

Министерство сельского хозяйства РФ
ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»
Кафедра технических систем в агробизнесе, природообустройстве
и дорожном строительстве

Кузнецов В.В.

Машины для земляных работ

Учебно-методическое пособие
для обучающихся по направлению подготовки
23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы
(уровень бакалавриата)



Брянск 2019

УДК 631.311.5 (076)

ББК 40.72

К 89

Кузнецов, В. В. Машины для земляных работ: учебно-методическое пособие для обучающихся по направлению подготовки 23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы (уровень бакалавриата) / В. В. Кузнецов. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2019. – 443 с.

В учебно-методическом пособии приведены классификация, общее устройство, технические характеристики машин для земляных работ. Дана характеристика грунтов и основы теории их взаимодействия с рабочими органами машин. Указаны основные производители машин для земляных работ и рассмотрены конструкции выпускаемых ими моделей. Проанализированы направления и тенденции развития научно-технического прогресса в области отечественных и импортных машин для земляных работ; назначение, технические характеристики, устройство, технологические и рабочие процессы, достоинства и недостатки; примеры расчета основных параметров и режимов работы.

Приведенные сведения формируют знания студентов по компетенциям, предусмотренным рабочей программой дисциплин «Дорожно-строительные машины», «Конструкция наземных транспортно-технологических машин», «Основы эксплуатации машин и оборудования», «Технология автогрейдерных и асфальто-бетонных работ», «Теория наземных транспортно-технологических машин».

Учебно-методическое пособие предназначено для самостоятельной работы студентов, полезно магистрантам, аспирантам и может быть использовано в профессиональной деятельности специалистами инженерных служб сельскохозяйственных предприятий.

Рецензент: доцент кафедры технического сервиса, к.т.н., доцент Кузюр В.М.

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического института Брянского ГАУ, протокол №8 от 28 июня 2019 года.

© Брянский ГАУ, 2019

© Кузнецов В.В., 2019

Содержание

Введение.....	5
1 Общие понятия о дорожно-строительных машинах.....	8
2 Основные характеристики машин для земляных работ.....	9
3. Приводы машин для земляных работ.....	13
3.1 Общие сведения.....	13
3.2 Приводы с ДВС	18
3.3 Приводы с комбинированной силовой установкой.....	21
3.3.1 ДВС - электрогенератор - электродвигатель (электропривод).....	21
3.3.2 ДВС - гидронасос - гидродвигатель (гидравлический привод).....	24
3.3.3 ДВС - компрессор - пневмодвигатель (пневматический привод).....	28
3.4 Трансмиссии.....	30
3.5 Системы управления.....	46
4 Ходовые системы.....	53
4.1 Общие сведения.....	53
4.2 Гусеничные ходовые системы (ГХС).....	56
4.3 Пневмокошесные ходовые системы (ПХС).....	61
4.4 Комбинированные ходовые системы.....	66
5 Тяговые расчеты.....	71
6 Классификация машин для земляных работ.....	83
7 Основные сведения о грунтах и их взаимодействие с рабочими органами машин.....	97
7.1 Основные сведения о грунтах.....	97
7.2 Факторы, определяющие взаимодействие рабочих органов машин с грун- гун- том.....	102
8 Землеройно-транспортные машины.....	118
8.1 Бульдозеры.....	118
8.1.1 Общие сведения, классификация, основы теории.....	118
8.1.2 Устройство бульдозеров на примере конкретных производителей.....	143
9 Машины для подготовительных работ.....	155
9.1 Рыхлители.....	155
9.2 Кусторезы.....	166
9.3 Корчеватели.....	170
10 Скреперы.....	174
10.1 Общие сведения, классификация, основы теории.....	174
10.2 Устройство скреперов на примере конкретных производителей.....	200
11 Автогрейдеры.....	204
11.1 Общие сведения, классификация, основы теории.....	204
11.2 Устройство автогрейдеров на примере конкретных производителей	226
12 Экскаваторы. Общие сведения, классификация, устройство, основы тео- рии	236

12.1. Одноковшовые экскаваторы.....	236
12.2 Одноковшовые экскаваторы с гибкой подвеской.....	265
12.3 Многоковшовые экскаваторы.....	283
12.4 Траншейные многоковшовые экскаваторы.....	288
12.5 Экскаваторы траншейные цепные (ЭТЦ).....	291
12.6 Экскаваторы траншейные роторные (ЭТР).....	300
12.7 Устройство экскаваторов на примере конкретных производителей.....	311
13 Многоцелевые машины на земляных работах в строительстве.....	329
13.1 Экскаваторы-погрузчики. Назначение, классификация и устройство...	329
14 Машины для уплотнения грунтов и дорожно-строительных материа- лов.....	342
14.1 Общие сведения, классификация, основы теории.....	342
14.2 Устройство катков на примере конкретных производителей.....	369
15 Одноковшовые погрузчики.....	384
15.1 Общие сведения, классификация.....	384
15.2 Устройство одноковшовых погрузчиков на примере конкретных про- изводителей.....	387
16 Основные направления развития машин для земляных работ.....	401
17 Приложения.....	419
18 Список литературы.....	438

Введение

В настоящее время дорожная сеть Российской Федерации включает в себя автомобильные дороги общей протяженностью около 909,5 тыс. км, в том числе автомобильные дороги общего пользования-538,1 тыс. км. Протяженность автомобильных дорог общего пользования I технической категории составляет 4,7 тыс. км, из них 3,7 тыс. км приходится на федеральные автомагистрали. Основная доля федеральной дорожной сети это автодороги второй и третьей технических категорий, общей протяженностью около 40 тыс. км. Федеральные автомобильные дороги составляют примерно 5,2% от общей протяженности дорог, но при этом на них приходится почти половина всей транспортной работы (грузооборота и пассажирооборота), выполняемой автомобильным транспортом предприятий и населения, а также практически 100 % транспортной работы, связанной с обслуживанием внешнеторгового оборота.

Сеть территориальных автомобильных дорог общего пользования в основном состоит из дорог IV технической категории (316 тыс. км), а протяженность дорог III и V категорий составляет соответственно 89,1 и 78,6 тыс. км. Свыше трети территориальных дорог требуют реконструкции, на таких трассах до сих пор находятся в эксплуатации 72 деревянных моста и две паромные переправы.

Плотность автомобильных дорог с твердым покрытием на 1 тыс. км² за последние 10 лет повысилась с 38 до 44 км, для сравнения в США плотность составляет 600 км; Канаде - 88 км; Финляндии-230; Белоруссии-241 км; Франции-1645 км; Германии 1800 км. Протяженность автомобильных дорог по отношению к численности населения в России составляет 5,3 км/1000 жителей для сравнения в Казахстане 5,0 км, в Финляндии - 10 км, в США - 13 км, во Франции - 15,1 км.

За последние 7 лет сеть автомобильных дорог Российской Федерации увеличилась на 17,5 тыс. км, в том числе протяжение федеральных - на 6,2 тыс. км, территориальных - на 101,5 тыс. км.

Комплексным планом модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года, принятым в октябре 2018 года, перед дорожниками страны поставлены амбициозные задачи.

Доля автомобильных дорог, работающих без перегрузки, в общей протяженности международного транспортного маршрута "Европа - Западный Китай" к 2024 году должна вырасти до 67 процентов, сейчас этот показатель значительно меньше - более чем в два раза. Всего планируется построить и реконструировать 958,8 километра федеральных трасс, увеличив долю автодорог первой категории на маршруте "Европа - Западный Китай" на 1,8 процента. Будет снижена протяженность автомобильных дорог, обслуживающих движение в режиме перегрузки, - на 249,8 километра. Кроме того, предстоит связать дорогами федерального значения административные центры с точками экономического роста. Новых автодорог должно стать на 395,6 километра больше.

В план также включены автодорожные мосты - намечено строительство и реконструкция 32 мостов на федеральных дорогах. Одним из них будет мост через Енисей в Красноярском крае у поселка Высокогорского, который становится первым крупным инфраструктурным объектом Ангаро-Енисейского кластера (зоны промышленного развития Красноярского Приангарья).

Земляные работы являются важной составной частью строительного производства. Эффективность земляных работ в значительной степени определяется широтой использования инновационных технологий и техники.

Конструктивное совершенствование землеройной техники связано с реализацией перспективных тенденций развития машиностроения, таких, как развитие и широкое использование в структуре привода землеройных машин гидроэлектрических микропроцессорных систем управления, компьютеризации и интеллектуализации машин, гибридизации, создание многоцелевой техники и машин с безотходной технологией, обеспечение высокого уровня комфорта и безопасности оператора, повышения надежности техники, обеспечение эффективного сервиса, оптимизации параметров машин.

Применение достижений фундаментальных наук: нанотехнологических материалов, газо- и гидродинамики, ультра- и инфракосебаний, СВЧ - является перспективным резервом повышения эффективности машин для земляных работ.

Существенный резерв интенсификации земляных работ эффективное использование техники в зависимости от условий эксплуатации. Важно, чтобы машина соответствующего типоразмера использовалась в тех условиях, где она дает наибольший производственный эффект.

Основное внимание в учебном пособии уделено вопросам устройства и особенностям конструкции современной землеройной техники и методам определения оптимальных технических и эксплуатационных параметров землеройных машин.

Эффективность земляных и вспомогательных работ в значительной степени определяется широтой использования инновационных технологий и техники, компьютеризации и интеллектуализации машин, гибридизации, создания многоцелевой техники и машин с безотходной технологией, обеспечения высокого уровня комфорта и безопасности оператора, повышения надежности техники, обеспечения эффективного сервиса, оптимизации параметров машин. Использование достижений фундаментальных наук, нанотехнологических материалов, газовой и гидродинамики, ультра- и инфракосебаний и СВЧ является перспективным резервом повышения эффективности машин для земляных работ.

В настоящем учебно-методическом пособии дана общая классификация машин для земляных работ, рассмотрены устройство, теория и расчет экскаваторов, бульдозеров, бульдозерно-рыхлительных агрегатов, скреперов и автогрейдеров, одноковшовых фронтальных погрузчиков, дорожных катков и многоцелевых машин: экскаваторов-погрузчиков. Описаны виды и технология земляных работ в природообустройстве и дорожном строительстве.

Материал по конструкции основных типов землеройных машин составлен по информации о технической эксплуатации землеройной техники отечественных производителей: ОАО «Брянский Арсенал», ЗАО «Дормаш» (г. Орел), ГУП «Омсктрансмаш», ОАО «Промтрактор» (г. Чебоксары), ОАО «Тверской экска-

ватор», ФГУП «ПО Уралвагонзавод» (г. Нижний Тагил), ЗАО «ЧСДМ» (г. Челябинск), ООО «ЧТЗ-Уралтрак» (г. Челябинск) и др. Авторы признательны руководству предприятий за представленную информацию по выпускаемой продукции.

1 Общие понятия о дорожно-строительных машинах

Прежде чем перейти непосредственно к дорожно-строительным машинам, целесообразно напомнить некоторые представления о машинах в целом. Что такое машина? Эволюция её определения сама по себе представляет интерес. У древних представления о машинах были очень емкими и в то же время предельно простыми (может быть в силу целостности их понятий о природе и месте человека в окружающем мире). Одно из старейших определений таково: «Машина - это орудие, имеющее внутреннее движение частей».

Сопоставьте это определение с современными понятиями о машине, отягощенными обилием разнообразных знаний. Одно из них, предложенное известным механиком И.И. Артоболевским, звучит следующим образом: «Машина - это устройство, выполняющее механические движения для преобразования энергии, материалов и информации с целью замены или облегчения физического и умственного труда человека». Сопоставьте это определение с современными понятиями о машине, отягощенными обилием разнообразных знаний. Последнее определение следует дополнить его же делением машин на группы в зависимости от их общего назначения:

- энергетические (для преобразования любого вида энергии в механическую и наоборот);
- технологические (для преобразования материала, заключающегося в изменении его формы, свойств и состояния);
- транспортные (для преобразования материала, заключающегося в изменении его положения);
- контрольно-управляющие (для преобразования информации с целью управления энергетическими, транспортными и технологическими машинами);

- кибернетические (для преобразования информации с целью управления упомянутыми машинами или технологическими процессами по заданной программе).

Если придерживаться упомянутой классификации, то следует отметить, что дорожно-строительные машины сочетают признаки и энергетических, и транспортных, и технологических машин. Любая дорожная машина включает ряд основных механизмов и элементов, которые можно разделить на пять групп:

- 1) рабочее оборудование, которое выполняет непосредственно технологическую операцию;
- 2) силовое оборудование (двигатель), приводящее в движение элементы машины;
- 3) базовое и ходовое оборудование, которое объединяет все элементы машины (рама), передвигает ее и передает давление на опорную поверхность;
- 4) передаточные механизмы (трансмиссии), передающие энергию двигателя рабочему и ходовому оборудованию;
- 5) система управления, служащая для управления и регулирования отдельных механизмов машины и ее двигателя.

При очень кратком экскурсе в историю подобных машин обычно первым вспоминают Леонардо да Винчи, который еще в XV веке предложил принципиальную схему экскаватора-драглайна. А первой разработкой, которая нашла реальное воплощение в металле, считается многоковшовый экскаватор мощностью 15 л.с. (на паровой тяге), который разработал инженер А. Бетанкур (директор Санкт-Петербургского института путей сообщения) и использовал на практике для углубления морской гавани в 1812 г. В Европе аналоги появились только в 30-х годах XIX столетия.

2 Основные характеристики машин для земляных работ

В общем случае для оценки уровня продукции машиностроения используют Единую систему конструкторской документации (ЕСКД), составляя при этом карту технического уровня и качества продукции, т.е. машины.

В этой системе показатели качества условно разделяют на четыре группы:

- технико-экономические показатели, которые характеризуют эффективность машины по основным техническим параметрам (производительность, мощность, энерго- и материалоемкость, выработка и др.);

- эксплуатационные показатели, которые характеризуют эффективность машины в производственных условиях (типоразмер, универсальность, эргономичность, мобильность, проходимость, транспортабельность и др.);

- конструктивные показатели, характеризующие качество и свойства конструкции машины (надежность и ее характеристики: безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость, стандартизация и унификация элементов конструкции);

- технологические показатели, которые характеризуют трудоемкость изготовления деталей и узлов, а также сборки машины.

Анализ показателей по упомянутым критериям дает исчерпывающую информацию о машине. При этом даже беглая оценка этих показателей позволяет отметить, что они неравноценны. Профессор В.И. Баловнев попытался учесть эту неравнозначность с помощью коэффициентов весомости того или иного показателя, которые были определены экспериментальным путем. Из 31 показателя, в числе которых технико-экономические характеристики (0.072): технологичность (0.036); стандартизация и унификация (0.04); безопасность (0.038); обеспечение запчастями (0,022) и др. Наибольший ($K = 0.0761$) имеет надежность а наименьший ($K = 0.0151$) – престижность изделия. В сумме все коэффициенты дают 1.

Остановимся на некоторых из них. Одной из основных характеристик дорожных машин является их производительность. Она же является базовой при определении ряда других показателей.

Производительность - это количество продукции, выраженное в единицах объема, массы, площади или длины, которое машина производит в единицу времени (например, количество вынутого, перемещенного или уложенного грунта в м³/ч или т/ч; площадь уплотненной поверхности в м²/ч; протяженность разработанной траншеи в м/ч и др.).

Различают три вида производительности: теоретическую, техническую и эксплуатационную.

Теоретическая производительность (ее еще называют расчетной или конструктивной) - это максимально возможная для данных условий эксплуатации. Она определяется конструктивными параметрами машины и свойствами среды, с которой машина взаимодействует, но без учета потерь энергии и материалов.

Для машин циклического действия, м³/ч или т/ч

$$P_T = \frac{V}{T_{\text{ц}}} \quad \text{или} \quad P_T = \frac{V\rho}{T_{\text{ц}}} \quad (2.1)$$

где V - объем материала, м³;

ρ - плотность материала, т/м³;

$T_{\text{ц}}$ - время цикла, ч.

Для машин непрерывного действия, м³/ч или т/ч справедливы равенства

$$P_T = Bv \quad \text{или} \quad P_T = Fv \quad (2.2)$$

где B - ширина захвата материала рабочим органом машины, м;

F - расчётное сечение потока материала, м²;

v - расчётная рабочая скорость перемещения машины или материала, м/ч.

Повышение производительности машин является одним из наиболее важных средств повышения темпов дорожного строительства. Как видно из формул (2.1) и (2.2), P_T обратно пропорциональна времени рабочего цикла для машин циклического действия и прямо пропорциональна скорости для машин непрерывного действия. Именно сокращение периода рабочего цикла и увеличение рабочих скоростей, наряду с ростом силовых параметров, относятся к наиболее объективным методам увеличения производительности труда в целом в дорожном строительстве.

Техническая производительность ($P_{\text{тех}}$) представляет собой максимально возможную производительность для данных условий эксплуатации с учетом потерь и изменения структуры материала (разрыхления и уплотнения), снижения

эффективной мощности и скорости рабочих операций, а также степени использования рабочего оборудования (коэффициенты наполнения емкостей, ковшей, бункеров, цистерн, отвалов и др., технологические перерывы в работе, перекрытие проходов машины). Техническая производительность определяется через теоретическую по формуле

$$P_{\text{тех}} = (K_1 K_2 \dots K_i) P_T \quad (2.3)$$

где K_i - коэффициент, учитывающий соответствующие потери и изменения (мощности, скорости, материала и др.).

Эксплуатационная производительность представляет собой наиболее близкую к фактической, которая учитывает объективные потери рабочего времени машины за смену, сезон или год

$$P_{\text{э}} = K_T P_{\text{тех}} \quad (2.4)$$

Выработка на одного работающего – это отношение эксплуатационной (сменной) производительности к числу рабочих занятых управлением и обслуживанием машины.

$$P_{\text{уд}} = P_{\text{э}} / n_p \quad (2.5)$$

Удельная энергоемкость машины (иногда её называют удельной мощностью) - это отношение суммарной мощности установленных на машине двигателей к эксплуатационной (сменной) производительности:

$$N_{\text{уд}} = N / P_{\text{э}} \quad (2.6)$$

где N - мощность двигателей, кВт.

Удельная материалоемкость машины (иногда её называют удельной металлоемкостью) - это отношение её массы к эксплуатационной (сменной) производительности:

$$m_{y\partial} = m/\Pi_3 \quad (2.7)$$

где m - масса машины, кг.

Себестоимость единицы продукции (или механизированных работ) – это отношение стоимости машино-смены к эксплуатационной сменной производительности.

$$C_{уд} = C/\Pi_3 \quad (2.8)$$

К этим показателям следует добавить *энергонасыщенность* машины E , которая характеризует ее удельные энергетические возможности и связывает мощность силовой установки и массу машины

$$E = \frac{N}{m} \quad (2.9)$$

3 Приводы машин для земляных работ

3.1 Общие сведения

Привод - это совокупность устройств для сообщения движения и усилий исполнительным механизмам машины.

Привод включает силовое оборудование (установку, двигатель), передачи (трансмиссии) и систему управления. Все это предназначено для приведения в действие рабочих органов и механизмов машины.

Требования к приводам машин определяются условиями эксплуатации машин, особенностями технологии производства работ и режимами нагружения.

От технологии работ зависит последовательность включения, выключения и реверсирования движения механизмов.

Условия эксплуатации (работа на открытом воздухе в различных климатических поясах) обуславливают необходимость их высокой надежности и работоспособности.

Режимы нагружения (продолжительность непрерывной работы, частота включений, внешние нагрузки) влияют на соотношение основных периодов работы (взаимодействие рабочих органов с грунтом) и переходных периодов (разгон, торможение, реверсирование, подъем, опускание).

В общем случае привод должен обеспечивать максимальное использование установленной мощности при высоком КПД, хорошо воспринимать динамические нагрузки, легко и просто управляться.

К приводам дорожных машин предъявляются следующие общие требования:

- 1) автономность силового оборудования от внешних источников энергии;
- 2) обеспечение минимальных габаритов и массы;
- 3) высокий КПД;
- 4) высокая надежность;
- 5) простота реверсирования механизмов и регулирования скоростей и усилий;
- 6) независимость рабочих движений при возможности их совмещения;
- 7) простота автоматизации системы управления;
- 8) реализация блочных и агрегатных конструкций элементов привода.

Имеются и дополнительные требования, которые определяются режимом работы машины. Как известно, режимы работы условно разделяют на легкий, средний, тяжелый и весьма тяжелый.

Режим задается рядом параметров:

- 1) отношение максимального к среднему крутящему моменту ($M_{max}/M_{cp} = 1,1 \dots 1,3$);
- 2) продолжительность времени включения привода ($PВ = 15 \dots 100 \%$);
- 3) количество включений в час ($КВ = 10 \dots 600$).

Перегрузочная способность двигателей приводов в статическом режиме характеризуется коэффициентом перегрузки (или приспособляемости)

$$K_{\Pi} = \frac{M_{max}}{M_{ном}} \quad (3.1)$$

Для двигателей внутреннего сгорания (ДВС), $K_{\Pi} = 1,1 \dots 1,3$.

