от массы сваи, погружаемой в грунт средней плотности.

В гидравлических молотах подъем ударной части производится регулируемым давлением жидкости. Она подается гидронасосом в пространство под поршнем основного гидроцилиндра, соединенного штоком с ударной частью (рис. 5.7).



а



б

- 1 – проушина;
- 2 – кожух;
- 3 – захват;
- 4 – гидродвигатель;
- 5 – корпус верхний;
- 6 – корпус нижний;
- 7 – штанга;
- 8 – ударная часть (ударник);
- 9 – нижняя опора;
- 10 – труба;
- 11 – наголовник;
- 12 – амортизатор;
- 13 – клин;
- 14 – свая;
- 15 – аккумулятор;
- 16 – верхняя опора;
- 17 – шток

Рис. 5.7. Молот гидравлический: а – общий вид; б – конструктивная схема

По принципу работы различают гидромолоты простого и двойного действия. У первых подъем ударной части происходит под воздействием рабочей жидкости в гидросистеме, а рабочий ход – под влиянием собственной силы тяжести ударника; у вторых воздействие рабочей жидкости на ударную часть молота осуществляется в течение полного цикла работы.

Характерными особенностями гидромолотов являются регулирование силы и частоты ударов, более длительное действие ударного импульса, синхронная работа нескольких молотов, возможность использования молотов для забивки свай в воде, экологичность. Наряду с этим отметим, что гидромолоты обладают меньшей энергией удара по сравнению с дизель-молотами той же массы.

5.2.2. Свайные погружатели вибрационного и виброударного действия

Вибропогружатели и вибромолоты – это машины вибрационного типа, в приводе которых использован механический дебалансный вибропогружатель направленного действия (рис. 5.8). В этом погружателе дебалансные валы вращаются через зубчатые или ременные передачи от электрических или гидравлических двигателей. Вибропогружатели сообщают погружаемому (или извлекаемому) в грунт элементам (свае, шпунту, трубе) направленные вдоль их оси колебания определенной частоты и амплитуды, благодаря чему резко снижается коэффициент трения между грунтом и поверхностью внедряемого (извлекаемого) элемента.

Вибропогружатели и вибромолоты применяются для погружения в песчаные и супесчаные водонасыщенные грунты металлического шпунта, двутавровых балок, труб, железобетонных свай и оболочек, а также извлечения их из грунта. Составные части вибропогружателя: электродвигатель, вибровозбудитель и наголовник. Жесткое соединение вибропогружателя с погружаемым (извлекаемым) элементом обеспечивает сменный наголовник с механическим или гидравлическим захватом.

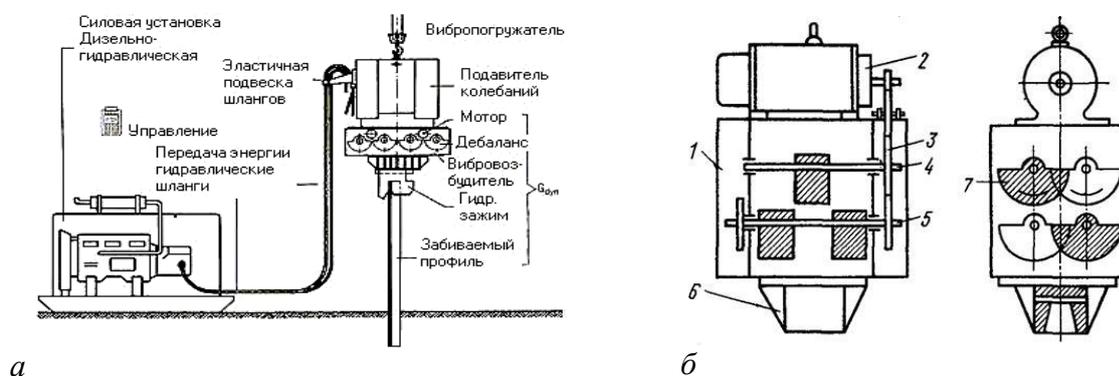


Рис. 5.8. Вибропогружатели свай: *а* – общий принцип работы; *б* – схема вибропогружателя типа ВП-1: 1 – корпус вибратора; 2 – электродвигатель; 3 – клиноременная или зубчатая передача; 4 – верхняя пара валов; 5 – нижняя пара валов; 6 – наголовник; 7 – дебалансовые шайбы-эксцентрики

Главный параметр вибропогружателей – установленная мощность электродвигателей. Другие основные параметры: вынуждающая сила, статический момент дебалансов, амплитуда и частота колебаний. Различают низко- (5...12 Гц) и высокочастотные (30...43 Гц) вибропогружатели.

Вибропогружатели в 2,5...3 раза производительнее паровоздушных и дизельных молотов; они удобны в управлении и не разрушают погружаемые элементы. Основные недостатки: непригодность для погружения свай (шпунта) в связные маловлажные грунты и сравнительно небольшой срок службы электродвигателей.

Вибромолоты (рис. 5.9) сообщают погружаемым элементам как вибрационные, так и ударные импульсы и обеспечивают эффективное погружение в плотные грунты металлического шпунта длиной до 13 м, металлических свай и труб длиной до 20 м. Конструкции вибромолотов имеют мало различий. Некоторые типы молотов могут работать как в ударном, так и в безударном режиме в зависимости от жесткости упругой системы, параметров вибратора, сопротивления грунта погружению и т. д.

Вибромолоты задействуют также для погружения железобетонных свай в однородные водонасыщенные грунты и извлечения из грунта труб, свай и шпунта, для чего используют специальные наголовники, у которых наковальню располагают над ударной частью, а вибромолот переворачивают на 180°.

Принцип работы вибромолота: при вращении дебалансов ударник колеблющегося вибровозбудителя наносит частые (до 24 Гц) удары по наковальне, установленной свободно на нижней плите молота и передающей удары через наголовник непосредственно погружаемому элементу. Режим работы вибромолота (энергия и частота ударов) регулируют в процессе его работы путем изменения зазора между ударником и наковальней, добиваясь в каждом отдельном случае наибольшей производительности машины.

Вибромолоты характеризуются теми же параметрами, что и вибропогружатели, а также энергией и частотой ударов.

Недостатками вибрационного метода являются необходимость бурения лидерных скважин и невысокая эффективность в плотных грунтах; относительно невысокая скорость работы; наличие вибрационных нагрузок на грунт, что затрудняет использование вибрационного метода в городской черте.

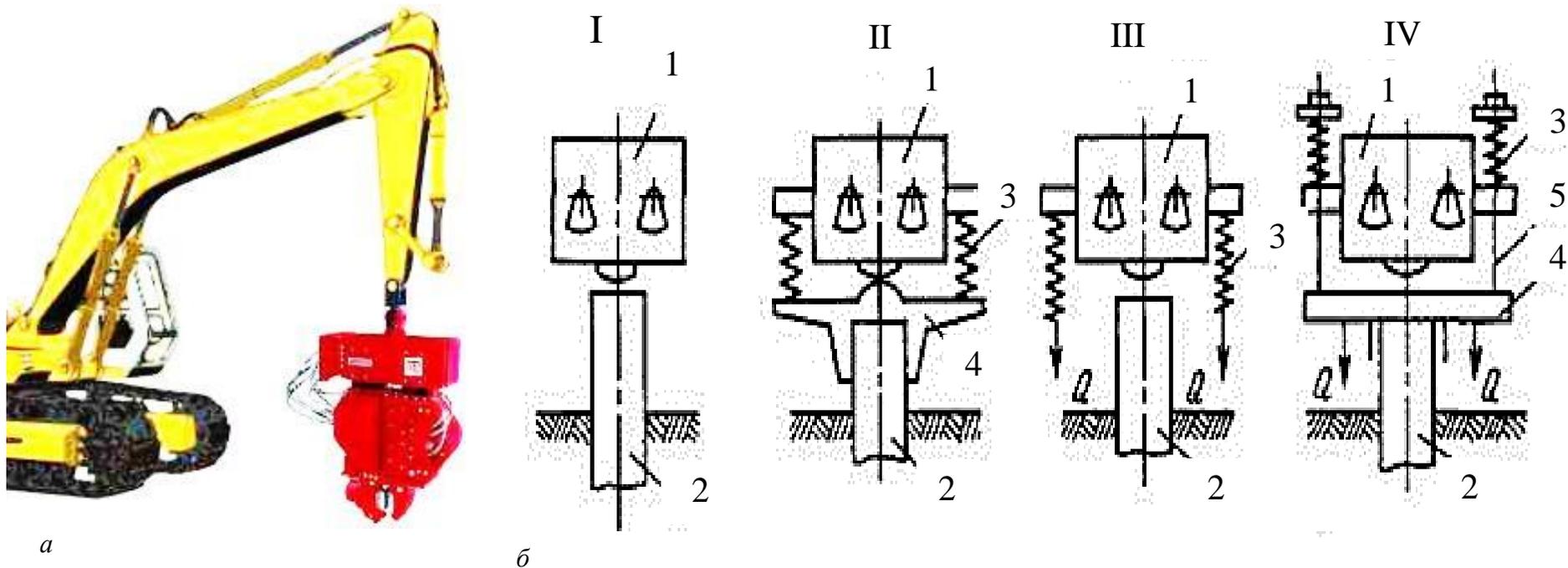


Рис. 5.9. Вибромолот: *a* – общий вид; *б* – варианты конструкции:
 I – свободно установленный молот; II – молот, жестко связанный со свайей;
 III и IV – молоты с дополнительным погружательным усилием;
 1 – вибропогружатель; 2 – свая; 3 – пружины; 4 – наголовник; 5 – жесткие связи;
 Q – дополнительное погружательное усилие

5.2.3. Свайные погружатели вдавливающего и завинчивающего действия

Метод вдавливания (задавливания) свай сочетает в себе высокую скорость работы и отсутствие каких-либо ударных или вибрационных нагрузок на грунты, что позволяет осуществлять работы в историческом центре города или на сложных грунтах. Технология устройства свайного поля применима на любом типе грунтов, кроме скальных. Недостатком этого метода является сравнительно высокая стоимость оборудования. К преимуществам технологии относятся отсутствие лидерных скважин, вибро- и ударных нагрузок на грунт и окружающие сооружения, очень высокая скорость работы.