Современные машины - это, как правило, машинные агрегаты, которые могут иметь несколько приводов одного или разных типов.

Приводы классифицируют по ряду основных признаков:

б) *по значимости:*

- основные (приводы рабочих органов и ходового оборудования);
- вспомогательные (приводы элементов передач, приборов управления).

7) *по числу двигателей:*

- одномоторные, или групповые (все механизмы приводят в действие от одного двигателя);
- многомоторные, или индивидуальные (каждый механизм имеет свою силовую установку).

8) *по типу силового оборудования:*

- с первичными двигателями (в качестве первичного двигателя в основном используют ДВС);
- с комбинированной силовой установкой, включающей первичный и вторичный двигатели.

К ним относятся:

- ДВС - электрогенератор - электродвигатель (электропривод);
- ДВС - гидронасос - гидродвигатель (гидропривод);
- ДВС - компрессор - пневмодвигатель (пнеumoпривод).

Кроме того, возможны сочетания элементов гидравлического, электрического и пневматического приводов:

9) *по типу трансмиссии* различают приводы с механическими, электрическими, гидравлическими, комбинированными (гидромеханическими, электромеханическими и другими) трансмиссиями.

10) *по типу системы управления* различают приводы с механической, электрической, гидравлической, комбинированной системой управления.

Вид привода выбирается в зависимости от режимов и условий работы. Он должен соответствовать внешним нагрузкам.

Мощность N_{po} привода, расходуемая на выполнение рабочих операций, ограничивается максимальной мощностью силовой установки $N_{дв}$ и определяется по формуле

$$N_{po} = N_{дв} \eta \dots \dots \dots (3.2)$$

где η - КПД трансмиссии.

Основными параметрами, характеризующими работу привода, являются M , ω или P , v , которые связаны соотношениями

$$N_{po} = M\omega \quad \text{или} \quad N_{po} = Pv \quad (3.3)$$

где M - момент сопротивления, преодолеваемый исполнительными механизмами. Нм;

ω - угловая скорость этого механизма, рад/с;

P - усилие сопротивления, преодолеваемое исполнительными механизмами, Н;

v - линейная скорость этих механизмов, м/с.

Режимы нагрузки приводов машин являются неустановившимися (особенно у одноковшовых экскаваторов, бульдозеров, скреперов, в меньшей степени у автогрейдеров и грейдер-элеваторов).

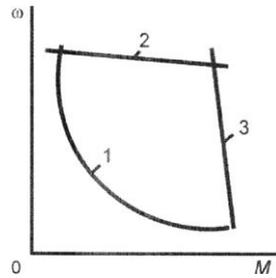
Мощность N используется рационально, если при изменении внешней нагрузки она обеспечивает соответствующее изменение момента с одновременным изменением угловой скорости.

Для оценки работы привода используют его механическую или внешнюю характеристику, а именно

$$\omega = \frac{N}{M} \quad \text{или} \quad \omega = \frac{N}{P} \quad (3.4)$$

т. е. она выражает зависимость скорости перемещения рабочего органа от внешнего момента на нем.

В приводах машин имеют место несколько видов механических характеристик привода (рисунок 3.1).



1 - идеальная теоретическая ($N = \text{const}$); 2 - жесткая; 3 - мягкая

Рисунок 3.1 – Внешние характеристики привода

Идеальной по использованию мощности силовой установки является характеристика (1), которая при любом изменении внешних нагрузок обеспечивает $N = \text{const}$. Однако по большей части внешние характеристики располагаются в диапазоне от (2) до (3).

Характеристика (2) называется жесткой: с увеличением M (нагрузки на рабочем органе) скорость ω изменяется незначительно. $N \neq \text{const}$, силовая установка перегружается, регулирование очень ограничено (приводы с жесткой характеристикой целесообразно применять при устойчивом режиме работы без перегрузок или при наличии большого запаса мощности).

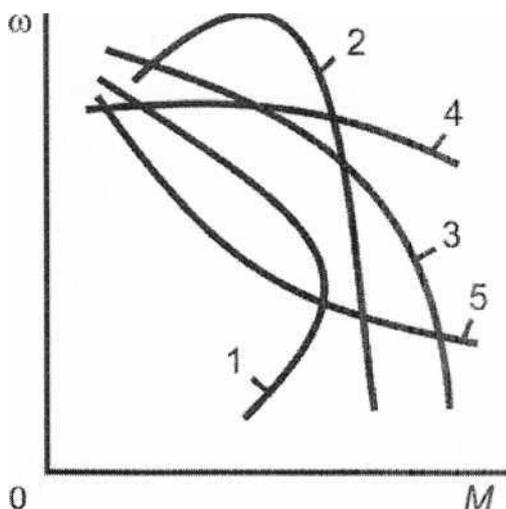
Характеристику (3) называют мягкой: с ростом нагрузки резко уменьшается частота вращения вала привода (вплоть до нуля при большой величине M т.е. привод будет работать (при перегрузках) в стопорном режиме. При мягких характеристиках привод может саморегулироваться, т. е. автоматически снижать частоту вращения при перегрузке при увеличении передаваемого крутящего момента (или увеличивать скорость при снижении нагрузки), что повышает производительность.

Отметим, что в машинах для земляных работ необходимы приводы, обеспечивающие максимальное использование N при высоком КПД и имеющие мягкую характеристику.

Для одноковшовых экскаваторов наиболее рациональной является характеристика (2), которая обеспечивает жесткость до предельного значения M , а затем становится мягкой, что позволяет приводу перейти в стопорный режим.

Характеристика (1) желательна для бульдозеров, автогрейдеров, машин для подготовительных работ.

В реальности механические характеристики силовых установок имеют более сложный вид (рисунок 3.2).



1 - ЭД переменного тока; 2 - ДВС; 3 - ДВС с регулятором; 4 - ЭД постоянного тока (с последовательным возбуждением); 5 - ЭД постоянного тока (с параллельным возбуждением).

Рисунок 3.2 - Механические характеристики силовых установок

3.2 Приводы с ДВС

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) машин для земляных работ работают в условиях переменных нагрузок по мощности, при большой запыленности воздуха (до 5 г/м), при значительных колебаниях температур (от -30 до +50 °С).

В связи с этим они должны иметь запас по мощности, оснащаться улучшенными агрегатами воздухоочистки и (желательно) устройствами предпускового подогрева в условиях эксплуатации при низких температурах.

Их различают по многочисленным признакам (по способу осуществления газообмена (2- и 4-тактные), по способу наполнения рабочего цилиндра - без наддува и с наддувом, по способу воспламенения - с принудительным зажиганием (от электроискры) и с самовоспламенением от сжатия (дизели), по числу и расположению цилиндров - рядные и V-образные.

В дорожных машинах в основном применяют транспортные 4-тактные ди-

зели (с наддувом и без), имеющие жидкостное и воздушное охлаждение. Их применяют в машинах как с непосредственной передачей (механической) на исполнительные органы, так и с различными преобразователями, которые обеспечивают защиту двигателей и всех конструкций машин от внешних перегрузок (их применяют в тех случаях, когда внешние характеристики ДВС не соответствуют режиму работы машины).

Выбор ДВС осуществляют по основным техническим характеристикам: номинальной мощности $N_{дв}$ частоте вращения коленчатого вала n , массе m и удельному расходу топлива g_c .

Требуемую мощность двигателя $N_{дв}$ подбирают с учётом коэффициента запаса K_3

$$N_{дв} = N_{max} K_3 \quad (3.5)$$

где N_{max} - сумма мощностей, вычисленных при максимальных значениях моментов (или усилий) на рабочих органах, кВт;

$$K_3 = \begin{cases} 1,17 \dots 1,25 - \text{для дизелей;} \\ 1,11 \dots 1,17 - \text{для карбюраторных ДВС.} \end{cases}$$

При необходимости проведения уточнённых расчётов выбор двигателя внутреннего сгорания осуществляют на основе уравнения баланса мощности

$$N_{дв} = \frac{1}{\eta_{тр}} (N_{пер} \pm N_y \pm N_i \pm N_{букс} \pm N_p) + \sum N_{пр.м} \quad (3.6)$$

где $\eta_{тр}$ - мощности, затрачиваемые соответственно на перемещение, преодоление уклона, преодоление инерционных сил, преодоление буксования ведущих колес. кВт;

$$N_{букс} = P_k (v_T - v_d) = P_k v_T \delta \quad (3.7)$$

где P_k - окружная сила на ведущих колесах. Н;

v_T - расчетная (теоретическая) скорость, м/с;

v_d - действительная скорость, м/с;

δ - коэффициент буксования.

$$\delta = 1 - \frac{v_d}{v_T} \quad (3.8)$$

$$\delta = \begin{cases} 0,18 \dots 0,22 & \text{— в тяговом режиме;} \\ 0,03 \dots 0,05 & \text{— в транспортном режиме} \end{cases}$$

N_p - мощность на преодоление сопротивления рабочих органов, кВт.

$$N_p = P_p v_p \quad (3.9)$$

P_p - сила сопротивления на рабочих органах (на ковше скрепера или погрузчика, отвале бульдозера или автогрейдера, на зубьях рыхлителя). Н;

v_p - скорость движения рабочих органов, м/с;

Выбранный по балансу мощности двигатель внутреннего сгорания проверяют тяговым расчетом:

1) на обеспечение в рабочем режиме максимального тягового усилия на колесах, необходимого для рабочего процесса:

2) на обеспечение в транспортном режиме максимальной скорости движения.

К преимуществам ДВС относятся:

- автономность;
- относительно высокий КПД (0,35-0,45);
- малая масса на единицу мощности (3-5 кг/кВт);
- небольшой расход топлива (0,20-0,25 кг/кВт ч).

Их недостатки:

- чувствительность к перегрузкам;
- затруднения при эксплуатации в условиях низких температур.
- потребность в муфтах (фрикционных, гидравлических и др.) для передачи движения от двигателя к трансмиссии.

Сочетание этих характеристик определяет их преимущественное использование в машинах для земляных работ, т.е. при непрерывном собственном перемещении в процессе работы или при частых перемещениях с объекта на объект.

Механический привод в настоящее время применяют относительно редко. Самым ярким примером механического привода являются одноковшовые экскаваторы с канатной (гибкой) подвеской, которые с оборудованием драглайна имеют преимущества по сравнению с гидравлическими одноковшовыми экскаваторами. Для их привода характерна разветвленная механическая трансмиссия, применение муфт и тормозов сложного устройства, специфическая кинематика различных видов рабочего оборудования. От двигателя внутреннего сгорания движение к рабочим механизмам передается цепными, зубчатыми и канатными передачами при использовании кулачковых, фрикционных муфт и главной муфты. Главная муфта представляет собой фрикционную муфту (открытого или закрытого типа), управляемую с места машиниста. Главная муфта необходима для включения трансмиссии и быстрой остановки всех механизмов. Она заблокирована со специальным тормозом трансмиссии, который автоматически отключается при выключении главной муфты.

3.3 Приводы с комбинированной силовой установкой

3.3.1 ДВС - электрогенератор - электродвигатель (электропривод)

Первичным двигателем является ДВС, который приводит в действие электрогенератор. Электрогенератор, в свою очередь, питает токком электродвигатели (как постоянного, так и переменного тока), приводящие в действие исполнительные механизмы. Их используют на крупных дорожных машинах, на тягачах большой мощности

Преимущества электропривода:

- 1) постоянная готовность к работе;
- 2) возможность реверсирования;
- 3) высокий КПД;

- 4) долговечность и универсальность;
- 5) надежность эксплуатации при низких температурах.

Электродвигатели переменного тока получили широкое распространение. Они просты в управлении, надежны в эксплуатации, могут выдерживать большие кратковременные перегрузки ($K_{\text{п}} = 1.8.. 2,2$). (Основной недостаток - высокая чувствительность к колебаниям напряжения в питающей сети).

Обычно используют трехфазные асинхронные двигатели (ЭД с контактными кольцами), которые питаются от электросети с напряжением 220; 380 В и частотой 50 Гц. В зависимости от мощности эти ЭД имеют либо короткозамкнутый ротор (при $N < 10$ кВт), либо фазовый ротор (при $N > 10$ кВт).

В приводах одноковшовых экскаваторов применяют специальные крановые асинхронные электродвигатели трехфазного тока. Они хорошо работают при частых пусках и торможениях, но их большой недостаток – не могут саморегулироваться. Эта задача решается введением специальных преобразователей частоты питания электродвигателя. Однако такие электродвигатели становятся массивными и сложными по конструкции. Поэтому чаще всего используют нерегулируемые электродвигатели переменного тока.

Двигатели с короткозамкнутым ротором удобны в управлении, но для их пуска требуется большой ток (пусковой момент). При этом у них невозможно регулировать частоту вращения. Как правило, такие двигатели используют только для привода лебедок с небольшим усилием и вспомогательных механизмов.

Двигатели с фазным ротором удовлетворительно работают при частых пусках и торможениях, у них можно регулировать частоту вращения. Ими управляют вручную контроллером или с помощью магнитных станций. Для смягчения внешних характеристик в цепь (ротора) вводят регулируемое сопротивление, что ведет к потере энергии и увеличению массы. Для регулирования скоростей применяют различные варианты, например, систему электропривода с тормозным генератором постоянного тока, сочлененным с валом двигателя. Их используют в одноковшовых экскаваторах малой мощности и выполняют взаимозаменяемыми с двигателями внутреннего сгорания.

Электродвигатели постоянного тока считаются наиболее подходящими для приводов машин для земляных работ с тяжелым режимом работы. Они

обеспечивают плавность пуска и торможения механизмов, имеют значительную перегрузочную способность и экономичность, постоянную готовность к работе и независимость от температуры эксплуатации.

Их масса (и габариты) в 1,5-2,5 раза больше любых других силовых установок. Тем не менее, их используют в приводах машин для земляных работ. Обычно их применяют в экскаваторах средней и большой мощности, а также в приводе мотор-колёс тяжелых землеройно-транспортных машин (скреперов).

В экскаваторах средней мощности применяют схему: ДВС - трехобмоточный электрогенератор - электродвигатель с электромагнитным усилителем (ДВС - ТГ - ЭД с ЭМУ).

В экскаваторах большой мощности применяют привод по схеме ДВС - генератор - электродвигатель с электромашинным усилителем (ДВС - Г - ЭД с ЭМУ). В таких схемах работа генератора согласуется с характеристикой ДВС, что обеспечивает полное использование мощности при изменении нагрузок в широком диапазоне. Эти схемы позволяют бесступенчато регулировать скорость исполнительных механизмов (регулирование производят изменением тока возбуждения схемы с параллельным, последовательным и смешанным включением обмоток возбуждения), т. е. в этих схемах используется почти идеальная внешняя характеристика.

Для трехобмоточных генераторов регулировку производят соответствующим подбором ампер-витков трех обмоток генератора: независимой, шунтовой и серийной. Для них мягкость внешней характеристики достигается совместным действием двигателя постоянного тока не зависящего возбуждения и источника питания - генератора.

Их преимущества - постоянная готовность к работе, простота пуска, управления и реверсирования, довольно высокий КПД.

Недостатки - большая стоимость комбинированного привода и зависимость от источника энергии (для сетевых генераторов).

Схема ДВС ТГ ЭД требует больших капитальных затрат (как правило, устанавливают несколько трёхобмоточных электрогенераторов и несколько электродвигателей), но отличается плавностью и широкими возможностями регулирования, в том числе возможностью электроторможения. а также наименьшим удельным расходом электроэнергии. Плавность работы привода способствует увеличению долговечности всей машины.

Кроме того, в последнее время появляются приводы с рекуперацией энергии. Например, при опускании ковша экскаватора потенциальная энергия рабочего оборудования трансформируется в электроэнергию, отдаваемую в цепь за счет преобразования электродвигателя привода лебедки в генератор. При последующем цикле подъема рабочего оборудования запасенная энергия совершает полезную работу, чем достигается значительное энергосбережение.

3.3.2 ДВС - гидронасос - гидродвигатель (гидравлический привод)

Эти комбинированные силовые установки (ДВС - гидронасос) получили наибольшее распространение из-за полной автономности. (Следует отметить, что применяют также комбинацию электродвигатель - гидронасос для машин малой и средней мощности, не требующих полной автономии от источника питания.)

Гидропривод включает гидрообъемное силовое оборудование (гидронасосы, гидродвигатели, силовые гидроцилиндры).

В объемном гидроприводе механическая энергия, вырабатываемая первичным двигателем (ДВС или электродвигателем), для удобства ее передачи вначале преобразуется в энергию потока рабочей жидкости, а затем вновь в механическую.

Преимущества гидравлического привода:

- 1) небольшие масса и габариты;
- 2) бесступенчатая регулировка скорости дает возможность повысить КПД приводного двигателя;
- 3) возможность получения больших (1000 и более) передаточных чисел;

- 4) преобразование вращательного в поступательное движение (и обратно);
- 5) малая инерция (из-за малых масс и габаритов) обеспечивает включение машины и регулирование рабочих движений за доли секунды, т. е. повышает производительность машины в целом.

Но эти достоинства влекут за собой и некоторые недостатки. К ним относятся:

- 1) относительно высокая стоимость (качественный металл, высокая точность при изготовлении, сборке и т. д.);
- 2) сложность эксплуатации (контроль за состоянием соединений, утечки рабочей жидкости и, как результат, потеря мощности);
- 3) необходимость специальных жидкостей для различных климатических условий;
- 4) снижение КПД при использовании длинных трубопроводов (из-за потерь на трение);
- 5) высокие динамические нагрузки из-за быстрого действия (время срабатывания 0,03-0,12 с).

Объемный гидропривод получил распространение в большинстве строительных и дорожных машин.

В его состав входят:

- 1) гидронасосы, создающие один или несколько потоков рабочей жидкости и имеющие устройства для их регулирования;
- 2) гидродвигатели (гидромоторы и гидроцилиндры);
- 3) устройства коммутации потоков энергии (гидрораспределители и гидроклапаны);
- 4) соединительные линии (трубопроводы, рукава высокого давления, коллекторы);
- 5) вспомогательные устройства гидравлического привода не основных рабочих механизмов (выносных опор и др.);
- 6) устройства для кондиционирования рабочей жидкости (фильтры, теплообменники, баки);
- 7) устройства для подпитки гидронасосов и гидродвигателей.

Объемные гидроприводы классифицируют по ряду признаков:

- 1) по *конструктивному признаку* - открытые (сливная магистраль сообщается с атмосферой) и закрытые, имеющие небольшой подпор жидкости на сливе (0.2-0.3 МПа), созданный дополнительным насосом;
- 2) по *виду энергопреобразования* - шестеренные, поршневые, пластинчатые;
- 3) по *регулируемости параметров* - регулируемые, ступенчато и непрерывно регулируемые, нерегулируемые;
- 4) по *характеру движения выходного звена* - с возвратно-поступательным (гидроцилиндры), с вращательным (гидродвигатели) и возвратно-поворотным движением;
- 5) по *назначению* - основные и вспомогательные;
- 6) по *системе управления* – с ручной, электрической, гидравлической и электрогидравлической системой управления;
- 7) по *количеству генерируемых потоков жидкости* - одно-, двух-, трех и четырехпоточные.

Гидропривод работает при давлениях до 30-40 МПа (современная тенденция развития состоит в увеличении давления).

В качестве рабочей жидкости используют различные минеральные масла. Рабочая жидкость должна обладать хорошей смазывающей способностью, не вызывать коррозию металла, не менять свойства при изменении температуры. Она должна быть безопасной и не образовывать пены и осадка. Этим требованиям отвечают масла, получаемые из низкозастывающих фракций нефти с присадками (антиокислительными, антипенными, противоизносными и др.). Например, масла всепогодные (типа ВМГЗ) или летние (типа МГ 30).

В объемном гидроприводе, как отмечалось, имеются сочетания гидронасосов и гидродвигателей, трубопроводов, предохранительных клапанов, емкостей для рабочей жидкости, фильтров, дросселей, соединительной аппаратуры и распределительных устройств.

Применение объемных гидропередатчиков позволяет производить простое бесступенчатое регулирование скоростей исполнительных механизмов, а также осуществить их надежную защиту от перегрузок.

Схемы объемного гидропривода зависят от типа машин, технологии работ и требований к их технологическим показателям.

Объемный гидропривод выполняют в двух вариантах:

- 1) гидропривод передаёт движение двум и более гидродвигателям при однопоточной насосной установке (в этом случае осуществляют параллельное или последовательное включение гидродвигателя);
- 2) гидропривод передаёт движение гидродвигателям при многопоточной насосной системе (каждый насос питает один или группу гидродвигателей (наиболее сложные гидросхемы у гидравлических одноковшовых экскаваторов)).

Как было отмечено, основной недостаток объемного гидропривода - это сложность эксплуатации и относительно малая долговечность: из-за быстрого ($\tau = 0.03...0.12$ с) нарастания давления жидкости в рабочих органах возникают большие динамические нагрузки в элементах конструкции. Для его устранения используют, например, гидроцилиндры с гидравлическим демпфированием конечного положения: удароликвидирующие клапаны в гидросистеме и др.