Сваевдавливательная машина (рис. 5.10) состоит из основной рамы (на которой монтируются установка перемещения машины, крановая и сваевдавливательная установки) и грузовой рамы для навешивания анкерных грузов. Она имеет два крепления сваевдавливательной установки – центральное и боковое, что позволяет работать вблизи существующих зданий или в котловане, около его стенки.

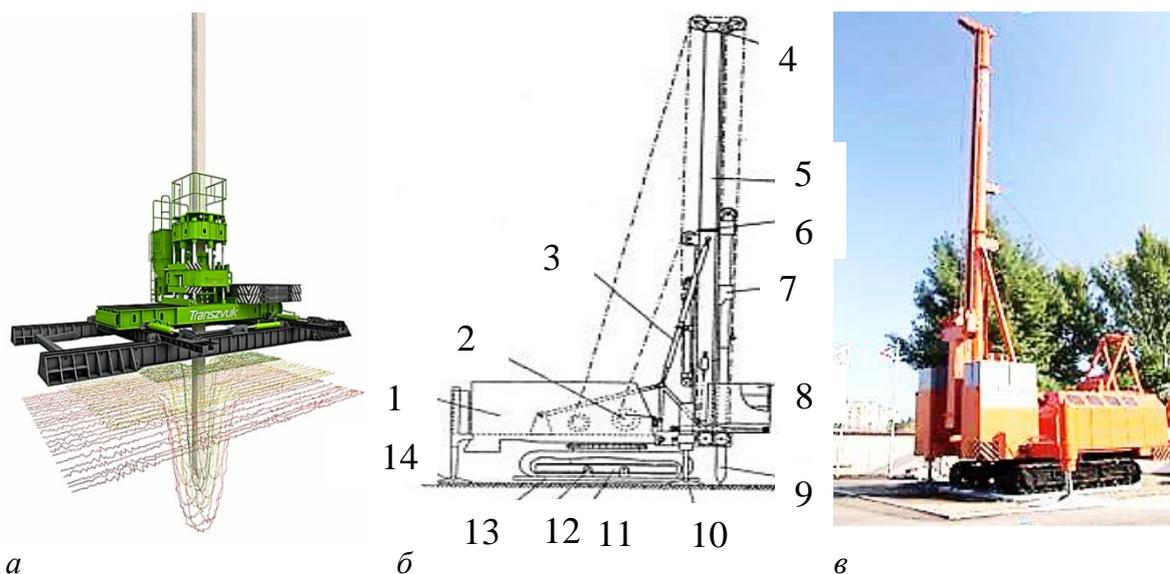


Рис. 5.10. Сваевдавливательные машины:

- a* – марки СО-450; *б* – схема устройства СВУ-В6: 1 – базовая машина; 2 – главная лебедка; 3 – гидроцилиндр раскоса; 4 – полиспастные блоки; 5 – портал; 6 – вдавливающий орган; 7 – наголовник; 8 – пригрузы; 9 – свая; 10 – передний аутригер; 11 – рама; 12 – катки; 13 – опорная плита; 14 – задний аутригер; *в* – общий вид СВУ-В6

Погружение свай методами вдавливания и вибродавливания в зимних условиях практически не производят вследствие большого повышения трудозатрат, стоимости и продолжительности производства свайных работ.

Погружение свай завинчиванием основано, соответственно, на завинчивании стальных (рис. 5.11а, б) и железобетонных свай со стальным наконечником с помощью мобильных установок, смонтированных на базе автомобилей или других самоходных средств и называемых кабестанами (рис. 5.11в). Метод применяют чаще всего при устройстве фундаментов под мачты линий электропередачи (рис. 5.11г), радиосвязи и других сооружений, где в достаточной мере могут быть использованы несущая способность винтовых свай и их сопротивление выдергиванию.



Рис. 5.11. Винтовые сваи:
 а – общий вид; б – схема устройства;
 в – кабестан; г – устройство фундаментов под мачты линий электропередачи

Стальные винтовые сваи также активно используют повсеместно там, где требуется большая скорость возведения фундамента. Фундаменты на винтовых сваях для зданий жилого назначения возводят чаще всего при строительстве в труднодоступных районах, в районах со сложным грунтом или на склонах и при дачном строительстве.

Применение винтовых свай обеспечивает эффективное, надежное закрепление фундамента глубокого и мелкого заглубления без нарушения естественной структуры грунта при полном исключении земляных работ и сохранении окружающей среды. Особое значение имеет возможность устройства фундаментов на винтовых сваях в вечномёрзлых грунтах, так как в этом случае нет необходимости проводить земляные работы, использовать бетон и т. д.

Винтовые сваи имеют лопасти-башмаки, диаметр которых в 2–3 раза превышает диаметр свай, что значительно (в 5–10 раз) увеличивает несущую и выдергивающую способности. Одно из важных достоинств таких свай – отсутствие динамических ударов и сотрясения грунта при их погружении вблизи строящихся зданий и сооружений. Погружение свай завинчиванием может производиться вертикально или наклонно под углом до 45° с помощью кабестанов или самоходных механизмов (рис. 5.12).

Рабочие операции при погружении свай методом завинчивания аналогичны операциям, выполняемым при погружении свай методами забивки или вибропогружения, только вместо установки и снятия наголовника при этом методе надевают и снимают металлическую оболочку (рис. 5.13).