Как правило, гидропривод включает силовую установку (ДВС или электродвигатель), механическую или другую передачу, гидропередачу, систему управления и вспомогательные устройства. Механическую передачу целесообразно применять в двух случаях:

- 1) для преобразования частоты вращения вала первичного двигателя в требуемую частоту вращения насоса (первого звена гидропередачи);
- 2) для преобразования параметров движения после гидродвигателя (последнего звена гидропередачи).

Если же номинальные частоты вращения насоса и первичного двигателя совпадают, то необходимость в механической передаче отпадает. Нет также необходимости в механической передаче на участке трансмиссии гидродвигатель - рабочий орган, если скорости их движения совпадают.

Как уже отмечалось, в большинстве машин применяют объемный (статический) гидропривод. В нем используется статический напор (энергия) практически несжимаемой рабочей жидкости, нагнетаемой насосами.

В гидроприводах дорожно-строительных машин наиболее распространены шестеренные, поршневые (аксиально- и радиально-поршневые) и лопастные (пластинчатые) насосы и гидромоторы, а также силовые гидроцилиндры.

Для указанных роторных гидромашин (шестеренных, поршневых, винтовых, пластинчатых) одним из основных свойств является их *принципиальная обратимость*, т.е. способность работать как в качестве насоса, так и гидромотора.

3.3.3 ДВС - компрессор - пневмодвигатель (пневматический привод)

Пневматический привод близок по конструкции гидравлическому приводу. В пневматическом приводе механическая энергия силовой установки преобразуется в энергию движения сжатого воздуха ($p = 0.5...0.8$ МПа) и обратно - в движение исполнительного механизма.

Пневматический привод используют в приводах пневмомолотов, вибраторов и других машин, а также в системах управления машинами

Их достоинства:

- 1) плавное включение и торможение механизмов;
- 2) надежность и простота в обслуживании;
- 3) малая чувствительность к динамическим нагрузкам;
- 4) способность переносить перегрузки (вплоть до стопорения). Недостатки:
 - 1) невысокая удельная мощность;
 - 2) трудность точного регулирования (из-за высокой сжимаемости воздуха);
 - 2) низкий КПД;
 - 3) большой шум при работе.

Основными агрегатами пневматического привода являются компрессор, воздухопровод (ресивер), пневматические двигатели, соединительные воздухопроводы, регуляторы давления и предохранительные клапаны, воздушные фильтры и масло-влагодотделители.

Компрессоры предназначены для выработки сжатого воздуха. Их приводят двигателем внутреннего сгорания или электродвигателем. Двигатель внутреннего

сгорания - компрессор - система воздухоподготовки образуют переносные или передвижные компрессорные установки (станции).

По принципу действия компрессоры разделяют на поршневые, ротационные, турбинные, диафрагменные и винтовые. Всасывание воздуха, его сжатие и нагнетание в ресивер производят движением вытеснителей (поршней, пластин, зубьев шестерен, диафрагм, винтов).

Поршневой компрессор (рис. 3.3) представляет собой цилиндр 4, в котором перемещается поршень 5. Возвратно-поступательное движение поршня обеспечивается приводимым от двигателя 7 коленчатым валом 6 с шатуном 8. На крышке цилиндра установлены пружинные автоматически действующие клапаны - всасывающий 9 и нагнетающий 3. При движении поршня вниз в цилиндре создается разрежение, вследствие чего автоматически открывается клапан 9, и в рабочую камеру из атмосферы через фильтр 1 всасывается воздух. При движении поршня вверх клапан 9 закрывается и воздух в цилиндре компрессора одноступенчатого сжатия сжимается.

Когда давление воздуха в рабочей камере достигает определенного значения (обычно 0.8 МПа), открывается клапан 3 и воздух выталкивается из цилиндра в воздухоотборник 2. За один оборот коленчатого вала происходит полный цикл работы компрессора: всасывание воздуха, его сжатие и нагнетание.

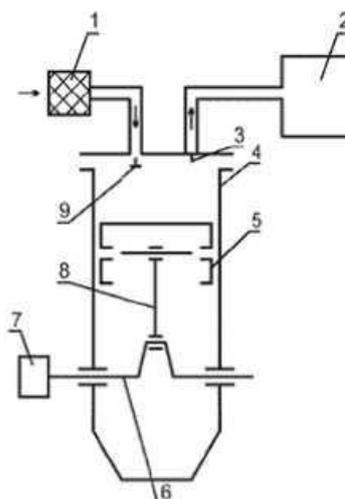


Рисунок 3.3 – Схема поршневого компрессора одноступенчатого сжатия

Поршневые компрессоры бывают одно- и многоцилиндровыми с одно- и

многоступенчатым сжатием ($\eta_{мсс} = 1.1 \dots 1.15 \eta_{осс}$). В двухступенчатом происходит сжатие сначала до 0.2-0.25 МПа, затем до 0.4-0.8 МПа.

Воздухосборник (ресивер) предназначен для накопления сжатого рабочего воздуха, уменьшения пульсации давления в нагнетательной пневмолинии, а также для охлаждения и очистки воздуха от воды и масла.

Пневматические двигатели предназначены для преобразования энергии сжатого воздуха в возвратно-поступательное или вращательное движение выходного звена. Они подразделяются на пневмомоторы и пневмоцилиндры.

Конструктивно они похожи на гидромоторы и гидроцилиндры. Но рабочие цилиндры значительно больше по размерам, чем гидроцилиндры, из-за меньших давлений в пневмосистеме.

Пневмоаппараты (пневмораспределители, предохранительные, редукционные обратные клапаны, пневмодрессели) служат для изменения направления движения рабочего воздуха к пневмодвигателям изменения или стабилизации (поддержания на постоянном заданном уровне) расхода и давления в пневматическом приводе.

3.4 Трансмиссии

Трансмиссией называют систему устройств для передачи движения и преобразования энергии от силовой установки к механизмам и рабочим органам машины. Трансмиссия позволяет изменять по величине и направлению развиваемые силовой установкой скорости, крутящие моменты и усилия.

Любая трансмиссия является разомкнутой системой, имеющей вход и выход. Вход соединен с силовой установкой, выход - с исполнительным механизмом рабочего органа.

Эффективность работы любой трансмиссии, ее способность преобразовывать скоростные и силовые показатели двигателя характеризуются несколькими параметрами, которые связывают ее входные и выходные характеристики (мощ-

ности $N_{\text{ВХ}}$ и $N_{\text{ВЫХ}}$, V , крутящие моменты $M_{\text{ВХ}}$ и $M_{\text{ВЫХ}}$, A , угловые скорости $\omega_{\text{ВХ}}$ и $\omega_{\text{ВЫХ}}$ или частоты вращения $n_{\text{ВХ}}$ и $n_{\text{ВЫХ}}$.

Во-первых, это КПД характеризующий потери мощности в трансмиссии

$$\eta = \frac{N_{\text{ВЫХ}}}{N_{\text{ВХ}}} \quad (3.10)$$

Во-вторых, *передаточное число*, характеризующее способность трансмиссии изменять величину скорости

$$u = \frac{\omega_{\text{ВХ}}}{\omega_{\text{ВЫХ}}} = \frac{n_{\text{ВХ}}}{n_{\text{ВЫХ}}} \quad (3.11)$$

В-третьих, *коэффициент преобразования момента*, т.е. способность трансмиссии изменять величину момента

$$K_{\text{пр}} = \frac{M_{\text{ВЫХ}}}{M_{\text{ВХ}}} = \eta u \quad (3.12)$$

И, наконец, в-четвертых, *диапазон трансмиссии*, т.е. диапазон регулирования скорости на выходе трансмиссии

$$q = \frac{\omega_{\text{ВЫХ.МАХ.}}}{\omega_{\text{ВЫХ.МИН.}}} = \frac{n_{\text{ВЫХ.МАХ.}}}{n_{\text{ВЫХ.МИН.}}} \quad (3.13)$$

Где: $\omega_{\text{ВЫХ.МАХ.}}$, $\omega_{\text{ВЫХ.МИН.}}$ — соответственно максимальная и минимальная угловые скорости на выходе, рад/с;

$n_{\text{ВЫХ.МАХ.}}$, $n_{\text{ВЫХ.МИН.}}$ - соответственно максимальная и минимальная частоты вращения на выходе, об/мин.

Важным показателем трансмиссии является степень ее прозрачности (способность передавать колебания внешней нагрузки силовой установке). В прозрачных трансмиссиях любые колебания внешней нагрузки передаются силовой установке, что усложняет режим работы и снижает экономичность работы последней.

Поэтому для предохранения силовой установки от перегрузок используют трансмиссии с меньшей степенью прозрачности.

Трансмиссии классифицируют по ряду признаков. Во-первых, *по способу передачи энергии* трансмиссии разделяют на механические, электрические, гидравлические и комбинированные.

Во-вторых, *по способу изменения передаточных чисел* различают трансмиссии ступенчатые, бесступенчатые и комбинированные.

Ступенчатые трансмиссии имеют заданные интервалы (ступени) передаточных чисел, при которых работа машины приближается к оптимальным значениям, *бесступенчатые* - позволяют в заданном интервале передаточных чисел иметь любое их значение, что обеспечивает наиболее производительную и экономичную работу машины.

В *комбинированных трансмиссиях* имеют место интервалы ступенчатой передачи, внутри которых возможно их бесступенчатое регулирование.

В-третьих, *по типу исполнительного механизма* различают трансмиссии с передачей движения:

- а) на ведущие колеса движителя, обеспечивающие передвижение машины с различными скоростями и силой тяги;
- б) на валы отбора мощности, необходимой для привода рабочих органов машины;
- в) на привод насосов в гидросистемах трансмиссий и навесных рабочих органов.

Все они, кроме механических, имеют участки, на которых механическая энергия первичной силовой установки преобразуется в энергию других видов, а затем снова в механическую.

В механических трансмиссиях основными элементами являются зубчатые, червячные, цепные, ременные, канатно-блочные (полиспастные) передачи. В состав трансмиссии входят также сцепные, соединительные и предохранительные муфты, тормоза, а также различные механические устройства для изменения направления, частоты вращения и крутящего момента.

Механические трансмиссии разделяют на *редукторные* и *канатноблочные (полиспастные)*.

В *редукторных* основные элементы - это редукторы в сочетании с различными передачами (зубчатыми, карданными, цепными, ременными и др.). Они образуют коробки скоростей, раздаточные редукторы, ведущие мосты и др. Их, как правило, используют для передачи движения только на короткие расстояния.

Наибольшее применение в трансмиссиях машин имеют зубчатые передачи, обеспечивающие высокий КПД передачу больших мощностей, заданные значения передаточных чисел и достаточную надежность.

На тракторах мощностью до 120 кВт чаще всего применяют *ступенчатые зубчатые трансмиссии*. Конструкция их наиболее отработана, они относительно просты и надежны в работе, имеют довольно высокий КПД низкую стоимость и удобны в эксплуатации. Вместе с тем ступенчатое регулирование крутящих моментов приводит к малоэффективному использованию мощности двигателя.

Ступенчатые трансмиссии выполняются по двум силовым схемам. В пневмоколесных тракторах мощность двигателя, передаваемая на ведущие колеса трактора, разделяется после коробки передач, что обуславливает наличие одной центральной передачи, размещаемой, как правило, в корпусе ведущего моста трактора. Такая схема относительно проста, хорошо komponуется, имеет высокий механический КПД, а также низкие показатели материалоемкости и высокую ремонтпригодность.

В гусеничных тракторах мощность двигателя разделяется перед коробкой передач или в ней, что обуславливает наличие двух центральных передач. Это обеспечивает меньшую силовую нагруженность деталей коробки передач и центральной передачи, а также их установку на менее нагруженные части трансмиссии до центральной передачи.

При относительно больших размерах передач (например, на одноковшовых экскаваторах с гибкой подвеской) пользуются *канатно-блочными трансмиссиями*. Их составные части - это лебедки и полиспасты (системы подвижных и неподвижных блоков, связанных канатом).

К достоинствам механических трансмиссий можно отнести:

- 1) относительную простоту конструкции;
- 2) небольшую стоимость;
- 3) сравнительно точное соблюдение заданных скоростей и моментов;
- 4) достаточную надежность в работе.

Недостатки:

- 1) значительные потери энергии в передачах, муфтах и тормозах;
- 2) ступенчатое изменение скоростей и моментов;
- 3) сложность конструкции и компоновки передачи при широком диапазоне регулирования скоростей и моментов;
- 4) существенное увеличение массы (и стоимости) при увеличении расстояния от двигателя.

При необходимости расширения диапазона регулирования скоростей и крутящих моментов приходится усложнять трансмиссии, что ухудшает безотказность и ремонтпригодность машины. Кроме того, механические трансмиссии полностью прозрачны, т.е. колебания внешней нагрузки практически полностью передаются силовой установке.

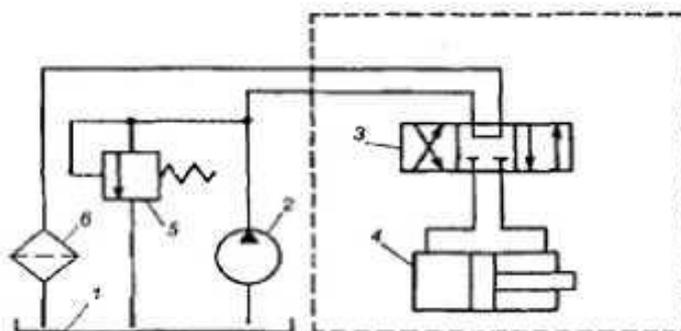
Между тем, механические трансмиссии широко применяют в приводах ходового оборудования средних бульдозеров, автотранспортных средств и тракторов. В приводах машин для земляных работ все большее распространение имеют многопоточные планетарные зубчатые передачи, которые обеспечивают меньшие размеры и массу, а также больший КПД по сравнению с обычными зубчатыми передачами (с неподвижными осями колес). Их применяют в передачах колесных и гусеничных погрузчиков, скреперов и бульдозеров, траншейных экскаваторов, катков, а также в приводах механизмов поворота и хода одноковшовых экскаваторов.

Основными резервами совершенствования механических передач являются повышение надежности их элементов, а также использование новых, более эффективных кинематических схем.

Объемные гидropередачи являются основой гидропривода. В них рабочее усилие или крутящий момент практически не зависит от скорости движения рабочей жидкости. В объемной гидropередаче должны быть две основные гидравлические машины, соединенные между собой трубопроводами: объемный гидронасос, преобразующий поток механической энергии (крутящий момент) в поступательный силовой поток гидравлической энергии и гидромотор, преобразующий гидравлический поток в механический крутящий момент.

Как отмечалось, по типу передачи жидкости от насоса к мотору объемные гидropередачи бывают открытые и закрытые (без доступа воздуха к жидкости). В открытых гидropередачах жидкость из бака подается насосом к исполнительному механизму (гидроцилиндру) и, совершив работу, возвращается в бак.

Типичная схема открытой гидropередачи (для привода элементов рабочего оборудования (стрелы, рукояти, ковша) одноковшового экскаватора) имеет следующий вид (рисунок 3.4).



1 - гидробак; 2 - насос (неревверсивный); 3 - гидрораспределитель; 4 – гидроцилиндр; 5 - предохранительный клапан; 6 – фильтр.

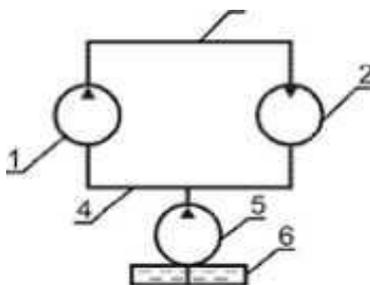
Рисунок 3.4 - Схема открытой гидropередачи

Вал (входное звено) насоса 2 приводится во вращение от вала ДВС или через механическую передачу. Рабочая жидкость, поступившая в насос из бака I по всасывающей линии, подается под давлением по напорной линии через парораспределитель 3 и рабочую линию в полость гидроцилиндра 4. Под действием жидкости поршень перемещается вместе со штоком, в результате чего элемент рабочего оборудования выполняет рабочее движение. Золотник гидрораспределителя

3 может занимать одно из трех возможных положений. В среднем (нейтральном) положении обе полости гидроцилиндра 4 заперты, и его поршень неподвижен. При перемещении золотника влево рабочая жидкость насосом 2 нагнетается в левую полость гидроцилиндра, а его правая полость при этом сообщается со сливом через фильтр 6. В результате поршень гидроцилиндра перемещается вправо до тех пор, пока золотник распределителя смещен относительно нейтрального положения. При перемещении золотника вправо рабочая жидкость насосом 2 нагнетается в правую полость гидроцилиндра, а его левая полость при этом сообщается со сливом также через фильтр 6. В результате поршень гидроцилиндра также перемещается влево до тех пор.

пока золотник распределителя смещен относительно нейтрального положения. Поршень при данных перемещениях может дойти до упора в стенку цилиндра, тогда давление рабочей жидкости повысится настолько, что откроется предохранительный клапан 5 и жидкость, подаваемая насосом 2 начнет сливаться в гидробак 1. Следует отметить, что в современных дорожно-строительных машинах открытые гидропередачи практически не используются.

В закрытых гидропередачах жидкость из сливной полости гидроцилиндра возвращается во всасывающую полость насоса. Закрытые гидропередачи отличаются большей компактностью т. к. имеют бак небольших размеров и дополнительный насос, предназначенный только для пополнения утечки рабочей жидкости (рисунок 3.5).



1 - гидронасос; 2 - гидромотор; 3 и 4 - нагнетательная и всасывающая гидролинии; 5 - насос подпитки; 6 – бак.

Рисунок 3.5 - Схема объемной гидропередачи закрытого типа:

Современные роторные гидромашины имеют малые габариты и массу. Их удельная масса достигает 0.1-0.2 кг/кВт. при КПД $\tau = 0,85...0,90$. Поэтому они обладают малой инерцией. Например, маховая масса гидродвигателя вращательного действия в несколько раз меньше маховых масс электродвигателя той же мощности.

Гидромоторы могут быть *низко-* и *высокомоментными*. *Низкомоментные гидромоторы* являются быстроходными двигателями и характеризуются малыми величинами отношения $M/\omega >$ (от 0,06 до 60 Н×м×с⁻¹). Соответственно *высокомоментные гидромоторы* являются тихоходными с большими значениями M/ω , достигающими 1200 Нм×с⁻¹.

Если $\omega < 10$ рад/с и $M > 1000$ Н м, то гидродвигатель считается высокомоментным (его N / m в 2-5 раз хуже, чем у низкомоментного).

Шестеренные насосы и двигатели выполняют с внешним и внутренним зацеплением. Их преимущества - простота конструкции и малая стоимость. Их используют в тех передачах, где величина КПД не имеет существенного значения. Подача составляет до 960 л/мин при давлении до 21 МПа (односекционные насосы развивают давление до 10 МПа). КПД не превышает 0.60-0.75 (наименьший из насосов). Шестеренные двигатели используют в нерегулируемых быстроходных передачах, не требующих большого пускового момента.

Аксиально-поршневые насосы и гидромоторы компактны, имеют большей КПД достигающий при высоких давлениях 0.95, сравнительно малую инерционность и удельную мощность до 12 кВт/кг. Их недостатки - необходимость тщательной фильтрации рабочей жидкости и низкая долговечность. Применяются в главных и вспомогательных приводах одноковшовых и многоковшовых экскаваторов, скреперах и бульдозерах, грейдерах и других машинах для земляных работ. Они развивают рабочее давление до 16-18 МПа (и более).

Радиально-поршневые гидромашины используют для передачи больших крутящих моментов при невысокой частоте вращения вала, поэтому в объемном гидроприводе машин радиально-поршневые моторы устанавливают непосредственно на ведущих колесах. Ограниченное использование таких гидромоторов объясняется их малой универсальностью и высокой стоимостью.

Силовые гидроцилиндры - это простейшие гидродвигатели с возвратно-поступательным (или возвратно-поворотным в некоторых случаях) движением по-

движного звена, применяемые для привода элементов рабочего оборудования строительных и дорожных машин.

Различают гидроцилиндры одностороннего действия, передающие принудительное движение звену только в одном направлении, и двухстороннего действия, у которых подвижное звено может принудительно перемещаться в противоположных направлениях. Отверстия в хвостовике корпуса и головке штока служат для шарнирного присоединения гидроцилиндра посредством цапф или пальцев, вращающихся во втулках подшипников скольжения. Подвижным звеном может быть и корпус, и шток. Для компенсации перекосов соединяемых элементов нередко гидроцилиндры устанавливают на сферических подшипниках.

Главные показатели эксплуатационных характеристик гидроцилиндра - их внутренний диаметр и рабочее давление.

К отмеченным ранее особенностям гидропривода следует добавить основные достоинства объемной гидропередачи:

- бесступенчатое регулирование крутящего момента в широком диапазоне и его плавная передача на исполнительный механизм;
- большая свобода компоновки трансмиссии и сравнительная простота подвода мощности к ходовому оборудованию и рабочим органам машины;
- возможность реверсирования хода и регулирования торможения без дополнительных устройств;
- предохранение двигателя и трансмиссии от перегрузок;
- легкость и простота управления.