Рис. 5.12. Машина МЗС-13

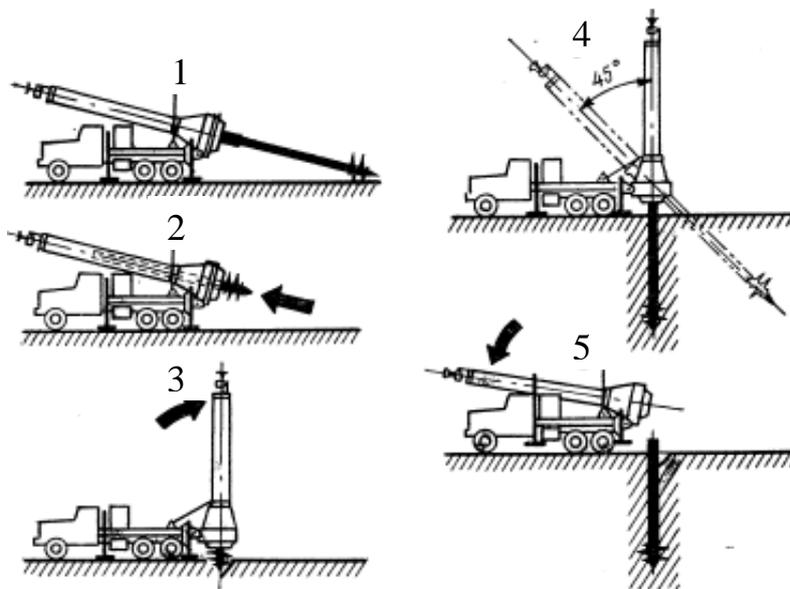


Рис. 5.13. Последовательность завинчивания свай:

- 1 – заправка свай в патрон; 2 – введение свай в направляющую трубу;
- 3 – установка направляющей трубы в рабочее положение;
- 4 – завинчивание свай в грунт; 5 – освобождение свай из патрона

Прижимное усилие в грунт при погружении свай на глубину 1...1,5 м должно быть минимальным, а затем его следует увеличивать так, чтобы за один оборот свая погружалась на величину шага винта; тогда она не будет буксовать.

Точность погружения свай завинчиванием может достигать ± 1 см по вертикали, а в плане – до ± 5 см. Производительность машины в смену составляет 14 свай длиной 6...8 м, диаметром 18...22 см.

По сравнению с забивкой вибропогружением и вдавливанием применение винтовых свай позволяет сократить продолжительность работ, уменьшить расход металла, других строительных материалов на 30...50 %.

Практическое занятие «Изучение конструкции и определение параметров дизельных молотов»

Цель и задачи занятия: изучить конструкции дизельных молотов, описать устройство и принцип их работы; начертить схему работы, определить энергию удара; к погружаемой свае подобрать тип молота и проверить его на соответствие коэффициенту применимости молота.

Методические указания

Выбор свайного молота

Исходные данные к заданию выдаются преподавателем. *Используя табл. 5.2–5.4, произвести ориентировочный выбор дизель-молота.*

Выбор молота для забивных свай производят по расчетной нагрузке на сваю, предусмотренной проектом, а также по массе сваи и ее длине (табл. 5.1).

Для определения оптимальных параметров молота, обеспечивающих эффективные режимы погружения свай, следует руководствоваться рекомендациями, приведенными ниже (указаны области рационального применения дизельных молотов).

Таблица 5.1. Ориентировочный выбор дизельных молотов

| Марка молота | Масса ударной части молота, кг | Рекомендуемые параметры молота | | | |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | Длина погружаемой сваи, м | | | |
| | | До 8 | 9...12 | 13...16 | 17...20 |
| | | Масса сваи предельная, т | | | |
| | | 1,8 | 2,7...3,7 | 3,6...4,9 | 6,2...8,0 |
| | | Несущая способность сваи, кН | | | |
| До 250 | 250...400 | 400...500 | > 600 | | |
| С-330А | 2 500 | + | + | – | – |
| С-995А | 1 250 | – | + | – | – |
| С-996А | 1 800 | – | + | + | – |
| С-1047 | 2 500 | – | – | + | – |
| С-1048 | 3 500 | – | – | + | + |

Граничные условия применимости различных типов молотов приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2. Условия использования дизель-молотов в зависимости от отношения массы ударной части молота к массе погружаемой сваи

| Тип и конструкция дизельного молота | Отношение массы ударной части молота к массе погружаемой сваи |
|-------------------------------------|---|
| Трубчатый | 0,6...0,9 |
| Штанговый | 1,25...1,5 |

Более точный выбор сваебойного молота производят по минимальной энергии одного удара и коэффициенту применимости молотов K_T (табл. 5.3).

Таблица 5.3. Зависимость K_T от материала свай

| Тип дизельного молота | Материал свай | | |
|-----------------------|---------------|--------|-------|
| | Ж/б | Дерево | Сталь |
| Трубчатый | 0,6 | 0,5 | 0,55 |
| Штанговый | 0,5 | 0,35 | 0,4 |

Минимальную энергию удара молота, кДж, определяют по формуле

$$E_{\text{мин}} = 0,045 \cdot N,$$

где 0,045 – размерный коэффициент, кДж/кН; N – расчетная (проектная) нагрузка на сваю, кН.

По полученному значению $E_{\text{мин}}$ выбирают ближайший тип дизельного молота ($E_M > E_{\text{мин}}$) и выписывают его технические характеристики (табл. 5.4). Принятый тип молота с расчетной энергией удара $E_M > E_{\text{мин}}$ должен удовлетворять условию

$$K = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{E_M} \leq K_T,$$

где K – коэффициент применимости молота, значение которого не должно превышать табличное (см. табл. 5.2), т/кДж; m_1 – масса молота, т; m_2 – масса свай (с наголовником), т; m_3 – масса наголовника, т ($m_3 = 0,05$ т).

При выборе молотов для забивки наклонных свай минимальную энергию удара молота $E_{\text{мин}}$ необходимо увеличить, умножив ее значение на коэффициент k_1 , приведенный ниже:

| | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|
| Наклон свай | 5 : 7 | 4 : 1 | 3 : 1 | 2 : 1 |
| k_1 | 1,1 | 1,15 | 1,25 | 1,4 |

Если расчетное значение K меньше табличного (см. табл. 5.2), то выбранный тип дизельного молота может быть использован для забивки указанных в задании свай.

Таблица 5.4. Техническая характеристика штанговых дизельных молотов

| Показатель | Марка молота | | | |
|---|-----------------------|-------------------|-------------------------|----------------|
| | С подвижными штангами | | С неподвижными штангами | |
| | ДМ-58 | ДМ-150А, СП-60 | С-268 | С-330, СП-6 |
| I | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Масса ударной части, кг | 180 | 240 | 1 800 | 2 500 |
| Энергия удара, кДж | 1,5 | 1,75 | 16 | 20 |
| Наибольшая высота подъема ударной части, мм | 1 000 | 1 250 | 2 100 | 2 300 |

Окончание табл. 5.4

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|-----------|---------|---------|---------|
| Число ударов в 1 мин | 100...110 | 55...80 | 50...60 | 42...50 |
| Диаметр цилиндра, мм | 135 | 135 | 290 | 320 |
| Ход поршня, мм | 164 | 164 | 515 | 500 |
| Рабочий объем цилиндра, л | 2,36 | 2,36 | 34 | 40 |
| Степень сжатия | 16 | 16 | 26 | 25 |
| Наибольшая масса погружаемой сваи, кг | 350 | 350 | 1 500 | 2 000 |
| Рекомендуемый диаметр погружаемой сваи (деревянной), см | 18...82 | 18...22 | – | – |
| Размер гнезда под сваю | 270 | 220 | 400 | 465 |
| Длина молота, мм | 1 970 | 1 980 | 3 820 | 4 540 |
| Масса молота, кг | 335 | 350 | 3 100 | 4 200 |
| Масса тележки, кг | – | – | 126 | 215 |

Параметры трубчатых дизельных молотов с водяным охлаждением приведены в табл. 5.5.

Таблица 5.5. Техническая характеристика трубчатых дизельных молотов с водяным охлаждением

| Показатель | Марка молота | | | |
|--|----------------------------|----------------------------|---|---|
| | СП-40, С-995, С-995А | СП-41, С-996, С-996А | СП-47, СП-47А, С-1047, С-1047А | СП-48, СП-48А, С-1048, С-1048А |
| Масса ударной части, кг | 1 250 | 1 800 | 2 500 | 3 500 |
| Наибольшая потенциальная энергия ударной части при работе молота в вертикальном положении, кДж, не менее | 37,5 | 54 | 80 | 90 |
| Наибольшая допускаемая высота подскока ударной части, мм | 2 800/ 3 000 | 2 800/ 3 000 | 2 800/ 3 200 | 2 800/ 3 000 |
| Число ударов в 1 мин, не менее | 44/42 | 44/42 | 44/42 | 44/42 |
| Расход топлива (средний), л/ч | 5 | 9 | 12 | 16 |
| Расход смазки (средний), л/ч | 0,5/1,2 | 0,5/1,2 | 0,5/1,2 | 0,6/1,5 |
| Диаметр цилиндра, мм | 300 | 345 | 400 | 450 |
| Рабочий объем цилиндра, л | 23,6/17,8 | 35,6/26 | 46,5 | 50 |
| Степень сжатия | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Высота молота | 3 955 | 4 335 | 4 970 | 5 145 |
| Расстояние от вертикальной оси до направляющих копра, мм | 370 | 400 | 520 | 550 |
| Масса молота (сухая, с «кошкой», без наголовника и подстановок), кг, не более | 2 600 | 3 650 | 5 500/5 600 | 7 650 |
| Масса «кошки», кг | 100 | 100 | 120 | 120 |

Примечание. До черты даны показатели для молотов без индекса А, за чертой – с индексом А.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о назначении и видах копров. Что представляет собой классификация копров? Каков главный параметр? Назовите элементы рабочего процесса копров.
2. Как определяется техническая производительность копров?
3. Перечислите виды свайных молотов и их основные параметры. Какими преимуществами и недостатками обладают отдельные их виды?
4. Нарисуйте схему дизельного штангового и трубчатого молотов и объясните принцип их работы.
5. Как устроены и как работают гидромолоты? Нарисуйте их схемы.
6. Для чего предназначены, как устроены и как работают вибропогружатели и вибромолоты? Назовите их основные параметры.