К недостаткам объемной гидропередачи можно отнести следующее:

- КПД меньше, чем у механической трансмиссии;
- большие габариты при малых значениях давления (до 15 МПа) рабочей жидкости и трудности уплотнения при больших значениях давления (28-35 МПа);
- зависимость КПД от температурных условий.

Объемные гидропередачи являются самыми распространенными в дорожных, строительных, подъемно-транспортных машинах. Современные системы автоматического регулирования их работы для поддержания режима максимальной

мощности и оптимальной экономичности ДВС обеспечивают объемным гидропередачам высокую конкурентоспособность.

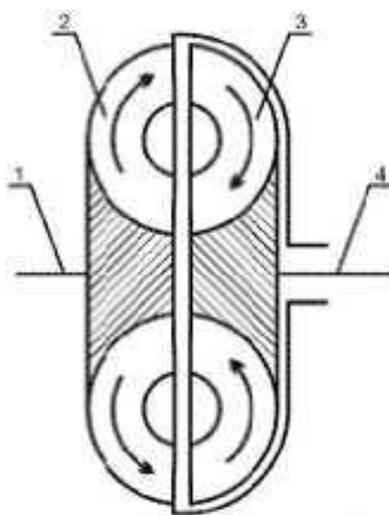
В *гидродинамических передачах (ГДП)*, в отличие от механических, нет жестких связей между источником энергии и ее потребителем.

Их обязательными элементами являются *гидродинамические муфты* и *гидродинамические трансформаторы*. Их располагают между двигателем и исполнительным механизмом.

Гидромуфты имеют два рабочих колеса: насосное, соединенное с двигателем, и турбинное, связанное с исполнительным механизмом (ведомым валом) (рис. 3.6).

Внутренние полости обоих колес разделены наклонными в радиальном направлении лопатками и заполнены рабочей жидкостью. При вращении насосного колеса рабочая жидкость за счет центробежных сил устремляется на периферию, вследствие чего в периферийной зоне создается повышенное давление, способствующее перетеканию жидкости в полость турбинного колеса, а в расположенной ближе к центру зоне создается разрежение, способствующее подсосыванию жидкости из полости турбинного колеса. В процессе перехода рабочей жидкости из насосного колеса в турбинное, она воздействует на лопатки турбины, заставляя последнюю вращаться. Турбинное колесо отстает от насосного: $\omega_t < \omega_n$ и. КПД зависит от угловой скорости и может достигать $\eta_{ном} = 0.94...0.97$.

Гидромуфты (ГМ) не предназначены для преобразования величины и направления крутящего момента. Их располагают между ДВС и исполнительным механизмом. Они служат защитой ДВС от перегрузок, а также для автоматического бесступенчатого изменения скорости движения рабочего органа в зависимости от внешней нагрузки. Их используют также в качестве предохранительных муфт. В приводах с ГМ двигатель можно запускать без отключения трансмиссии.



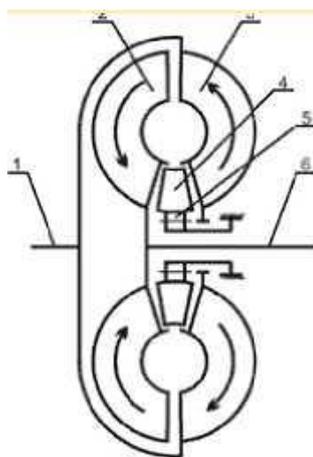
1 - входной вал (от ДВС); 2 - насосное колесо; 3 турбинное колесо; 4 выходной вал (на ИМ).

Рисунок 3.6 – Гидромукфта

Гидротрансформаторы, помимо упомянутых ранее достоинств ГМ, обладают свойством автоматического бесступенчатого изменения передаточного числа в зависимости от момента сопротивления на турбинном колесе. Это свойство даст возможность использовать гидротрансформатор в трансмиссии машины как коробки передач с бесступенчатым изменением передаточного числа. Однако при этом в трансмиссии должен быть установлен дополнительный механический редуктор для получения заднего хода.

Гидротрансформаторы (ГТ) (рисунок 3.7) имеют три рабочих колеса: насосное 3, турбинное 2 и реакторное 4. Последнее может быть установлено неподвижно или на обгонной муфте 5.

При работе гидротрансформатора масло захватывается лопатками вращающегося насосного колеса 3, отбрасывается центробежной силой к наружной окружности и попадает на лопатки турбинного колеса 2. Благодаря создаваемому при этом напору колесо приводится в движение вместе с выходным валом 1. Затем жидкость поступает на лопатки неподвижно закрепленного реакторного колеса 4, изменяющего направление потока жидкости, и опять поступает к насосному колесу, непрерывно циркулируя по замкнутому кругу внутренней полости рабочих колес и участвуя в общем вращении с колесами.



1 выходной вал; 2 - турбинное колесо; 3 - насосное колесо; 4 реакторное колесо; 5 - обгонная муфта; 6 входной вал

Рисунок 3.7 - Гидротрансформатор

Лопатки неподвижного реакторного колеса изменяют направление проходящего через него потока жидкости. На лопатках реактора возникает усилие, вызывающее появление реактивного момента. Таким образом, реактор даст возможность получать на валу турбинного колеса крутящий момент, отличающийся от момента, передаваемого двигателем.

Если реактор неподвижен, то при изменении внешней нагрузки в ГТ преобразуется не только скорость, но и крутящий момент. При этом, вне зависимости от внешней нагрузки, момент и угловая скорость на насосном колесе (т.е. и на валу ДВС) изменяются незначительно, чем обеспечивается защита ДВС от перегрузок. Максимальный КПД ГТ составляет $\eta = 0.85 \dots 0.87$.

Если реакторное колесо установлено на обгонной муфте, она включается автоматически при малых нагрузках, вследствие чего реакторное колесо вращается вместе с насосным и турбинным колесами. В этом случае ГТ работает в режиме ГМ с более высоким КПД

ГТ классифицируют по ряду основных признаков:

1) *по числу турбинных колес их разделяют на одноступенчатые и многоступенчатые.* Одноступенчатые ГТ просты и экономичны. Для расширения диапазона эксплуатации с высоким КПД реакторное колесо устанавливают на обгонную муфту (см. рис. 3.7). При этом передача может работать в режиме гидро-

трансформатора при неподвижном реакторном колесе и переходить в режим гидромуфты при его вращении. В ряде случаев комплексные гидропередачи выполняют с двумя реакторами:

2) *по направлению потока* жидкости различают ГТ с *центростремительной осевой* и *центробежной турбинами*. На современных машинах применяют гидротрансформаторы только с центростремительной турбиной, которая располагается в рабочей полости ГТ точно напротив насосного колеса. В двух- и трёхступенчатых ГТ различные ступени турбинных колес выполняют центробежными и центростремительными;

3) *по влиянию нагрузки* на валу турбины на режим работы насоса различают ГТ с *непрозрачной* и *прозрачной характеристиками*. У ГТ с непрозрачной характеристикой при изменении крутящего момента на турбинном колесе не меняется крутящий момент на насосном колесе, которое связано с валом двигателя. В результате двигатель работает в постоянном нагрузочном режиме. У ГТ с прозрачной характеристикой при изменении крутящего момента на турбинном колесе меняется крутящий момент на насосном колесе. Это позволяет изменять крутящий момент при изменении нагрузки на валу двигателя.

Таким образом, гидродинамическая передача, передающая крутящий момент без его преобразования - это гидромуфта, а передача, преобразующая крутящий момент, - гидротрансформатор.

ГМ по сравнению с фрикционными сцеплениями, применяемыми в механических трансмиссиях, имеют следующие преимущества: значительно снижают динамические нагрузки в двигателе; не требуют регулировок в эксплуатации; упрощают управление и повышают проходимость машины. Однако они не обеспечивают «чистоты включения», что затрудняет переключение передач в механических коробках передач с разрывом потока мощности, а также снижает на 2-1% КПД трансмиссии, так как они всегда работают со скольжением. По этой причине ГМ применяются реже по сравнению с гидротрансформаторами.

ГТ широко применяют в приводах дорожных машин, машин для земляных работ, где с изменением внешних нагрузок следует автоматически изменять рабо-

чие скорости, а также снижать динамические нагрузки при стопорении рабочих органов при встрече с непреодолимым препятствием. Их недостатками являются сравнительно низкий КПД, что вынуждает увеличивать мощность силовой установки; передача мощности только на расстояния, ограниченные их габаритными размерами, а также передача только вращательного движения.

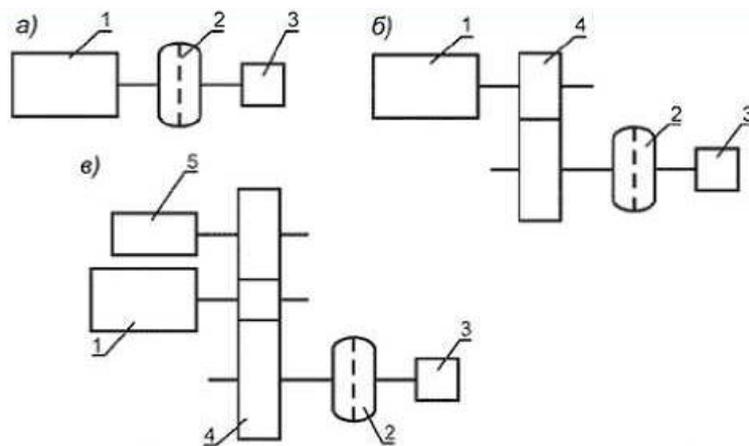
Необходимо отметить, что ГТ в качестве коробки передач применяется редко, так как диапазон его силового регулирования относительно мал (коэффициент преобразования момента $K_{np} < 2,5 \dots 4$). Для его увеличения ГТ сочетают с механическими коробками передач.

Большой эффект дает совмещение механических трансмиссий с ГДП. Последние обеспечивают быстрый разгон и торможение, хорошо гасят крутильные колебания, выполняют функции автоматических бесступенчатых коробок скоростей и согласовывают работу механизмов, получающих энергию от одного приводного двигателя. Например, на одноковшовом экскаваторе ЭО-5111Б вместо главной муфты применен гидротрансформатор, который выполняет предохранительные функции. ГТ надежно ограничивает нагрузки, передаваемые от механизмов одноковшового экскаватора к двигателю. Так, при мгновенной остановке трансмиссии, эти нагрузки в несколько раз превышают номинальные.

Как правило, *гидромеханической трансмиссией* считают систему передач, содержащую ГДП, с приводом от ДВС

Все возможные схемы соединений коленчатого вала ДВС с валом насосного колеса ГТ можно разделить на схемы с последовательным и параллельным включением. При последовательном соединении диапазон регулирования передаточных чисел большой, но КПД передачи - более низкий. При параллельном соединении КПД передачи увеличивается.

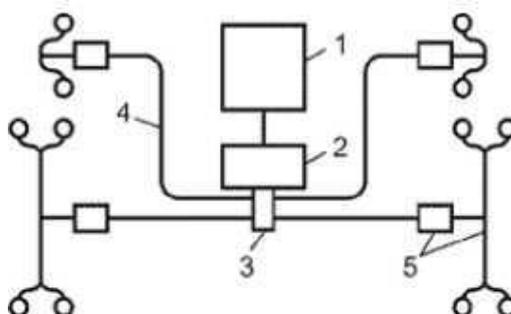
В машинах для земляных работ в основном используют схему с последовательным включением. На рисунке 3.8 показаны распространенные структурные схемы соединений коленчатого вала ДВС с валом насосного колеса ГДП:



а - непосредственное соединение ДВС и ИТ; б - непосредственное соединение ДВС и ИТ с отбором мощности на привод вспомогательных механизмов; в - соединение через промежуточный редуктор с отбором мощности на привод вспомогательных механизмов; 1 - ДВС; 2 - ГТ; 3 - исполнительный механизм; 4 - редуктор; 5 - вспомогательные механизмы.

Рисунок 3.8 - Структурные схемы соединений коленчатого вала ДВС с валом насосного колеса ГДЛ

ГДП применяют в основном на мощных колесных и гусеничных машинах в сочетании с планетарными коробками передач, на промышленных тракторах малой и средней мощности используют взаимозаменяемые трансмиссии (ГТ на механическую ступенчатую коробку передач). По-видимому, в дальнейшем механические коробки передач на промышленных тракторах не смогут конкурировать с ГДП, особенно на мощных машинах. Перспективным является применение в тракторных трансмиссиях блокируемых ГМ и комплексных ГТ.



1 - двигатель внутреннего сгорания; 2 - электрогенератор; 3 - блок управления; 4 - электрокабель; 5 - мотор-колесо.

Рисунок 3.9 - Схема привода хода карьерного самосвала БелАЗ

В электрических трансмиссиях крутящий момент двигателя передаётся к исполнительным механизмам, как правило, с помощью электрогенератора постоянного тока, приводимого в действие двигателем внутреннего сгорания. Обратным преобразователем тока в механическую энергию в большинстве случаев является тяговый электродвигатель с последовательным возбуждением, имеющий большой пусковой крутящий момент. При работе под нагрузкой такие электродвигатели обладают хорошей способностью к саморегулированию: с повышением нагрузки его крутящий момент увеличивается, а с понижением уменьшается. Эта способность электродвигателя обеспечивает бесступенчатое регулирование параметров электрической трансмиссии. На рисунке 3.9 представлена схема привода хода БелАЗа, содержащего электрическую трансмиссию.

Эти трансмиссии имеют следующие достоинства:

- бесступенчатое регулирование крутящего момента на ведущих колесах;
- свободный выбор колесной формулы машины и простота ее общей компоновки:

компоновки:

- упрощение механической части трансмиссии;
- возможность реализации на мотор-колёс большой мощности.

К недостаткам электрической трансмиссии следует отнести сравнительно низкий КПД и большую массу агрегатов трансмиссии.

Электрические трансмиссии имеют наименьшую область применения. Их используют на мощных и сверхмощных машинах, в частности, на промышленных тракторах большой мощности (более 650 кВт) и большегрузных самосвалах. Электрическую трансмиссию, выполняющую роль коробки передач в сочетании с другими агрегатами механической трансмиссии, называют *электромеханической*.

Электрические трансмиссии выполняют по двум принципиальным схемам:

а) источник электрической энергии - генератор - находится непосредственно на машине и приводится в действие от двигателя внутреннего сгорания машины. Такая схема применяется на тракторах и самосвалах;

б) источник электрической энергии находится вне машины, электрическая трансмиссия преобразует электроэнергию, поступающую извне, в механиче-

скую электродвигателя (например, в гусеничных кранах). Эту схему можно назвать комбинированной, так как для автономной работы может подключаться двигатель внутреннего сгорания, установленный на машине.

3.5 Системы управления

Система управления - это совокупность приборов и устройств для управления машиной, позволяющих контролировать работу двигателя, механизмов привода, рабочего оборудования и воздействовать путем изменения величины и направления скоростей, моментов и усилий.

Система управления состоит:

- 1) *из пульты* управления с органами управления (приборами, педалями, рукоятями, кнопками);
- 2) *системы передач* (тяг, рычагов, распределителей, золотников, трубопроводов);
- 3) *исполнительных механизмов*, включающих двигатели, тормоза, муфты и пр.

Основными параметрами систем управления являются:

- 1) усилия, развиваемые на исполнительном органе;
- 2) скорости движения рабочего звена исполнительного органа;
- 3) число и продолжительность включений в единицу времени (час);
- 4) быстрота срабатывания;
- 5) КПД.

В зависимости от этих параметров подбирают соответствующий тип системы управления (в частности, по конструктивному исполнению, степени автоматизации, необходимости усиления).

Системы управления классифицируют по ряду основных признаков:

- 1) *по назначению* различают системы управления двигателями, установкой рабочих органов, муфтами и тормозами;
- 2) *по конструктивному исполнению* системы управления разделяют на механические рычажные, гидравлические, пневматические, электрические и комбинированные (гидромеханические, электропневматические);

3) по степени автоматизации системы управления подразделяют на неавтоматизированные (ручные), полуавтоматические и автоматические.

В свою очередь, неавтоматизированные (ручные) системы управления могут быть непосредственного действия или с усилителями (системы с сервоприводом).

4) Системы управления непосредственного действия используются, если:

- усилие и ход перемещения для руки равны

$$\begin{cases} 1,5 < F \leq 40H \\ 0,12 < L < 0,25\text{м} \end{cases}$$

- усилие, ход перемещения и угол поворота для ноги равны

$$\begin{cases} 1,5 < F \leq 80H \\ 0,12 \leq L \leq 0,2\text{м} \\ \alpha \leq 60^\circ \end{cases} \quad (3.13)$$

Передаточные числа u назначают обычно в пределах:

- для хода педали - от 24 до 40;
- угловое (для штурвала) - от 18 до 24.

Меньшие значения и применяют для легких, большие - для тяжелых машин.

Системы управления непосредственного действия могут быть механическими (усилия машиниста передаются исполнительному органу через систему рычагов и тяг) и гидравлическими (передача усилий рабочей жидкостью).

Затраты мощности в любом случае не должны превышать 40-50 Вт (средние физические возможности человека при длительной работе).

Особенность силовых установок непосредственного действия состоит в том, что на их работу не расходуется мощность силовой установки.

2) Системы управления с усилителем - машинист лишь включает и выключает элемент привода системы управления, а для воздействия на привод применяют пневматическое, гидравлическое или электрическое усиления.

В полуавтоматических системах управления автоматизировано управление только некоторыми операциями.

При полной автоматизации роль оператора сводится к подаче сигналов о

начале и окончании работы, а также к настройке системы на определенную программу управления рабочим процессом машины.

В любом случае усилитель представляет собой своего рода трансмиссию, которая передаст часть мощности силовой установки для включения исполнительных органов рабочего оборудования и механизмов.

Различают и используют электромагнитные, электронные, электромашинные (для передачи больших мощностей), а также гидравлические и пневматические усилители.

Электромагнитные усилители отличаются простотой конструкции, сравнительно малыми размерами, высокой стабильностью характеристик и малой стоимостью. В них используется свойство изменения магнитной проницаемости ферромагнитных материалов в зависимости от величины постоянного подмагничивающего поля.

Электромагнитные реле клапанного типа с втяжным или поворотным якорем, работающие как на переменном, так и на постоянном токе, используют в качестве переключателей в системах автоматики.

Электронные (полупроводниковые) усилители отличаются долговечностью, малыми размерами и массой, экономичностью, мгновенной готовностью к работе, высоким коэффициентом усиления, вибро- и ударостойкостью, а также способностью усиления слабых сигналов и большим диапазоном усиливаемых частот.

Электромашинные усилители применяют в качестве усилителей мощности для управления объединенными с ними исполнительными элементами постоянного тока. Простейшие усилители представляют собой систему из вспомогательного двигателя и генератора постоянного тока с независимым возбуждением. Управление напряжением генератора производят изменением тока в обмотке возбуждения. Достоинством этих усилителей является возможность управления большими мощностями, высокий коэффициент усиления (до 10^4) и сравнительно малая инерционность.

Гидравлические и пневматические усилители применяют в системах гидро- и пневмоавтоматики. Достоинства этих усилителей - высокая помехоустойчи-

вость, большой коэффициент усиления, возможность управления исполнительными элементами большой мощности. Как правило, эти усилители выполнены с исполнительными элементами как единый механизм.

Механические усилители на машинах для земляных работ не используются из-за их несовершенства.

В качестве примера гидравлической системы управления непосредственного действия можно показать широко распространенную схему управления тормозом (рисунок 3.10). При нажатии машинистом на педаль 7 из напорного цилиндра 5 по гидрوليнии 4 рабочая жидкость вытесняется в рабочий цилиндр 3 и перемещает его поршень. Поршень связан с рычагом 9 исполнительного механизма ленточного тормоза 1 (или муфты). Утечки жидкости пополняются из бачка 6. Система возвращается в исходное положение пружинами 2 и 8.

Передаточное число этой системы

$$u_y = u_p u_r \quad (3.14)$$

где u_p, u_r – передаточные числа гидравлической и рычажной систем;

$$u_r = \frac{d_3^2}{d_5^2} \quad (3.15)$$

d_3, d_5 - диаметры гидроцилиндров управления.

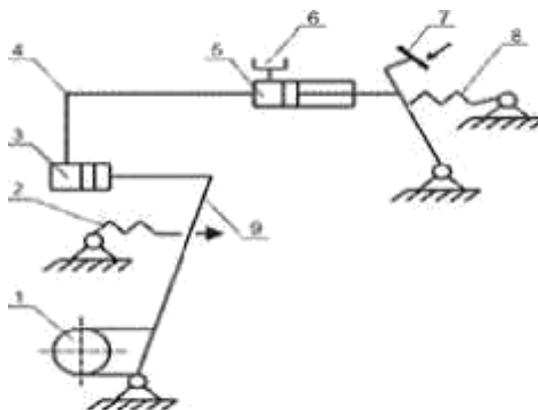


Рисунок 3.10 - Передача усилия в гидравлической системе управления тормозом

Системы управления должны обеспечивать энергосберегающее регулирование работы их механизмов и агрегатов, эффективную и безопасную эксплуатацию машин. Кроме того, они должны быть удобными и комфортабельными для машинистов.

В современных строительных и дорожных машинах для их управления используют *микроэлектронные интегральные схемы*, которые являются основой микропроцессоров и микро-ЭВМ. Микропроцессор представляет собой программно-управляемое устройство, которое осуществляет обработку поступившей информации и управление этим процессом. Бортовые микропроцессорные системы машин обеспечивают программирование арифметических и логических операций, а также управление исполнительными устройствами и системой в целом, включая информационное обеспечение (сбор, обработку и выдачу информации).

В общем случае в состав бортовой микро-ЭВМ входят следующие элементы:

- 1) устройства входа (сигналы от датчиков) и выхода (управляющие сигналы на исполнительные устройства);
- 2) оперативное и постоянное запоминающее устройство;
- 3) микропроцессор и соединительные элементы.

Основой микропроцессорной системы (рисунок 3.11) является модель реально протекающего процесса. Она включает три основных компонента:

- 1) модельное состояние, описывающее реальный процесс во времени;

Применение в строительных и дорожных машинах микропроцессорной техники обеспечивает повышение качества и безопасности выполняемых работ, а также увеличение производительности за счет оптимизации режимов работы машин по критериям минимального потребления топлива и наименьших нагрузок на основные узлы, а также за счет постоянного контроля работоспособности узлов и агрегатов машин путем их автоматического диагностирования.

Как правило, современные машины имеют системы управления, которые оснащены устройствами, обеспечивающими машинистам (операторам) полную информацию о работе узлов и механизмов.

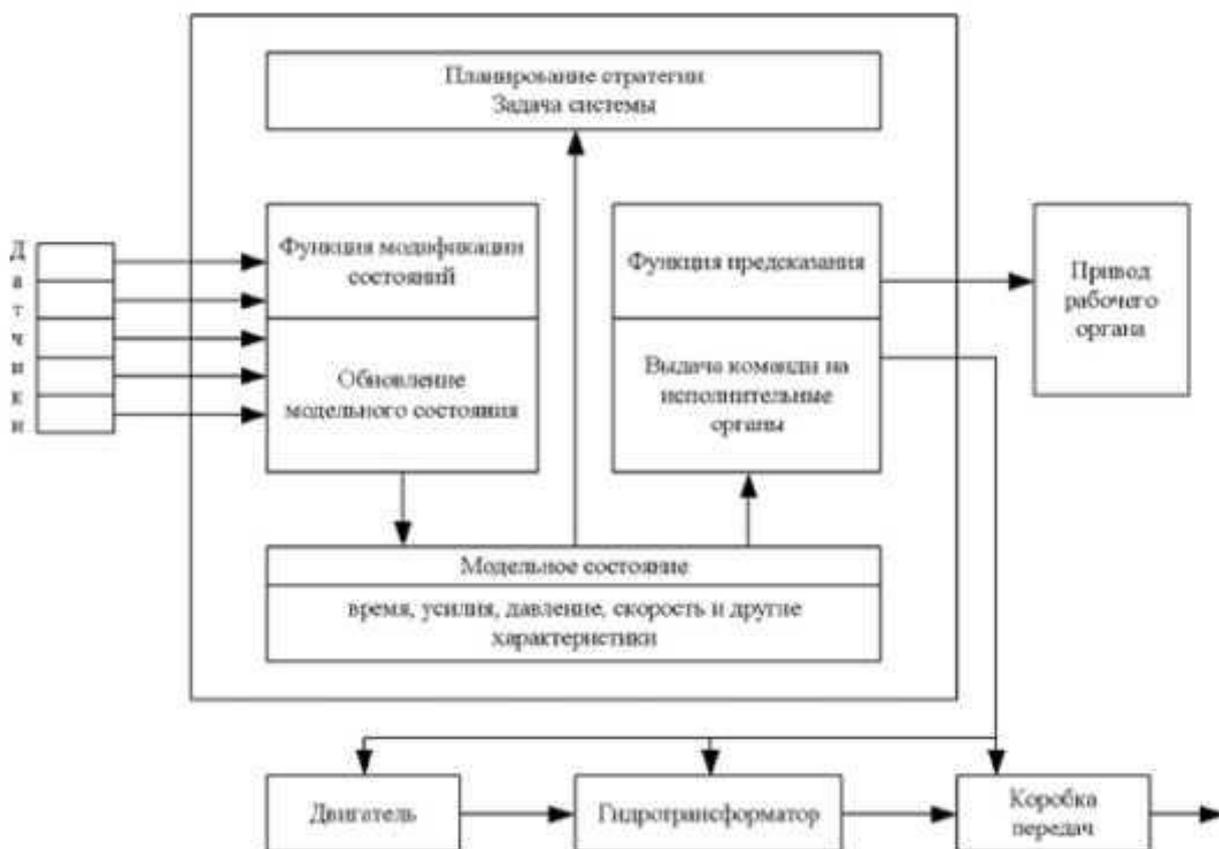


Рисунок 3.11 - Основные компоненты микропроцессорной программы управления машинами

Для этого пульт управления оснащают информативной приборной доской, на которой указаны наиболее важные характеристики машины, в том числе:

- число оборотов двигателя;
- количество часов работы за сутки;
- сведения о наличии топлива в баке;
- данные о степени загрязнения воздушного фильтра;
- температура воды в системе охлаждения силовой установки.

Управление рабочим оборудованием осуществляется бортовым компьютером, который принимает и обрабатывает вводимые команды для элементов системы управления и узлов машины.

Для удобства регулирования режимами работы агрегатов и механизмов рычаги управления имеют большое число (20 и более) функций (без дублирования операций). Рычаги, как правило, оснащают микроджойстиком, которые позво-

ляют легко реализовывать необходимые функции. Кроме того, широко используют сенсорные датчики и клавиши.

С увеличением мощности дорожных машин предпочитают использовать электронные системы управления, которые обеспечивают «щадящий» режим эксплуатации машин. В частности, электрогидравлические передачи в системе управления экскаваторов обеспечивают ряд преимуществ как в рабочем, так и в транспортном режимах. Так, автоматическое гашение колебаний рабочего оборудования способствует снижению удельных нагрузок, повышению долговечности металлоконструкций; при передвижении достигается более равномерное перемещение экскаватора, в том числе по неровной поверхности.

Эффективность управления машинами повышается за счет использования специальных датчиков, регистрирующих положение и другие характеристики рабочего оборудования, в результате чего позиция рабочих органов находится под постоянным контролем машиниста.

Таким образом, применение в системах управления микропроцессорной техники и автоматических устройств, а также электрогидравлических передач значительно повышает эффективность регулирования агрегатов и механизмов машин для обеспечения оптимального режима эксплуатации в зависимости от действующих на них нагрузок.

Автоматизация управления строительными и дорожными машинами ведется по нескольким основным направлениям. Во-первых, это управление пространственным положением рабочих органов машин для получения необходимого профиля и уклона планируемой поверхности. Это направление обеспечивается унифицированным рядом систем автоматики типа «Профиль» с микроэлектронными блоками управления (автономными, копирными и комбинированными). Автономные системы обеспечивают контроль положения рабочих органов относительно вертикали с помощью бортовых датчиков (как правило, маятникового типа). В копирных системах датчик, установленный на одной стороне машины, по ходу контролирует положение рабочего органа в соответствии с заданным профилем: по тросу, лучу лазера, точно построенной полосе дороги или бордюру. В

комбинированных системах требуемый уклон рабочего органа в поперечной плоскости обеспечивается автономным датчиком, а его высотное положение - по копирному устройству.

Во-вторых, автоматизация наиболее энергоемких технологических процессов. Для оптимизации и регулирования рабочих процессов разработаны унифицированные системы типа «Режим». При этом изменение тягово-скоростных характеристик машин позволяет управлять нагрузкой при автоматическом заглаблении и выглаблении рабочего органа. Управляющим параметром может быть скорость машины, частота оборотов двигателя или гидротрансформатора, угловое положение тяговой рамы или толкающего бруса. Стабилизация каждого из этих параметров осуществляется при заданных ограничениях на другие. В строительных машинах эта система может использоваться как автономно, так и совместно с системами типа «Профиль».

И, наконец, в-третьих, это создание на базе лазерной и микропроцессорной техники комплексной системы дистанционного программного или автоматического управления машинами, а также приборов оперативного контроля качества укладываемых дорожно-строительных материалов. Системы управления с помощью лазерной техники обеспечивают и контролируют требуемые высотные отметки, продольный и поперечный профиль разрабатываемых и укладываемых дорожно-строительных материалов для каждой машины. Для машин, занятых строительством дорог, разработан комплект аппаратуры «Дорога».

4 Ходовые системы

4.1 Общие сведения

Ходовые системы представляют собой устройства для перемещения машины и устойчивого опирания на основание при работе. Они включают ходовое устройство (двигатель), подвеску, опорную раму или оси, а также механизм передвижения. Ходовое устройство (двигатель) предназначено для передачи нагрузок от ма-

шины на опорную поверхность. (Движитель - механизм, преобразующий вращательное движение ведущих колес в поступательное движение машины). Оно перемещает машину и изменяет направление ее движения.

Механизм передвижения предназначен для привода ходовых устройств при рабочем и транспортном положениях. Конструкция механизма передвижения зависит от типа привода, а также необходимой скорости и маневренности машин.

В быстроходных гусеничных машинах для включения и выключения гусениц служат бортовые фрикционы, причем в ряде конструкций левую и правую гусеницы включают в разные стороны, что дает возможность совершать поворот на месте.

В тихоходных машинах (одноковшовых экскаваторах) ведущие колеса приводятся во вращение зубчатыми и цепными передачами (их включают и выключают кулачковыми муфтами, что возможно лишь при остановке машин).

В машинах для скоростного строительства дорог каждая гусеница имеет индивидуальный привод.

У некоторых машин (землеройно-транспортных и многоковшовых экскаваторов) ходовые системы участвуют непосредственно в рабочем процессе. Они обеспечивают тяговые (рабочие) усилия, необходимые для разработки и перемещения грунта (для ЗТМ).

В зависимости от условий работы и назначения машин различают (и применяют) следующие виды ходовых систем: гусеничные, пневмоколёсные, шагающие, рельсовые, комбинированные (пневмоколёсно-рельсовые и гусенично-рельсовые). Наиболее распространены гусеничные и пневмоколесные.

Шагающее ходовое оборудование применяют при разработке грунтов и полезных ископаемых в карьерах экскаваторами-драглайнами, а также для гидромеханизации земляных работ (шагающие гидромониторы и землесосные установки).

Комбинированные ходовые системы используют для машин с широкими технологическими возможностями.

Шагающий ход обеспечивает низкое давление на грунт и большую маневренность, не требует подготовки пути, но обладает очень малыми скоростями передвижения (до 0.5 км/ч).

Основными показателями ходовых систем являются *скорость передвижения, проходимость и маневренность*.

Прочность машины в основном определяется глубиной колеи, образуемой в результате взаимодействия ходового устройства с грунтом, дорожным просветом (клиренсом) - расстоянием от наиболее низкой части машины (кроме движителя) до опорной поверхности и сцепными свойствами ходового устройства. Глубина колеи h (м) увеличивается с ростом давления p (МПа) на контактной поверхности между опорной частью ходового устройства и грунтом. Эти величины связаны между собой зависимостью

$$h = \frac{p}{c} \quad (4.1)$$

где c - коэффициент постели, $c = 0.1.. .0.5$ МПа/м (для свеженасыпанного песка и мокрой размягченной глины); $c = 20... 100$ МПа/м (для полускальных грунтов, известняков, песчаников, мерзлоты).

Более высокой прочностью обладает гусеничное ходовое оборудование, которое имеет развитую опорную поверхность движителя, обеспечивающую относительно низкие удельные давления на грунт и меньшую, чем у пневмоколесных машин осадку. Гусеничные движители не теряют своей транспортной способности даже при погружении в грунт до половины своей высоты. В то же время они уступают пневмоколесным по скорости передвижения, которая для большинства гусеничных машин не превышает 10 км/ч.

Маневренность характеризуется радиусом разворота и шириной дорожного коридора. В зависимости от вида привода гусеничные машины могут разворачиваться относительно одной заторможенной гусеницы (при групповом приводе) и относительно собственной оси (при индивидуальном приводе включением гусениц на движение во взаимно противоположных направлениях). Ширина дорожного коридора является шириной следа разворачивающейся машины. Этим параметром определяется вписываемость машины в схему трассы передвижения. Ширина дорожного коридора зависит от угла поворота.

4.2 Гусеничные ходовые системы (ГХС)

Они воспринимают значительные нагрузки при сравнительно низком давлении (до 0,02 ... 0,03 МПа) на грунт, обеспечивают хорошую маневренность, высокие тяговые усилия, позволяют преодолевать большие уклоны (до 23°). Это даст возможность перемещения машины по слабым грунтам даже при погружении до половины высоты гусеницы (при наличии клиренса).

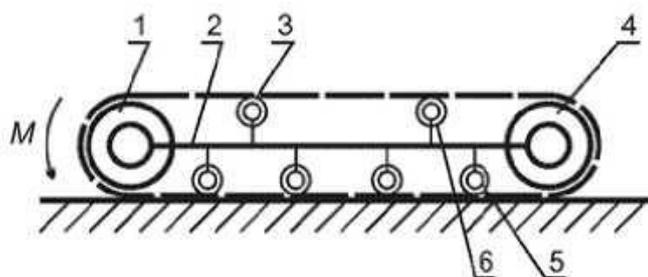
К недостаткам относятся:

- 1) большая масса (40-60 % от массы машины);
- 2) сложность конструкции и быстрый износ отдельных деталей;
- 3) низкий КПД (0,65-0,75).

Гусеничный ход, как правило, используют в пределах строительных площадок.

Гусеничные ходовые системы приводятся в движение от ДВС через механическую, гидравлическую или электрическую трансмиссии. В случае механической трансмиссии реализуется схема группового привода, в остальных случаях - схема индивидуального привода.

ГХС (рисунок 4.1) могут быть двух- и многогусеничными. Двухгусеничные применяют для машин массой до 1000 т. При большей массе используют сложные многогусеничные (до 16) системы.



1 приводное колесо; 2 рама; 3 гусеница; 4 натяжное колесо; 5 - опорный каток; 6 - вспомогательный каток.

Рисунок 4.1 - Гусеничная ходовая система

Основой ГХС (см. рис. 4.1) служит механизм, состоящий из замкнутой цепи (гусеницы) 3, натянутой между приводным 1 (ведущей звездочкой) и натяжным 4 колесами, и катков 5, передающих нагрузку от машины через рабочую ветвь цепи на опорную поверхность.

Гусеницы классифицируют по ряду признаков.

По типу различают гусеницы *гребневого* и *цевочного* зацеплений. У гребневых гусениц гусеничные ленты состоят обычно из литых звеньев, шарнирно соединенных между собой пальцами. С внутренней стороны лента имеет гребни, чередующиеся с впадинами, а с наружной - развитую в ширину гладкую поверхность, которой гусеница взаимодействует с опорным основанием. По периферии ведущего колеса имеются кулачки, входящие во впадины внутренней поверхности гусеничной ленты.

В случае цевочного зацепления гусеничная лента состоит из соединенных пальцами с втулками литых звеньев гусеничной цепи, к которым с наружной стороны болтами с гайками прикреплены башмаки с ребрами (грунтозацепами) из стального проката.

По конструкции гусеницы разделяют на много- и малоопорные (рисунок 4.2).



a - многоопорные; *б* – малоопорные.

Рисунок 4.2 - Конструкция гусениц

Многоопорные гусеницы имеют сравнительно большое число катков малого диаметра, оси которых закреплены на гусеничной раме. Их используют на грунтах малой и средней крепости, т.к. давление на грунт распределено равномерно (число звеньев цепи незначительно больше числа катков). Но при этом затруднено преодоление препятствий

Малоопорные гусеницы имеют малое число катков большого диаметра, что обеспечивает преодоление препятствий и работу на скальных и других крепких грунтах.

В связи с особенностями работы дорожно-строительных машин (движение в различных грунтовых условиях, относительно высокие скорости, большие дина-

мические нагрузки, действующие во всех плоскостях) в конструкциях гусеничных ходовых устройств предусматривается подвижность гусениц относительно друг друга в вертикальной плоскости и защита звездочек от ударных нагрузок, а также использование упругих элементов в подвеске опорных катков и натяжных устройствах (пружины, рессоры, торсионы) для смягчения динамических нагрузок и лучшей вписываемости в профиль трассы.

По типу подвески гусеницы разделяют на жесткие, полужесткие и упругие (мягкие, гибкие) (рисунок 4.3).

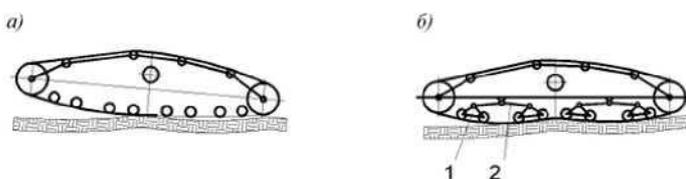


Рисунок 4.3 - Разновидности подвесок: *а* - жесткая; *б* - упругая (1 - каретка; 2 балансир)

У жестких гусениц опорные катки соединены с рамой шарнирно, что обеспечивает дешевизну и простоту, но ограничивает скорость движения до 5 км/ч (т.к. нет амортизации). Жесткая подвеска в основном используется на тихоходных машинах (погрузчиках). Ходовая система с жесткой подвеской обладает повышенной грузоподъемностью и устойчивостью, обеспечивает на мягких грунтах сравнительно равномерное распределение давления массы агрегата с грузом по опорной поверхности.

У полужестких гусеничных подвесок гусеницы сзади крепят, как правило, на раме шарнирно, а спереди через демпфирующие устройства - рессоры или пружины.

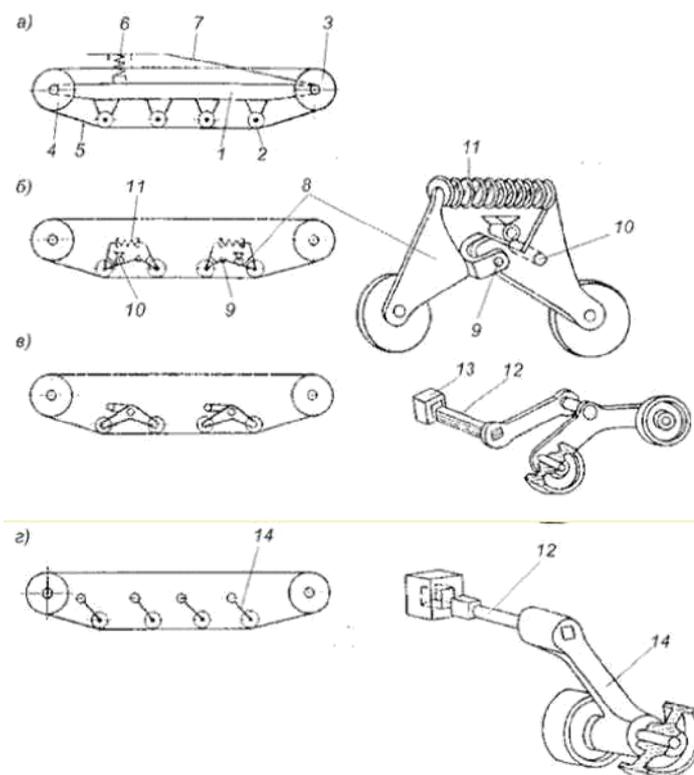
Полужесткая подвеска (с вынесенной осью качания) на большинстве грунтов обеспечивает достаточно высокие тягово-сцепные свойства и удовлетворительную плавность хода при скоростях движения до 10 км/ч.

Такая подвеска обладает высокой надежностью при работе на всех категориях грунтов (включая мерзлые и скальные), конструктивно проста и отработана,

что позволяет создавать модификации трактора с увеличенными базой, колесей и шириной гусениц. Наличие упругого элемента в подвеске, поглощающего толчки и удары, передаваемые рамс трактора, снижает утомляемость оператора и способствует увеличению срока службы систем всего агрегата вследствие большой плавности хода при транспортных режимах. В то же время в рабочем режиме такая подвеска создает ряд неудобств, поэтому часто предусматривают способы ограничения или полной ликвидации податливости подвески.

Для подрессоривания рамы трактора, как правило, используют поперечную балансирную балку, которая своей свободной частью шарнирно соединяется с рамой, а концами - через резиновые подушки или шкворни - опирается на тележки гусениц. Кроме того, на коромысле самой балки также установлены амортизаторы. Так обеспечивается трехточечная подвеска рамы, а тележки гусениц имеют возможность совершать качательное движение на задней оси, соединяющей их с рамой трактора.

У упругих гусениц опорные катки соединяют в балансирные каретки (тележки) или снабжают индивидуальными подвесками (рисунок 4.4).