5.3. Машины и оборудование для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций

При бестраншейной прокладке сначала под землей прокладывают защитный кожух или футляр (трубу большего диаметра), а затем в него (нее) вставляют на всю длину рабочую трубу. Для кожухов диаметром до 273 мм применяют в основном стальные бесшовные трубы, а для подземных коммуникаций больших диаметров – стальные сварные трубы. Помимо стальных труб, все шире используют пластиковые трубы из композиционных материалов на основе полимеров (поливинилхлорида, полиэтилена, полипропилена).

Методы закрытой прокладки классифицируют по следующим основным признакам: *диаметру трубопровода* – малого (100...600 мм) и большого (600...2 000 мм) диаметра; *типу силового воздействия на грунт* – горизонтальным (в том числе направленным) бурением; проколом (механическим, пневмо-, вибро- и гидропроколом); продавливанием; раскаткой скважины и щитовой проходкой; *способу разработки грунта* – без выемки грунта из рабочей зоны, с выемкой грунта из трубы или скважины.

Независимо от метода прокладки по обе стороны дороги отрывают предварительно рабочий и приемный котлованы, в которых монтируют необходимое оборудование.

Для трубопроводов малого диаметра серийно выпускают пневмопробойники диаметром от 80 до 600 мм (рис. 5.14). Длина скважин, зависящая от их диаметра, может достигать 30...40 м. Скорость проходки в пределах 1,5...8 м/ч уменьшается с увеличением длины скважины.

Пневмопробойник состоит из ударного узла, стартового устройства, расширителей, удлинителя. Корпус ударного узла является рабочим органом, образующим скважину. Корпус перемещается вперед под действием ударов, которые ударник наносит по его переднему внутреннему торцу. Обратному перемещению корпуса под действием реактивных сил препятствуют силы трения между его наружной поверхностью и грунтом. На-

правление ударов ударника можно изменять, что позволяет реверсировать движение корпуса. Удлинитель, представляющий собой отрезок направляющей трубы и повышающий точность проходки скважин, соединен с корпусом ударного узла по конической поверхности.

Работает ударник под действием сжатого воздуха, подводимого к пневмопробойнику по шлангу. Воздух направляется попеременно к разным концам ударника с помощью золотника.

Прокладка труб методом горизонтально-направленного бурения (ГНБ). Указанное бурение (рис. 5.14) выполняется с использованием буровой техники, которая оснащена специальным наконечником на гибкой штанге. Эта штанга позволяет ему менять направление при бурении. Наконечник имеет отверстия, которые необходимы для его охлаждения во время работы, и в нем расположен навигационный аппарат для контроля и коррекции траектории бурения. После проходки наконечника выполняют расширение скважины, меняя буровой наконечник на расширитель. Для скважин с большим диаметром расширение может производиться несколько раз. Диаметр скважины должен на 30 % превышать размеры сечения прокладываемого трубопровода.

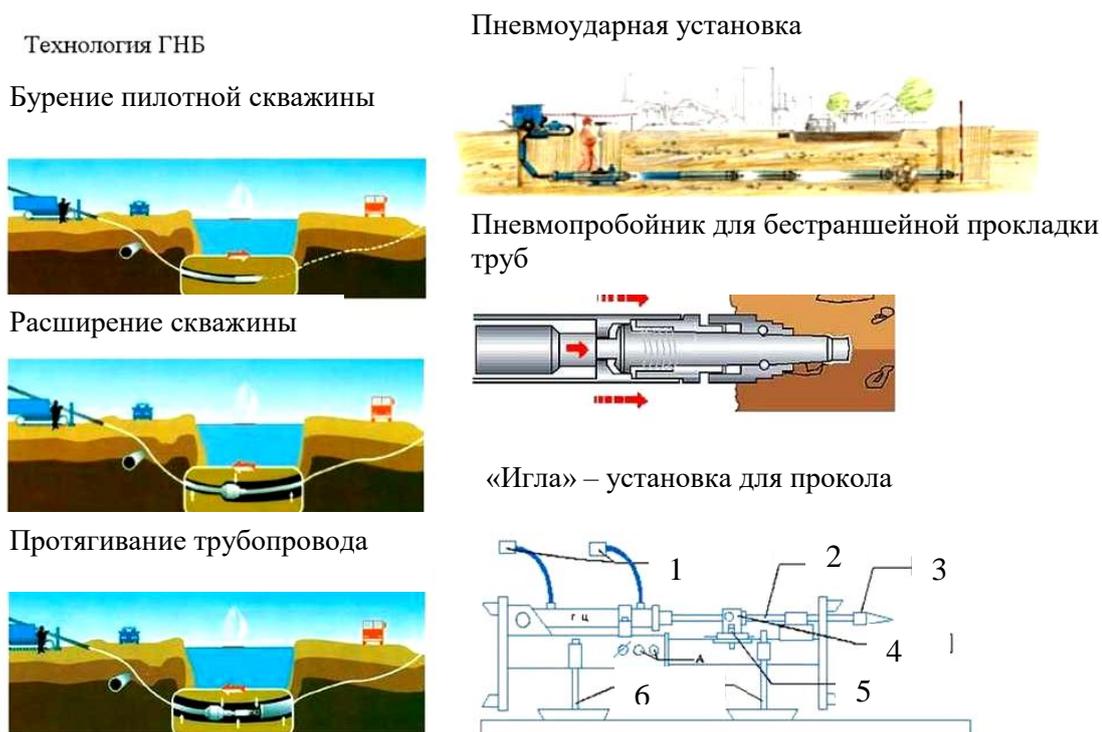


Рис. 5.14. Технологии бестраншейной прокладки трубопроводов малого диаметра:

В машинах для проходки скважин большого диаметра применяют различные типы рабочих органов.