1 - рама гусеничной тележки; 2 - опорные катки; 3 - ведущая звездочка; 4 - натяжной каток; 5 - гусеница; 6 - рессора; 7 рама; 8 балансир; 9 - шарнир; 10 ось

качания; 11 - пружина; 12 - торсион; 13 - заделка торсиона в гнезде рамы; 14 одинарный балансир

Рисунок 4.4 - Гусеничные ходовые системы дорожно-строительных машин

В целях предохранения ведущей звездочки и направляющего колеса от поломок, а также повышения проходимости машин звездочки устанавливают выше опорных катков. Однако при этом уменьшается опорная поверхность, увеличивается вылет рабочего оборудования от опорной точки, в результате чего может снижаться устойчивость машин.

Гусеничные ходовые системы дорожно-строительных машин выполняют с *подвесками следующих типов:*

- 1) полужёсткой с балансирной рессорой, например на тракторе Т-170 (рисунок 4.4. а);
- 2) балансирной с подрессориванием цилиндрическими пружинами, например на тракторе ДТ-75 (рисунок 4.4. б);
- 3) торсионно-балансирной, например на тракторе Т-180 (рисунок 4.4. в);
- 4) торсионной с индивидуальным подрессориванием каждого катка, например на тракторах ДЭТ-250. Т-330 (рисунок 4.4. г).

По наличию гусеничной рамы (тележки) различают рамные и безрамные гусеничные устройства. Рама, которая является основой машины, состоит из двух продольных балок, жестко соединенных снизу передним и задним поперечными брусками.

Гусеницы могут иметь опорные катки (открытые или закрытые), расположенные снаружи или внутри. Ведущая звездочка может быть спереди или сзади.

Звенья гусениц льют или штампуют из стали повышенной вязкости (марганцовистой), а пальцы делают из более мягкого материала.

В ряде случаев в звенья запрессовывают закаленные втулки из легированной стали, что повышает долговечность звеньев.

Гусеницы оснащают дополнительным оборудованием:

- 1) для восприятия боковых усилий (при повороте машины) звенья снабжают двойными или одинарными ребордами;

2) для работы в зимних условиях или грунтах, не обеспечивающих необходимого сцепления, применяют съемные шипы или шпоры;

3) для работы на слабых грунтах используют резинометаллические гусеницы (специальные резиновые ленты, армированные высокопрочной проволокой со штампованными звеньями).

Важными параметрами ГХС являются давление на грунт, развиваемые тяговые усилия при различных скоростях движения, характеристики геометрической поверхности (радиус поворота, ширина полосы поворота, углы въезда и съезда, клиренс и др.).

Среднее давление для двухгусеничных машин определяют по формуле

$$P_{\text{ср}} = \frac{mg}{2bl} \quad (4.2)$$

где m - масса машины, кг;

b, l - ширина и длина опорной поверхности одной гусеницы, м.

В тяговых расчетах ГХС отдельно определяют составляющие сопротивления, которые потом суммируют для конкретных расчетных условий.

Расчеты показывают, что режим поворота требует большой силы тяги, поэтому он и является расчетным.

4.3 Пневмоколесные ходовые системы (ПХС)

ПХС позволяют развивать высокие транспортные скорости и обеспечивают более высокую мобильность и долговечность узлов машин, чем гусеничные. Их применяют на машинах массой до 120-160 тонн. В то же время ПХС имеют меньшие тяговые характеристики и меньшую проходимость.

ПХС имеют следующие достоинства:

- 1) хорошие маневрирование и мобильность;
- 2) высокие скорости передвижения (до 60 км/ч);

- 3) массу на 25-35 % меньше, чем гусеничное (при одинаковой мощности);
- 4) высокий КПД $\eta = 0.80...0.85$;
- 5) ресурс до 40 тыс. км (примерно в 20 раз выше ресурса ГХС).

К недостаткам следует отнести:

- 1) низкую проходимость;
- 2) высокое давление на грунт ($p_{cp} = 0.1...0,4$ МПа).

Довольно широкое применение ПХС объясняется сочетанием функций движителя, преобразующего вращательное движение ведущих колес в поступательное движение машины, с многофункциональностью как поддерживающего устройства (передающего нагрузку от машины на основание); направляющего устройства (обеспечивающего сохранение или изменение направления движения машины) и упругого элемента (гасящего или уменьшающего колебания во время работы или перемещения).

ПХС состоит из колес с пневмошинами, устанавливаемыми на мосты и оси. Привод ПХС имеет специальную трансмиссию.

Пневмошина - это резинотканевая оболочка на ободе колеса машины с заключенным в ней сжатым воздухом. Шина состоит из покрышки с протектором (массивным резиновым слоем с выступами для лучшего сцепления с грунтом), каркаса, бортов для укрепления покрышки на ободе колеса, а также камеры для удержания воздуха (в колесах с камерами).

В дорожных машинах применяют пневмошины: среднего давления (0,3-0,4 МПа), низкого (0,15-0,25 МПа), сверхнизкого (0,05-0,08 МПа). Низкое и сверхнизкое давление используют в машинах для земляных работ. Считается, что давление на грунт на 20-40 % выше, чем давление в шинах.

Среднее давление на грунт

$$p_{cp} = K_{п} p_{п} \quad (4.3)$$

где $K_{п}$ - коэффициент учета жесткости покрышки пневмошины.

$$K_{п} = 1.2... 1.45;$$

$p_{п}$ - давление воздуха в шинах, МПа.

Для снижения давления на грунт (для повышения проходимости) используют шины большого диаметра и широкопрофильные, а также арочные, устанавливаемые вместо сдвоенных шин.

Имеются разные типы протекторов (для земляных работ, для работы в каменных карьерах, универсальные и др.).

Различают камерные и бескамерные пневмошины. Бескамерные имеют большую надежность, т.к. благодаря упругости материала при проколе сжимается отверстие и выход воздуха из шины затрудняется. Воздух накачивается в пространство между покрышкой и герметичным ободом колеса. Благодаря повышенной прочности и лучшему теплообмену через обод колеса их срок службы больше на 20%. чем камерных.

Марка шины имеет следующие обозначения. Для шин обычного профиля - две цифры через тире:

первая - ширина профиля, мм;

вторая - диаметр обода колеса (т. е. внутренний диаметр шины в мм или дюймах). Например: 320-508 или 12.00-20".

Для шин широкого профиля - три цифры через знак умножения:

- первая - наружный диаметр колеса, мм;

- вторая - ширина профиля, мм;

- третья - диаметр обода, мм. Например: 1500 * 660 x 635.

У большинства машин для земляных работ имеется четырехколесное двухосное ходовое устройство, кроме того, применяют ходовое устройство с 6-8 колесами (т. е. трёх-четырёхосное), кроме того существуют одноосные двухколесные тягачи.

Характеристикой ходового устройства является колесная формула, состоящая из двух цифр:

- первая - число всех колес;

- вторая - число приводных колес.

Самые распространенные: 4 x 2.4 x 4.6 x 4.6 x 6.

В пневмоколесном движителе различают *приводные* и *управляемые колеса*. Первые приводятся от ходовой трансмиссии, а вторыми управляют при изменении направления движения машины. Управляемые колеса могут быть одновременно и приводными. Для поворота машины используют как управляемые колеса, поворачиваемые относительно поворотных цапф, так и колеса с управляемой осью, поворачиваемой в плане относительно вертикального шкворня в её средней части. В случае управляемых колес они приводятся от рулевой трапеции, длины звеньев которой подобраны так, чтобы обеспечить поворот колес с разными углами без бокового скольжения при передвижении на поворотах.

Приводы пневмоколесных ходовых устройств дорожных машин могут иметь механическую, гидравлическую, а также электрическую и комбинированную трансмиссии. В механических и гидромеханических трансмиссиях ведущие колеса приводятся в движение попарно через дифференциальные механизмы (дифференциалы), обеспечивающие высокие скорости движения без проскальзывания.

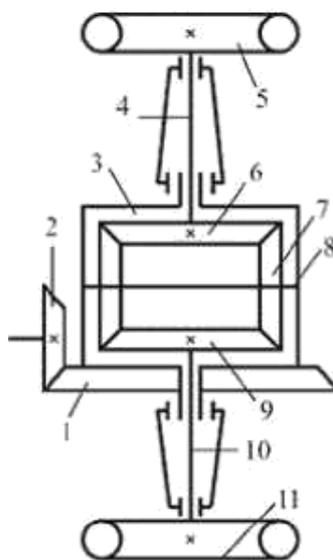


Рисунок 4.5 - Схема устройства ведущего моста с дифференциалом

На рисунке 4.5 представлена схема устройства ведущего моста с дифференциалом. Дифференциал соединяет полуоси ведущих колес с главной конической передачей, давая возможность каждому колесу вращаться с различной скоростью, что необходимо при повороте машины.

Дифференциал состоит из главного конического колеса 1. жестко соединенного с коробкой 3 и приводимого во вращение от силовой установки машины через шестерню 2. двух ведомых конических зубчатых колес 6 и 9. жестко посаженных на ведущие полуоси 4 и 10 ходовых колес 5 и II, и двух сателлитов 7, свободно посаженных на ось X и находящихся в постоянном зацеплении с колесами 6 и 9. Крутящий момент от зубчатого колеса I передается на коробку 3, вместе с которой вращается ось 8 и сателлиты 7. передающие вращение зубчатому колесу 6 с полуосью 4 и колесу 9 с полуосью 10. При движении по прямой ровной дороге все составные части дифференциала, а вместе с ними и полуоси с ходовыми колесами вращаются как одно целое. При повороте вправо ходовые колеса, их полуоси и зубчатые колеса 6 и 9 вращаются с разными скоростями, а сателлиты 7 обкатываются относительно зубчатого колеса 6 одновременно вращаясь относительно оси 8 и вследствие зацепления с колесом 9 увеличивают его скорость. При повороте влево сателлиты обкатываются относительно зубчатого колеса 9 увеличивая скорость колеса 6. Этот дифференциал распределяет крутящий момент между приводимыми им полуосями поровну, а сумма скоростей двух полуосей всегда пропорциональна скорости ведущего вала. Это означает, что с уменьшением скорости вращения одной полуоси настолько же увеличивается скорость второй полуоси. В частности, при полной остановке одной полуоси, например, при буксовании, когда одно ходовое колесо находится на сухой, а второе - на увлажненной поверхности, скорость второй полуоси удвоится.

В мощных дорожных машинах используют мотор-колеса. Мотор-колесо представляет собой автономный блок, состоящий из двигателя, муфты, редуктора, тормоза и колеса. Применение гидропривода с рабочим давлением 16-32 МПа позволяет размещать привод в ступице колеса. Это упрощает конструкцию трансмиссии за счет исключения коробок передач, раздаточных коробок, мостов, карданных валов, облегчает компоновку машины и повышает ее проходимость и маневренность, т.к. каждое колесо может быть приводным и поворотным.

4.4 Комбинированные ходовые системы

Данный вид ходовых систем позволяет значительно расширить технологические возможности машин для земляных работ, т. к. обеспечивает возможность движения, как по автомобильным дорогам, так и железнодорожным путям, выполнения различных операций по содержанию и ремонту автомобильных дорог и железнодорожных путей, а также использование машин в качестве локомотива для маневровых и поездных работ.

Из всего разнообразия вариантов конструктивного исполнения комбинированного хода наибольшее распространение нашли следующие:

- 1) Пневмоколеса машины при установке на рельсовую колею заменяют металлическими ребордчатыми колесами. Недостатками данной схемы являются значительные затраты времени для перевода машины на рельсовую колею, а также невысокое тяговое усилие при движении по ней.
- 2) На машину устанавливаются дополнительные направляющие катки, представляющие собой ребордчатые металлические колеса на пружинной подвеске. Тяговое и тормозное усилия при этом реализуются за счет сцепления ведущих пневматических колес с рельсами и зависят от сцепной силы тяжести, состояния рельсов (влажность, загрязненность) и типа протектора пневмоколеса, определяемых коэффициентом сцепления, который для пары «пневматическое колесо - рельс» выше, чем для пары «металлическое колесо - рельс» и составляет 0,68-0,85 для сухих и 0,35-0,45 для мокрых рельсов против 0,22-0,24 и 0,15-0,20 соответственно. Кроме того, дополнительные железнодорожные колеса могут быть приводными как от гидромоторов или механических передач, использующих мощность силовой установки базовой машины, так и от ее пневмоколес посредством опорно-приводных барабанов. При движении по автомобильным дорогам дополнительные железнодорожные колесные пары поднимаются до положения, при котором в контакте с дорогой находятся только ведущие задние и ведомые передние пневматические колеса.

Для эффективной реализации схемы, в которой железнодорожные колеса

являются направляющими необходимо, чтобы колея ведущих колес машины совпадала с колеей железнодорожного пути или была несколько меньше её.

3) На ведущую ось с пневмоколёсами дополнительно устанавливают металлические ребордчатые колеса, посредством которых машина движется по рельсам. Диаметр металлических колес выбирают несколько меньше диаметра пневмоколёс, что позволяет машине двигаться по грунту без их демонтажа. Вместе с тем при движении по рельсам может быть затруднен проезд стрелочных переводов и переездов.

4) На пневмоколёса надевают металлический ребордчатый бандаж или ленту с ребордами. Достоинство данной схемы заключается в том, что не требуется замена пневмоколес, полностью используется сцепной вес и амортизирующая способность пневмоколес и их подвески. Однако монтаж бандажей на пневмоколёса требует значительного времени и точности.

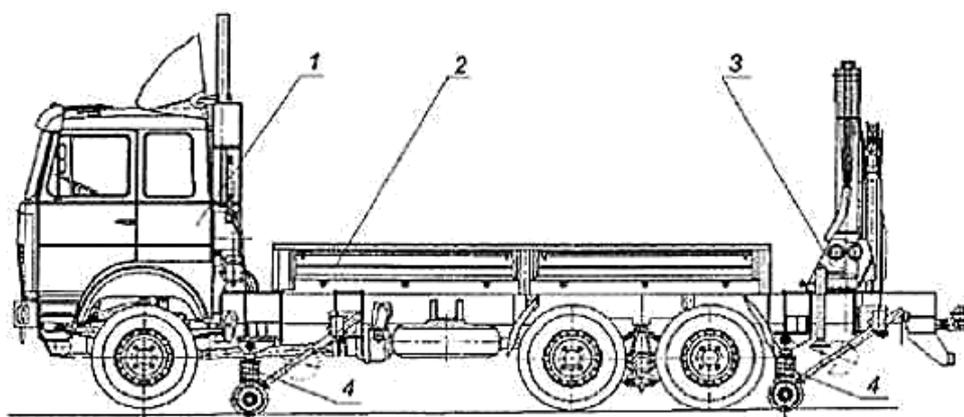
5) Изготавливают специальные шасси с двумя видами движителей: пневмоколёсным и железнодорожным. Они имеют два основных конструктивных исполнения: с использованием балансирных тележек с железнодорожными колесами и с применением перпендикулярно расположенных осей.

В первом случае при опускании на рельсы железнодорожных колес балансирных тележек происходит подъем машины до полного исключения касания пневмоколёсами элементов верхнего строения пути. Движение производится посредством железнодорожных колес, приводимых от гидромоторов или механических передач.

Во втором случае при заезде на рельсы поперек пути пневмоколёса поднимаются, а машина опускается на ребордчатые металлические колеса, которые имеют независимый привод. Установка машины на путь занимает небольшое время, однако компоновка машины требует, чтобы база пневмоколес была близка к ширине рельсовой колеи.

Наибольшее распространение в отечественной и зарубежной практике получили машины, комбинированный ход которых выполнен по второму варианту. В частности, описанную выше конструкцию имеют транспортное средство на

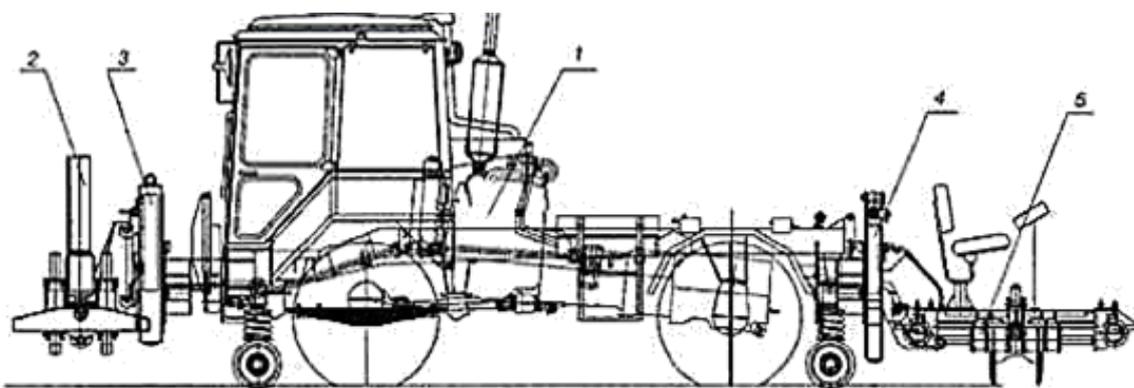
комбинированном ходу на базе шасси МАЗ-630308 (рисунок 4.6) (для круглогодичного содержания дорог, выполнения погрузочно-разгрузочных работ, благоустройства территорий, обслуживания мостовых и тоннельных сооружений на автомобильных и железнодорожных коммуникациях, а также ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций различного характера) и машина комбинированная железнодорожная МКЖ- 416 на базе шасси Ш-406 «Беларус» (рисунок 4.7), разработанные кафедрой «Детали машин, путевые и строительные машины» Белорусского государственного университета транспорта по заказу Департамента транспортных войск Министерства обороны Республики Беларусь в рамках программы Союзного государства «Создание единой системы технического прикрытия железных дорог региона».



- 1- шасси МАЗ-630308; 2 – грузовая платформа; 3 - гидроманипулятор;
 2- 4 комбинированный ход

Рисунок 4.6 - Машина на комбинированном ходу на базе шасси МАЗ-630308

Самую многочисленную группу машин на комбинированном ходу представляют гидравлические одноковшовые экскаваторы с пневмоколёсным ходовым устройством.



1 - шасси «Беларуси Ш-406; 2 - подъемно-рихтовочный блок; 3 - передняя навеска; 4 - задняя навеска; 5 - блок для установки шпал по меткам и разгонки стыковых зазоров.

Рисунок 4.7 - Машина комбинированная железнодорожная МКЖ-416 на базе шасси Ш-406 «Беларус»

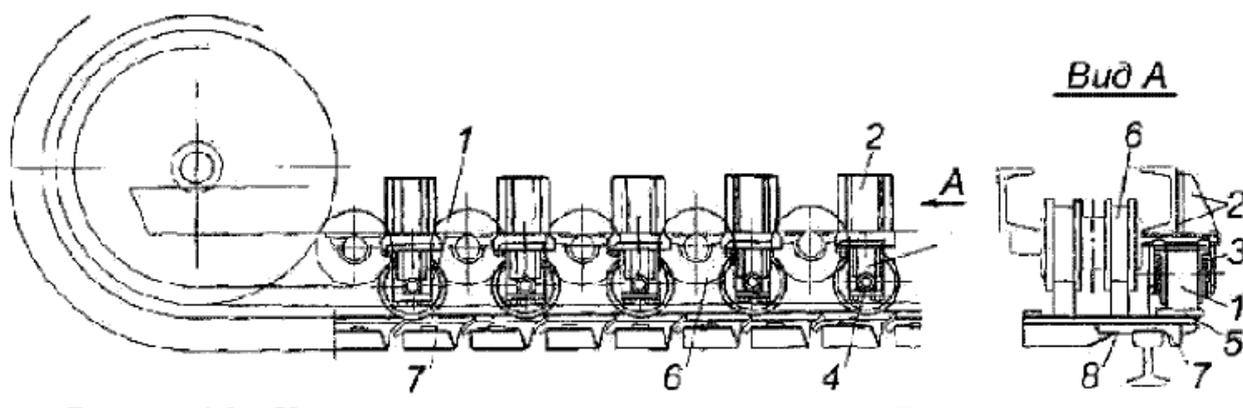
Их помимо обычных ковшей для выемки грунта можно оснащать таким сменным оборудованием, как траверсы для подъема и перемещения рельсов, захваты для укладки рельсов, струги и щетки для перемещения балластного материала и формирования балластной призмы, поворотные устройства для удаления растительности с пути, приспособления для замены шпал, а также подъемные площадки для доставки персонала непосредственно к конкретному объекту обслуживания или ремонта (рисунок 4.8).



Рисунок 4.8 - Гидравлический одноковшовый экскаватор на комбинированном ходу

Гусеничные машины имеют три основные схемы приспособления для работы на рельсовой колее:

1) На машину устанавливают гусеницы со специальным профилем башмаков, имеющие реборду и площадку для опирания на головку рельса, что обеспечивает удержание машины на рельсовых колесах и сохранение проходимости при движении по различным покрытиям (рисунок 4.9).



1 - дополнительные опорные катки; 2 опорные площадки кроши тейпов дополнительных катков; 3 кронштейны дополнительных катков; 4 - оси; 5 пластины на башмаках для перекачивания дополнительных катков; 6 основные опорные катки; 7 - направляющие гребни (реборды) башмаков; 8 - опорные площадки.

Рисунок 4.9 - Ходовая часть гусеничной машины на комбинированном ходу

2) На машину устанавливают дополнительные подъемные катки, которые могут быть как неприводными и служить только для направления движения, так и приводными посредством гидромоторов или механических передач.

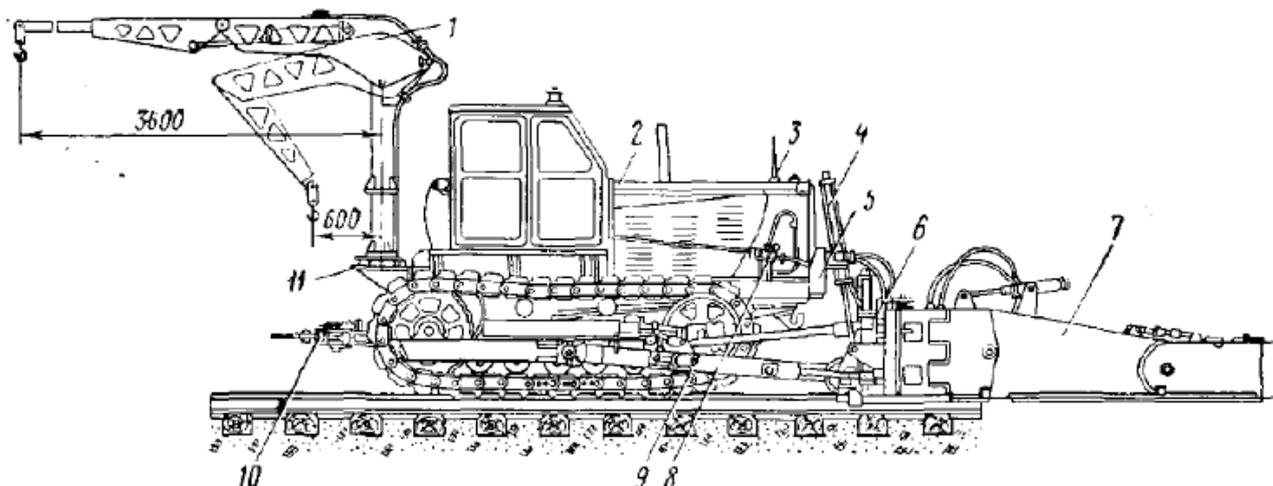
3) Машину для движения по рельсам устанавливают на специальную низкорамную платформу (трейлер), привод железнодорожных колес, которой осуществляется от гусениц или трансмиссии машины.

Среди отечественных гусеничных машин наибольшее распространение получила первая схема, которая реализована в машинах различного назначения, базирующихся на гусеничном шасси (рисунок 4.10).

5 Тяговые расчеты

Основой тяговых расчетов является уравнение тягового баланса, имеющее следующий вид:

$$P_{\text{сц}} \geq P_{\text{к}} \geq W \quad (5.1)$$



1 - гидроманипулятор; 2 - трактор; 3 визир; 4 - гидроцилиндр подъема лобового щита; 5 - рама подвески гидроцилиндра; 6 - лобовой щит; 7 - боковые крылья. 8 – гидрораспределитель; 9 - толкающая рама, 10 - поворотно-прицепное устройство; 11 - кронштейн гидроманипулятора.

Рисунок 4.10- Тракторный дозировщик балласта ТДГ-1

где $P_{\text{сц}}$ - сила сцепления приводных колес или гусениц с опорной поверхностью (по существу, это суммарная окружная сила всех движителей по условиям сцепления). Н;

$P_{\text{к}}$ - окружная сила всех движителей (приводных колес, гусениц). Н;

W - сумма всех сил сопротивления движению машины. Н.

Колесный или гусеничный движитель дорожной машины преобразует подводимый к нему от двигателя крутящий момент в силу тяги машины.

Движение машины обеспечивает передаваемая двигателем и приложенная к ведущему колесу (к его шине) максимальная окружная сила P . В гусеничном движителе она передается через ведущую звездочку.

Ведущее колесо радиусом r_k , вращается под действием крутящего момента на колесе M_k

$$P_k = \frac{M_k}{r_k} \quad (5.2)$$

Эта окружная сила расходуется на обеспечение рабочих усилий, а также на преодоление различных сопротивлений (передвижению, уклону, сил инерции, ветру, повороту).

1) Сопротивление передвижению

$$W_{\Pi} = fG \quad (5.3)$$

где f - коэффициент сопротивления передвижению (таблица 5.1);

G - сила тяжести машины. Н.

2) Сопротивление уклону

$$W_y = G \sin \alpha, \quad (5.4)$$

где α - угол уклона.

При малых углах уклона

$$\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = i_y \quad (5.5)$$

где i_y - уклон.

Тогда

$$W_y = i_y G \quad (5.6)$$

3) Сопротивление сил инерции

$$W_i = \pm \frac{Gv}{gt_p} \quad (5.7)$$

где v - скорость машины в конце разгона или в начале торможения, м/с;

t_p - время разгона до v или торможения с v до 0, с.

Знак (+) - при разгоне, (-) - при торможении, поскольку при торможении сила инерции способствует продолжению движения.

4) Сопротивление ветровой нагрузке (W_B). При относительно малых скоростях движения дорожно-строительных машин (до 50 км/ч) ее в расчет можно не принимать.

5) Сопротивление при повороте ($W_{пов}$);

Эти сопротивления возникают на криволинейных участках движения.

6) Рабочие сопротивления (W_p).

Землеройно-транспортные машины, а также некоторые другие машины при движении выполняют свои рабочие функции, испытывая при этом сопротивление обрабатываемой среды. Для каждого типа машин имеется свой набор рабочих сопротивлений.

Общее сопротивление

$$W = W_k + W_y + W_i + W_B + W_{пов} + W_p \quad (5.8)$$

В действительности эти сопротивления одновременно практически не возникают. При расчетах учитываются конкретные условия работы.

Для того чтобы движение было возможным, необходимо, чтобы P_k была больше (или равна) W , включая и сопротивление качению самого ведущего колеса

$$P_k \geq W \quad (5.9)$$

Это необходимо, но недостаточно для движения.

Усилия, передаваемые от двигателя ведущим колесам машины, можно реализовать лишь при условии, что между колесами и грунтом будет достаточно хорошее сцепление. Оно зависит от многих факторов (свойств и состояния поверхности грунта: типа, состояния и внутреннего давления в шине) и характеризуется коэффициентом сцепления φ_0 , (см. таблицу 5.1). При этом сила сцепления

$$P_{сц} = \varphi_{сц} G_{сц} \quad (5.10)$$

где $G_{сц}$ - нагрузка на ведущие колеса (или гусеницы), т. е. сцепная сила тяжести. Н;

$G_{сц}$ машин, выполняющих при движении технологические функции (копание, уплотнение и др.), складывается из силы тяжести машины, приходящейся на ведущие колеса, и сил реакции обрабатываемой среды от взаимодействия с рабочим органом.

$G_{сц}$ транспортных машин во время их движения складывается из сил тяжести машины и грунта, приходящихся на ведущие колеса (гусеницы).

Отметим, что для машины со всеми ведущими колесами $G_{сц}$ - это полная сила тяжести машины с грунтом (грузом). Если же ведущими колесами являются не все колеса машины, то $P_{сц}$ тем больше, чем выше нагрузка $G_{сц}$ на ведущие колеса.

Таким образом, необходимым и достаточным условием движения машины является уравнение тягового баланса

$$P_{сц} \geq P_k \geq W \quad (5.11)$$

Это выражение показывает, что P_k , получаемое колесом от двигателя, может преодолеть все W . а сила сцепления $P_{сц}$ достаточна для реализации усилия P_k в движение машины.

Какие другие варианты возможны?

1) Если $P_{сц} > P_{к} < W$.

То есть усилия на колесе недостаточны для преодоления сопротивления и при этом они меньше сил сцепления. Колесо не сможет продвигаться, и двигатель заглохнет.

2) Если $P_{сц} \leq P_{к} > W$

В этом случае усилия на колесе превосходят силу сцепления колес с грунтом (например, на обледенелой дороге или глинистом влажном грунте) из-за малого $\varphi_{сц}$. Результат - колеса буксуют, и машина не трогается с места.

Как правило, на первом этапе проектирования отсутствуют сведения о силовой установке (т. е. невозможно определить окружную силу $P_{к}$, Поэтому, полагая $W = P_{к}$, определяют мощность силовой установки

$$N = \frac{Wv_p}{\eta} \quad (5.12)$$

где v_p - скорость рабочего хода, м/с.

Таблица 5.1 - Коэффициенты сцепления $\varphi_{сц}$ и сопротивления движению f

Условия движения	Гусеничные тракторы		Колесные тракторы		Автомобили	
	$\varphi_{сц}$	f	$\varphi_{сц}$	f	$\varphi_{сц}$	f
Асфальтированная дорога: в сухом состоянии в мокром состоянии (чистая)	0,8	0,03-0,05	0,8-0,9	0,014-0,018	0,8-0,85	0,012-0,02
	0,8	0,03-0,06	0,7-0,8	0,018-0,022	0,6-0,75	0,015-0,025
Гравийно-щебеночная дорога	-	-	0,8	0,02-0,025	0,5-0,65	0,035-0,06
Сухая грунтовая дорога	0,8-1,0	0,06-0,07	0,6-0,9	0,025-0,035	0,5-0,7	0,03-0,05
Снежная укатанная дорога	0,6-0,8	0,06-0,07	0,3	0,03-0,05	0,2-0,5	0,04-0,10
Глубокий снег	0,2-0,6	0,09-0,25	0,2-0,4	0,24-0,28	0,15-0,25	0,2-0,3
Обледенелая дорога	-	-	-	-	0,08-0,2	0,015-0,05

В ряде случаев необходимо проведение более точных тяговых расчетов *гусеничного ходового оборудования*. Уточненные тяговые расчеты выполняют для прямо- и криволинейного движения. Мощность двигателя принимают по большему тяговому усилию.

Прямолинейное движение. Наибольшее тяговое усилие определяют по сумме составляющих сопротивлений $T \approx \sum W$

$$\sum W = W_{\Gamma} + W_{\Pi} + W_{\text{в}} + W_{\text{у}} + W_{\text{к}} \quad (5.13)$$

Суммарная сила сопротивления включает следующие составляющие:

1) W_{Γ} - сопротивление в гусеницах;

$$W_{\Gamma} = f_{\Gamma} G_{\Gamma} \quad (5.14)$$

где f - коэффициент, характеризующий относительную величину внутренних сопротивлений в гусеницах;

$$f_{\Gamma} = \begin{cases} 0,1 & \text{— для подшипников скольжения,} \\ 0,05 & \text{— для подшипников качения (в опорных катках, в колёсах).} \end{cases}$$

$W_{\text{и}}$ - сопротивление инерции при разгоне

$$W_{\text{и}} = k_{\text{вр}} \frac{Gv}{gt_p} \quad (5.15)$$

где $k_{\text{вр}}$ - коэффициент, учитывающий вращающиеся массы;

t_p - время разгона ($t_p = 2 \dots 5$ с) до скорости V .

Для гусеничных машин

$$k_{\text{вр}} = 1,2 + 0,002u^2 \quad (5.16)$$

Для пневмоколесных

$$k_{вр} = 1 + 0.05(1 + u_k^2) \frac{G}{G_\phi} \quad (5.17)$$

где u - общее передаточное отношение от двигателя к валу ведущей звездочки гусеничной цепи;

u_k - передаточное отношение трансмиссии;

G_ϕ - сила тяжести машины с нагрузкой, отличающейся от номинальной (т. е. с фактической нагрузкой).

3) W_B - ветровая нагрузка (при невысоких скоростях машины не учитывается)

$$W_B = p_B F_B \quad (5.18)$$

где p_B - наибольшее допустимое давление ветра. Па;

F_B - расчетная площадь наибольшей парусности машины (обычно площадь её боковой поверхности), м.

4) W_y - сила сопротивления при уклоне

$$W_y = \pm i_y G \quad (5.19)$$

5) W_k - сила сопротивления перекачиванию

$$W_k = \frac{P_{max}^2}{2P_0} b m \quad (5.20)$$

где P_{max} максимальное давление под гусеницами с учетом их конструкции, Па;

P_0 - коэффициент сопротивления грунта смятию;

b - ширина гусеницы, м;

m - число гусениц.

Криволинейное движение. Предполагается, что машина совершает поворотное движение на горизонтальной площадке вокруг вертикальной оси, проходящей через центр тяжести одной из гусениц (рисунок 5.1). При этом наибольшее тяговое усилие определяют по суммарной силе сопротивлений:

$$\sum W_{\text{пов}} = W_{\Gamma}^{\text{пов}} + W_{\text{к}}^{\text{пов}} + W_{\text{в}}^{\text{пов}} \quad (5.21)$$

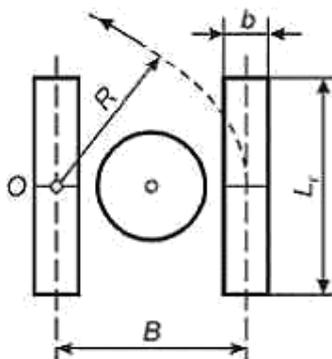


Рисунок 5.1 - Схема поворота машины на гусеничном ходу

Суммарная сила сопротивления включает следующие компоненты:

1) $W_{\Gamma}^{\text{пов}}$ - сила сопротивления в гусеницах (в забегающей гусенице)

$$W_{\Gamma}^{\text{пов}} = f_{\Gamma} \kappa G_3 \quad (5.22)$$

где κ - коэффициент, учитывающий увеличение внутренних сопротивлений при повороте от действия поперечных сил на катки.

$$\kappa = \begin{cases} 1,2 \dots 1,3, & \text{если } R \leq 5L_r \\ 1, & \text{если } R > 5L_r \end{cases}$$

G_i - нагрузка забегающей гусеницы на грунт;

$$G_3 = \frac{G}{2} \left(1 + \frac{2r}{B} \right) \quad (5.23)$$

где r - эксцентриситет результирующей силы тяжести, м.

2) $W_{\text{к}}^{\text{пов}}$ – сила сопротивления перекачиванию та же, что и при прямолинейном движении.

3) $W_{\text{в}}^{\text{пов}}$ – сила сопротивления ветру та же, что и при прямолинейном движении.

Имеется и более простой вариант расчета общей силы сопротивления при повороте. В этом случае

$$\sum W_{\text{пов}} = \mu \frac{L_{\Gamma}}{4B} G \quad (5.24)$$

где μ - коэффициент сил сопротивления повороту;

$$\mu = \begin{cases} 0.50 & \text{– бетон, сухой плотный грунт;} \\ 0.65 & \text{– влажный плотный грунт;} \\ 0.80 & \text{– рыхлый влажный грунт.} \end{cases}$$

В тяговых расчетах пневмоколесного ходового оборудования наиболее общим случаем является взаимодействие колеса с грунтом, при котором деформируются и колесо, и грунт.

При этом имеют место три фактора взаимодействия: *сопротивление качению, скольжению и сцепление.*

Сопротивление качению зависит от многих параметров (физико-механических свойств грунта и шины, в том числе модулей упругости и т. д.). Сопротивление качению снижается при повышении эластичности каркаса и увеличении радиуса пневматической шины.

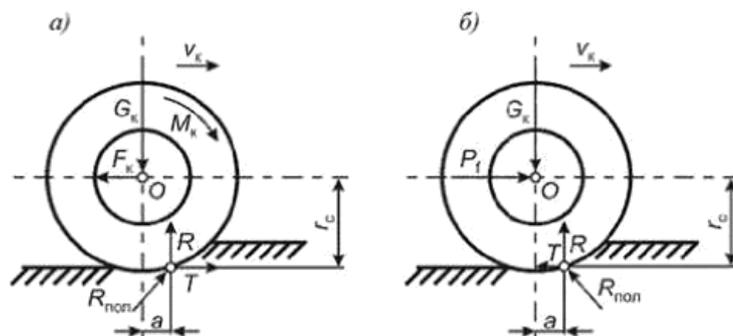


Рисунок 5.2 – Силовые схемы взаимодействия грунта с колёсами: а – с ведущим, б – с ведомым.

Сопротивление качению характеризуют *коэффициентом сопротивления качению* f_k . Он численно равен отношению коэффициента второго рода a (трения качения) к силовому радиусу ведущего колеса r_c .

$$f_k = \frac{a}{r_c} \quad (5.25)$$

Для ведомого колеса (рисунок 5.2) этот коэффициент равен отношению силы, приложенной к оси колеса, под действием которой происходит качение (P_i), к вертикальной нагрузке на колесо (G_k). Коэффициент f_k зависит от многих факторов и является переменной величиной, но в инженерных расчётах его заменяют константой. Отметим, что на практике r_c принимают равным статическому радиусу колеса (т. е. расстоянию от его центра до опорной поверхности).

Скольжение является характерной особенностью взаимодействия колеса с грунтом. Оно приводит к снижению скорости поступательного движения, энергетическим потерям и *буксованию* (т. е. проскальзыванию пневмошины по опорной поверхности в сторону, противоположную направлению движения машины). Характеристикой буксования является *коэффициент буксования* δ_k , который находят из выражения

$$\delta_k = 1 - \eta_{ск} \quad (5.26)$$

где $\eta_{ск}$ - скоростной КПД колесного движителя.

$$\eta_{ск} = \frac{n_{своб}}{n_{вед}} \quad (5.27)$$

где $n_{своб}$, $n_{вед}$ - суммарное число оборотов движителя в режимах свободного (ведомого) колеса и ведущего колеса соответственно за время прохода участка пути одинаковой длины.

При изменении δ_k от 0 до 1 сила тяги колесного движителя меняется от максимального значения до нулевого. При достижении силы тяги, соответствующей $\delta_k = 1$, колесо работает в режиме скольжения и его поступательное движение прекращается.

Этот эффект связан со сцеплением колесного движителя с поверхностью качения, который, взаимодействуя с опорной поверхностью, преобразует крутящий момент, подводимый к нему от двигателя, в силу тяги. С увеличением крутящего момента M_d растет и сила тяги T , но до определенного предела. Она ограничена условиями сцепления колеса с грунтом, т.е. реакцией грунта, которая зависит от силы трения колеса по опорной поверхности и сил зацепления протектора.

Она характеризуется коэффициентом сцепления (изменяется в пределах от 0,1 до 1,0)

$$\varphi = \frac{P_{kmax}}{R} = \frac{T_{kmax} + P_f}{R} \quad (5.28)$$

где P_{kmax} - максимальная окружная сила. Н;

T_{kmax} - максимальная касательная составляющая реакции грунта на колесо. Н;

R - вертикальная составляющая реакции грунта. Н.

При качении ведущего колеса на ось действуют G_k (вертикальная нагрузка на колесо) и реакция от рамы машины (F_k). Для качения необходимо к колесу приложить крутящий момент M_k . В месте контакта с грунтом возникают реактивные силы с равнодействующей $R_{пол}$ (T и R соответственно горизонтальная и вертикальная составляющие реакции грунта).

Из условия равновесия колеса ($\sum M_i = 0$)

$$M_k = T r_c + R a \quad \text{или} \quad \frac{M_k}{r_c} = T + R \frac{a}{r_c} \quad (5.29)$$

$$\frac{M_k}{r_c} = P_k \quad (5.30)$$

Отношение $\frac{M_k}{r_c} = P_k$ - это окружная сила ведущего колеса. Поскольку

$$T = F_k \quad \text{и} \quad R = G_k \quad (5.31)$$

то $P_k = T + f_k G_k$ или $P_k = T + P_f$ (5.32)

где $P_f = f_k G_k$ - сила сопротивления качению колеса), Н.

Таким образом, под действием окружной силы P_k ведущего колеса создается сила тяги и преодолевается сопротивление передвигению (качению).

Качение ведомого колеса, нагруженного вертикальной силой G_k , происходит под действием силы P_f , приложенной к его оси. На участке контакта развиваются реактивные силы с равнодействующей $R_{\text{пол}}$

Из условия равновесия колеса ($\sum M_0 = 0$)

$$P_k - f_k R = P_k - f_k G_k = 0 \quad (5.33)$$

т е.

$$P_k = f_k G_k \quad (5.34)$$

Из (формулы 5.34) видно, что ведомое колесо преодолевает лишь сопротивление передвигению

Таким образом, окружная сила ведущих колес является движущей силой машины. Как отмечалось, она зависит от величины подводимого к колесу крутящего момента двигателя M_k , связанного с крутящим моментом двигателя M_d уравнением

$$M_k = M_d u_m \eta_m \frac{1}{n_{\text{кол}}} \quad (5.35)$$

где u_m - общее передаточное число трансмиссии;

η_m - механический КПД трансмиссии;

$n_{\text{кол}}$ - число приводных колес

Отсюда формула (5.2) будет иметь вид

$$P_K = \frac{M_D u_M \eta_M}{r_c n_{\text{кол}}} \text{ или } P_K = \frac{N_D u_M \eta_M}{r_c \omega_D n_{\text{кол}}} \quad (5.36)$$

где ω_D - угловая скорость вращения вала двигателя, рад/с.