Машины, использующие метод продавливания грунта (рис. 5.15), вдавливают в него трубы с помощью силовых установок, состоящих из нескольких гидравлических домкратов с усилием на штоке каждого 150...500 т и с ходом штоков 150...1600 мм.



Рис. 5.15. Установка для прокладки трубопроводов продавливанием

На заключительном этапе производится протягивание трубопровода. При этом плетть коммуникации прикрепляют к специальной штанге, а дальше машина ГНБ затягивает конструкцию в скважину. Для того чтобы снизить показатель трения при протягивании трубопровода через горизонтальный канал, применяется бурильный раствор.

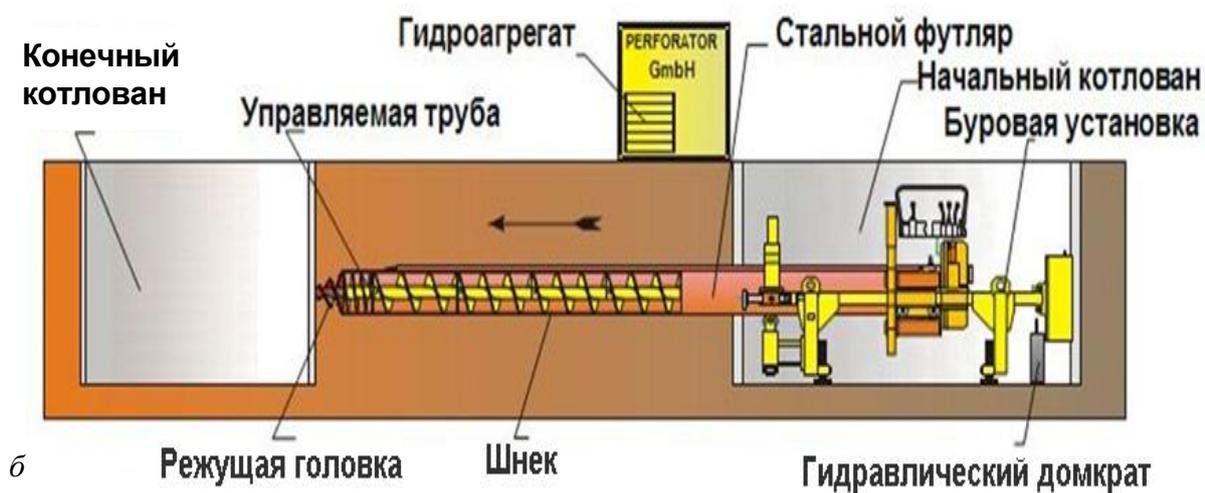
Домкраты упираются в деревянные, металлические или бетонные стенки, устанавливаемые во входных приямах. Вдавливаемая труба перемещается в приямке по направляющим. На переднем конце прокладываемой трубы укрепляют лобовую обделку-нож, облегчающую вдавливание. Грунт, поступающий в трубу в виде цилиндра, разрабатывают механизированным способом или вручную и удаляют из забоя.

Машины, использующие метод горизонтального бурения (рис. 5.16), применяют чаще остальных. Возможны одновременное или раздельное бурение и прокладка труб с непрерывным или циклическим транспортированием грунта. Процесс бурения грунта этой машиной аналогичен процес-

сам сверления. Рабочее оборудование с помощью опорных роликов опирают на раму и подают на забой вручную штурвалом или с помощью специального привода. Трубу протаскивают после очистки скважины от грунта и извлечения машины из приямка.



а



б

Рис. 5.16. Шнековая машина горизонтального бурения:
а – общий вид; *б* – схема

Машины указанного типа могут бурить скважины диаметром до 500...600 мм, длиной до 35...40 м со скоростью 5...8 м/ч. Эти машины непригодны для работы в слабых и неустойчивых песчаных грунтах, а также в скальных и водонасыщенных. Кроме того, скважины, пробуренные ими, могут значительно отклоняться от заданного направления.

Производительность машин с совмещенным бурением и прокладкой труб более высокая, чем машин с отдельно выполняемыми операциями, они обеспечивают более высокое качество работ. Транспортирующими органами в указанных машинах обычно служат безопорные свободно плавающие шнеки, размещенные в прокладываемых трубах. Такой шнек состоит из нескольких секций, наращиваемых в процессе прокладки труб. В первой секции шнека устанавливают режущую головку, которая разрабатывает грунт по диаметру трубы. При этом создается серпообразный зазор между наружной стенкой трубы и сводом скважины, благодаря чему значительно уменьшаются усилия, затрачиваемые на подачу труб в скважину.

Применяя машины, использующие гидромеханизированные процессы разработки и удаления грунта, чаще всего разрабатывают грунт одновременно двумя способами: механическим разрушением и размывом струей воды, вытекающей под напором.

На конце прокладываемой трубы укрепляют буровую колонку. При вращательно-поступательном движении трубы буровая колонка вырезает керн грунта, который разрыхляется затем ножами. Одновременно грунт размывается струей воды и в виде пульпы стекает из трубы на дно котлована. Напор рабочих органов на грунт обеспечивается гидравлическим или канатным механизмом. Вода подается к рабочему органу по промывочной трубе, помещенной внутри прокладываемой трубы.

Гидромеханические установки расходуют 120...150 м³/ч воды при ее напоре 0,1...0,20 МПа (18...20 м). Скорость бурения 1,5...8 м/ч. Эти машины нельзя применять для прокладки трубопроводов под железнодорожными насыпями из-за опасности размыва насыпи.

Буровые установки с циклическим удалением грунта обычно имеют в качестве рабочего органа винтообразный нож, который режет и разрыхляет грунт перед прокладываемой трубой. Внутри трубы помещают транспортирующее устройство (чаще всего ковш). После того как труба продвигается вперед на 10...15 см, ковш врезается в разрыхленный грунт. Затем ковш, не полностью заполненный грунтом, отводится немного назад. Такой цикл движения ковша повторяется. Для того чтобы грунт полностью заполнил ковш, в инвентарной передней секции трубы перемещается клапан, качающийся на неподвижной оси. Этот клапан при движении ковша вперед прижимается к передней части грунта, находящегося в ковше, перемещая его в заднюю часть ковша. При движении ковша назад клапан приподнимается, свободно пропуская под собой грунт в ковш. Полностью наполняется ковш за 3...4 цикла. Разгружают ковш при помощи разгру-

зочного клапана аналогичного загрузочному. Трубу подают в забой канатным механизмом. Эти установки применяют главным образом для проходки скважин большого диаметра. Скорость проходки скважины описанными установками обычно мала (3...5 м/ч). Основные преимущества машин с циклическим удалением грунта: возможность проходки протяженных скважин (длиной до 90...100 м); сменная производительность, примерно на 30...50 % большая, чем у других типов машин этого назначения.

Машины для бестраншейной прокладки труб выпускают самоходные и несамоходные. Первые монтируют на гусеничных тракторах, вторые поддерживаются во время работы кранами или их устанавливают на неподвижных рамах.

Для уменьшения сил трения грунта по металлу трубы, которые являются главными составляющими сопротивления вдавливанию труб, диаметр скважин принимают на 50...70 мм больше диаметра прокладываемых труб. Кроме того, с этой целью иногда поверхность труб покрывают полиэтиленом, глинистыми или глинисто-нефтяными растворами.

Контрольные вопросы

1. Опишите классификацию методов бестраншейной прокладки коммуникаций и их сущность.

2. Назовите машины для бестраншейной прокладки малых и больших скважин для подземных коммуникаций.

3. Расскажите об устройстве и принципе действия машин для прокладки труб методом ГНБ.

4. Каковы устройство и принцип действия пневмопробойников?

5. Опишите устройство и принцип действия машин для проходки скважин большого диаметра методом продавливания грунта.

6. Каковы устройство и принцип действия машин для проходки скважин большого диаметра методом горизонтального бурения?

7. Перечислите способы удаления грунта в машинах горизонтального бурения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шестоपालов К.К. Машины для земляных работ: учеб. пособие. М.: МАДИ, 2011. 145 с.
2. Довгяло В.А., Бочкарев Д.И. Дорожно-строительные машины: учебник: в 2 ч. Ч. 1. Машины для земляных работ. Гомель: БелГУТ, 2021. 342 с.
3. Довгяло В.А., Щемелев А.М., Шебзухов Ю.А. Машины для земляных работ. Практикум: учеб. пособие. Гомель: БелГУТ, 2016. 391 с.
4. Лукашук О.А., Либерман Я.Л. Роторные траншейные экскаваторы: проектирование и расчет: учебно-метод. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2022. 154 с.
5. Лукашук О.А., Комиссаров А.П., Летнев К.Ю. Машины для разработки грунтов. Проектирование и расчет: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. 128 с.
6. Шемякин С.А., Лещинский А.В. Расчет землеройных машин: учеб. пособие. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2014. 55 с.
7. Мыльников В.В., Кондрашкин О.Б. Средства механизации в строительстве: грузоподъемные и землеройные машины: учеб. пособие. Н. Новгород: ННГСУ, 2021. 158 с.
8. Экскаваторы и землеройно-транспортные машины: учеб. пособие / под ред. В.И. Баловнева. Белгород: БГТУ, 2011. 400 с.

Владимир Александрович Беляков

СПЕЦИАЛЬНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Учебное пособие

Редактор Ю.А. Якушева
Корректор С.В. Борисов

Подписано в печать 19.03.2024

Формат 60 × 84/16

Физ. печ. л. 5,25

Тираж 100 экз.

Усл. печ. л. 4,88

Заказ № 15

Бумага писчая

Уч.-изд. л. 4,57

С – 15

Редакционно-издательский центр
Тверского государственного технического университета
170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22