Теоретическая скорость движения машины

$$v_T = r \frac{\omega_D^H}{u_M} \quad (5.37)$$

где r - номинальный (паспортный) радиус колеса, м;

ω - номинальная угловая скорость вращения вала двигателя, рад/с.

Действительная скорость движения с учетом коэффициента буксования

$$v_D = v_T (1 - \delta_K) \quad (5.38)$$

Таким образом, колесный движитель машины развивает окружную силу, величина которой определяется крутящим моментом (мощностью) двигателя, передаточным числом, КПД трансмиссии и ограничивается сцеплением движителя с опорной поверхностью.

6 Классификация машин для земляных работ

Как отмечалось, в данном пособии рассматриваются машины для земляных работ. Земляные работы являются составной частью строительства большинства земляных сооружений. К их числу относятся:

- отрывка котлованов, траншей и мелиоративных каналов;
- возведение насыпей и плотин:

- устройство закрытых проходок в грунте в виде шахт и туннелей под различные подземные сооружения;
- бурение горизонтальных, наклонных, вертикальных скважин (при бестраншейной прокладке трубопроводов под насыпями железных и автодорог, для установок свайных опор в плотных грунтах, для закладки зарядов взрывчатых веществ при разработке грунта взрывом).

Технологический процесс земляных работ обычно состоит из трех основных операций:

- 1) разработка грунта (отделение части грунта от массива и извлечение этой разрушенной части грунта);
- 2) транспортирование грунта (перемещение к месту укладки);
- 3) укладка грунта в земляные сооружения (или в отвал).

Нередко к этим трем операциям добавляют еще две:

- 1) горизонтальная планировка (разравнивание) участков под сооружения;
- 2) уплотнение грунта (в целях придания необходимой прочности, плотности и устойчивости).

Кроме того, технологический процесс включает ряд вспомогательных операций, а именно: подготовку грунта к разработке (рыхление, удаление камней, корчевание пней, срезание кустарника и др.).

Естественно, что состояние грунта, климатические условия, объемы и площади переработки, размеры и конструкции земляных сооружений (насыпей, выемок, котлованов и др.), технология и организация земляных работ влияют на выбор типоразмера соответствующей машины.

Для облегчения анализа различных видов и типов машин очень важно провести их классификацию. Машины для земляных работ классифицируют по различным признакам.

По назначению эти машины разделяют на ряд *групп*, из которых выделим следующие:

- землеройные;

- землеройно-транспортные;
- для подготовительных и вспомогательных работ;
- грунтоуплотняющие;
- для гидромеханизации.

Землеройные машины предназначены для выполнения преимущественно одной операции - отделения грунта от массива (и перемещения за счет энергии своего двигателя). Поэтому они оснащены мощным рабочим органом и имеют сравнительно слабо развитое ходовое оборудование. Следует отметить, что расстояние, на которое перемещается грунт, определяется размерами конструктивных элементов машин. К этой группе относятся экскаваторы различных типов (одно-, многоковшовые).

Землеройно-транспортные машины предназначены для разработки грунта под действием тягового усилия, т.е. во время движения. Поэтому они оснащаются не только мощным рабочим органом, но и мощным ходовым оборудованием. В этом случае расстояние, на которое перемещается грунт, не зависит, как правило, от размеров элементов конструкций машин. К этой группе относят бульдозеры, скреперы, грейдеры, грейдер-элеваторы.

Машины для подготовительных и вспомогательных работ обеспечивают подготовку площадки, на которой будут производиться земляные работы, в частности, се расчистку от кустарника, валунов, пней, а также предварительное рыхление грунтов повышенной прочности. В эту группу входят кусторезы, корчеватели, рыхлители, а также буровые машины для бурения шурфов, для рыхления мерзлых и плотных грунтов взрывом.

Грунтоуплотняющие машины обеспечивают уплотнение предварительно разработанного грунта, уложенного в земляные сооружения (насыпи, дамбы, земляные плотины) для придания ему достаточных плотности и прочности, обуславливающих деформационную устойчивость сооружений. Этим целям служат катки, трамбуемые и вибрационные машины.

В определенной степени приведенная классификация по назначению условна, поскольку приводы, ходовые устройства и другие механизмы современных

машин позволяют использовать одну и ту же базу машины для работы с различными по назначению видами рабочего сменного оборудования.

В свою очередь, в каждой группе машины разделяют на *типы*, которые различаются конструкциями основных элементов. Так, в группе землеройных машин - это одноковшовые и многоковшовые экскаваторы, в группе землеройно-транспортных машин - бульдозеры, скреперы, грейдеры.

Машины для земляных работ подразделяются на землеройные, землеройно-транспортные, машины для уплотнения и для транспортировки грунта, а значительные расстояния от забоя (землевозы, автосамосвалы), рис. 6.1.

Классификация машин для земляных работ приведена в ISO >165:1997, согласно которому машины для земляных работ имеют следующее определение.

Машинами для земляных работ называются самоходные или прицепные машины на гусеничном, колесном или шагающем ходу с рабочим ши дополнительным оборудованием (рабочим органом), предназначенные главным образом для выполнения работ по выемке, рыхлению, погрузке, транспортированию, распределению, уплотнению земли, скального грунта з других материалов, а также прокладыванию в них траншей. К машинам для земляных работ относятся: экскаваторы, бульдозеры, скреперы, автогрейдеры, погрузчики, экскаваторы-погрузчики, траншеекопатели, земле возы, уплотняющие машины, катки и трубоукладчики.

Машины и оборудование для выполнения земляных работ классифицируют по назначению и виду выполняемых работ, характеру и режиму действия рабочего органа и другим признакам. По назначению различают: землеройные машины (для копания, резания и перемещения или погрузки грунта), машины для транспортировки грунта (землевозы, автосамосвалы), для уплотнения грунта и для специальных земляных работ. По конструкции машины подразделяют на экскаваторы: землеройно-транспортные (бульдозеры, скреперы, автогрейдеры), транспортные, ковшовые погрузчики, буровые машины, машины для гидромеханической разработки грунта (землесосы и гидромониторы), грунтоуплотняющие машины (катки, трамбовки, виброплиты) и др.



Рисунок 6.1 - Общая классификация машин для земляных работ

К вспомогательным машинам относят машины для подготовки площадок (корчеватели, кусторезы, камнеуборочные машины), рыхлители, машины и оборудование для удаления воды (насосы).

Землеройные машины предназначены для разработки и погрузки грунта, разработки и перемещения грунта, для подготовительно-вспомогательных и специальных работ. Другая общепринятая расширенная классификация землеройных машин приведена на рисунке 6.2.

В учебном пособии рассмотрены наиболее широко применяющиеся в дорожном строительстве землеройные машины: экскаваторы, бульдозеры, рыхлители, скреперы, автогрейдеры, погрузчики и экскаваторы-погрузчики.

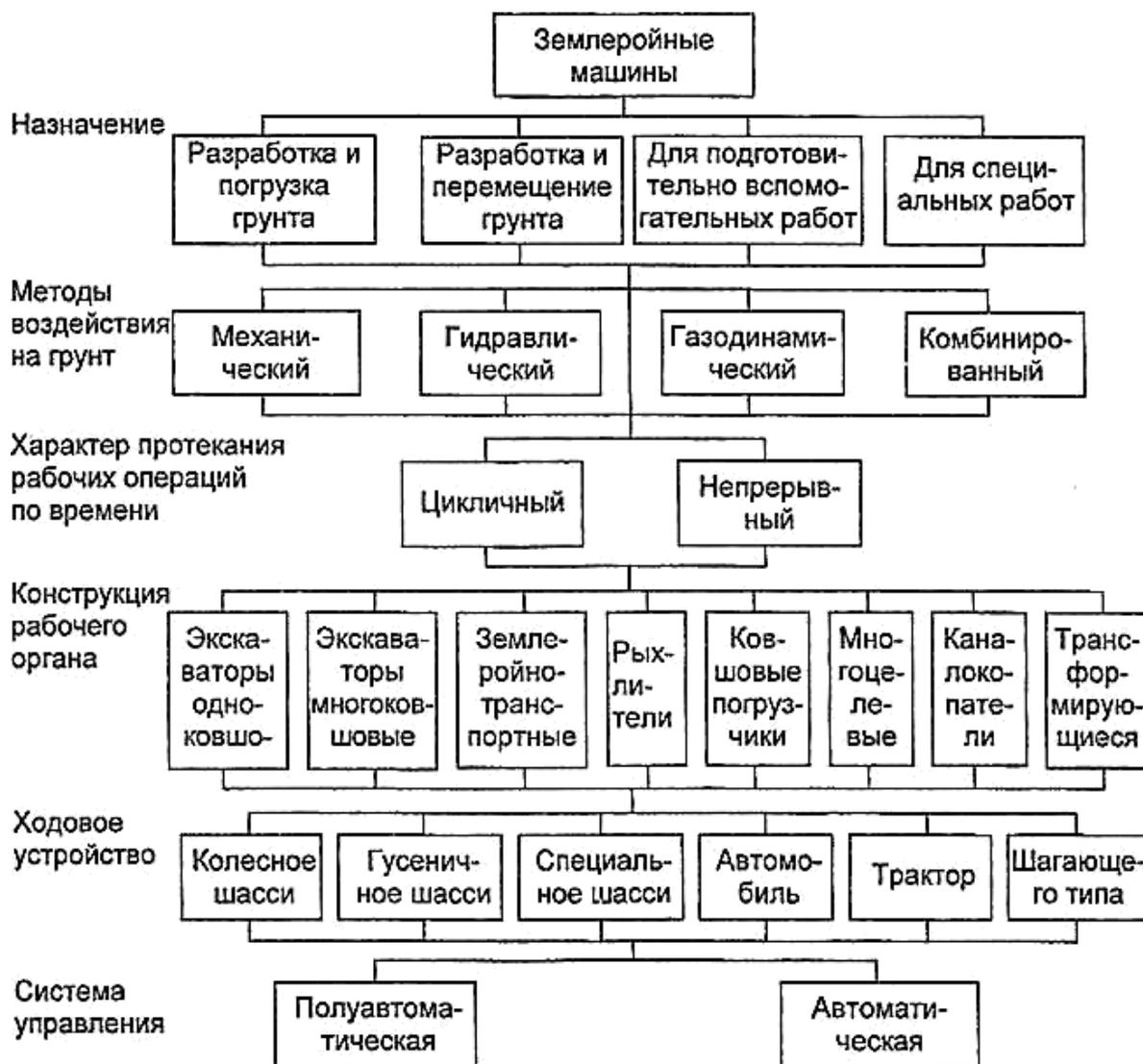
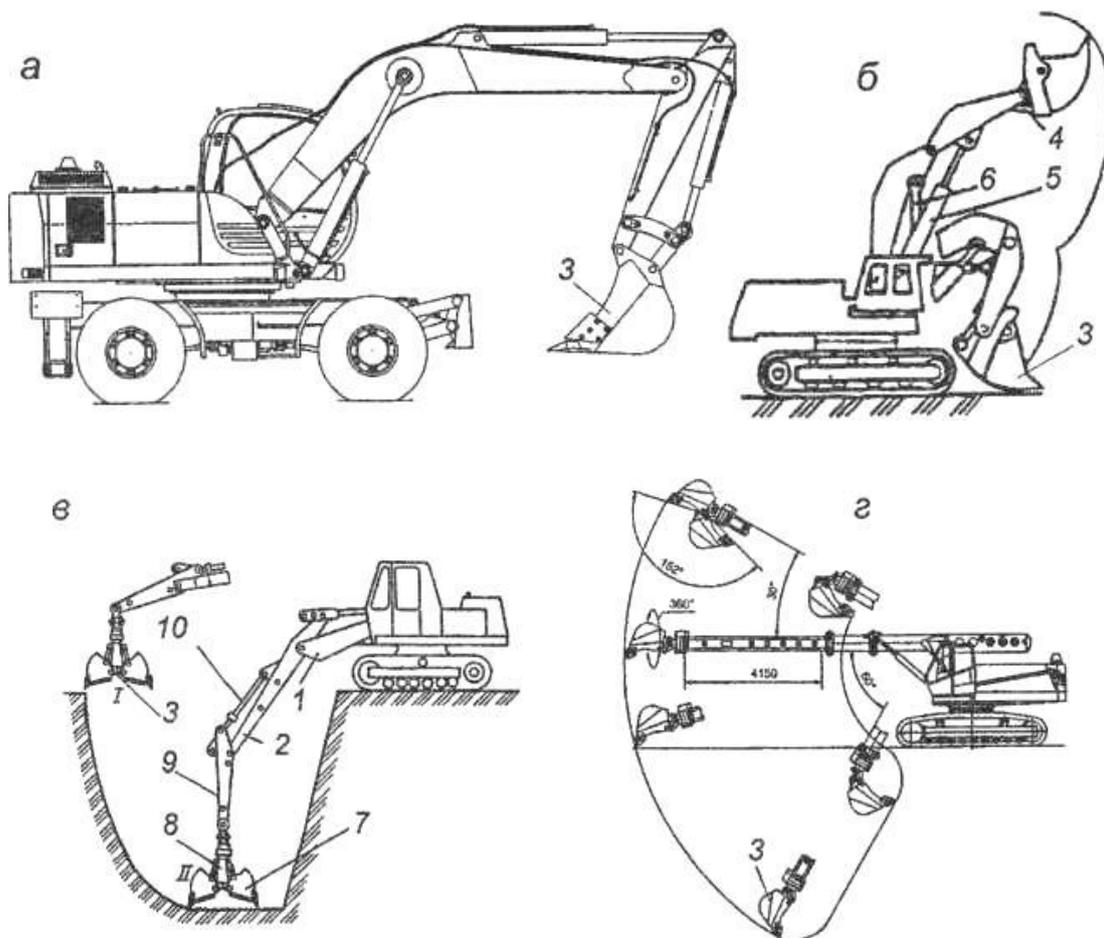


Рисунок 6.2 – Расширенная общая классификация землеройных машин

Экскаваторы предназначаются для выполнения в основном одной операции - отделения грунта от массива. Они оснащаются высокоэффективным рабочим органом и имеют относительно менее развитое ходовое оборудование рис. 6.3 и рис. 6.4.

По виду выполняемых работ различают *машины для выполнения основных работ и машины и оборудование для производства вспомогательных и подготовительных работ и операций.*



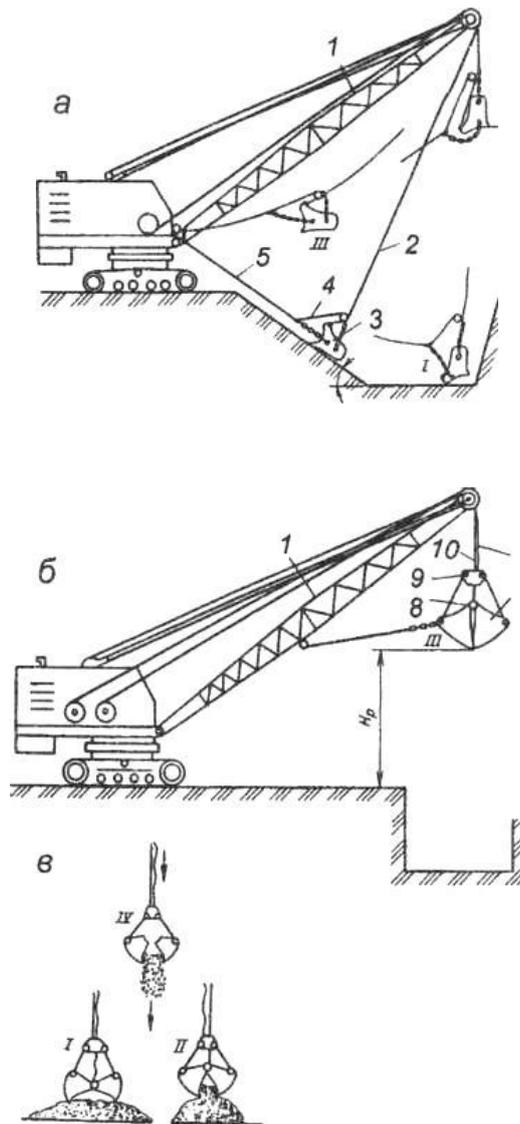
а - обратная лопата; б - прямая лопата; в - экскаватор с грейферным ковшом; г - экскаватор - планировщик с телескопической стрелой; 1 - стрела; 2 - рукоять; 3 - ковш; 4 - гидроцилиндр ковша; 5 - гидроцилиндр рукояти; 6 - гидроцилиндр подъема стрелы; 7 - челюсть; 8 - гидроцилиндр открытия челюстей; 9 - удлинитель; 10 - гидроцилиндр удлинителя; I- выгрузка материала; II- захват материала.

Рисунок 6.3 - Основные типы одноковшовых гидравлических экскаваторов

Землеройно-транспортные машины отделяют грунт от массива и сами перемещают его. Они оснащены не только мощным рабочим органом, но и транспортным ходовым оборудованием (бульдозеры, скреперы, автогрейдеры), рис. 6.5.

Машины для основных работ, в зависимости от характера рабочего процесса, включают:

- *экскаваторы*, отделяющие грунт от массива и перемещающие его на небольшие расстояния, определяемые конструктивными параметрами машины;



6

а - экскаватор драглайн; *б* - экскаватор-грейфер; *в* - работа грейфера; 1 - стрела; 2 - подъемный канат; 3 - ковш драглайна; 4 - канат положения ковша и глубины резания; 5 - тяговый канат; 6 - управляющий канат; 7 - челюсть; 8 - шарнир крепления челюстей; 9 - траверса; 10 - подъемный канат; *I* - заглубление ковша в штабель под действием собственного веса ковша; *II*-захват материала челюстями грейфера; *III*- подъем ковша с материалом; *IV* - выгрузка материала.

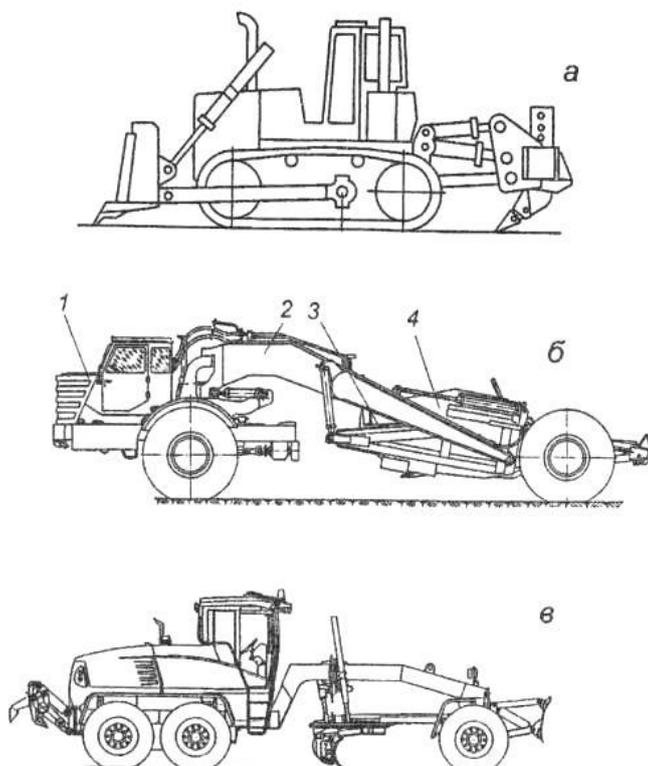
Рисунок 6.4. - Экскаваторы с гибкой подвеской рабочего органа

- *землеройно-транспортные* (бульдозеры, скреперы, автогрейдеры), разрабатывающие грунт в движении и перемещающие его на определенные расстояния; *погрузочно-разгрузочные* (одноковшовые погрузчики, рис. 6.6;

- машины для гидравлической разработки грунта (землесосы и гидромониторы);

- грунтоуплотняющие машины и оборудование (катки, вибрационные и осцилляторные машины, трамбовки); многоцелевые машины (экскаваторы-погрузчики, рис. 6.7, и др.).

Машины вспомогательного назначения включают: машины для подготовки площадок (корчеватели, кусторезы, камнеуборочные машины); машины для разработки прочных грунтов (рыхлители и др.); машины и оборудование для бурения и проходки скважин (бурильные станки, пневмопробойники и др.); машины и оборудование для водопонижения. Машины для подготовительных и вспомогательных работ выполняют, например, расчистку территории, на которой должны производиться земляные работы, от кустарника, валунов, пней, предварительное рыхление грунтов повышенной плотности.



a - бульдозерно-рыхлительный агрегат; *б* - самоходный скрепер; *в* - автогрейдер; 1 - тягач; 2 - рама; 3 - заслонка; 4 - ковш

Рисунок 6.5 - Землеройно-транспортные машины

При возведении земляных сооружений путем укладки предварительно разрабатанного грунта (насыпей, дамб, земляных плотин) обязательно его уплотнение для придания грунту в сооружении достаточных плотности и прочности, требующихся как для предотвращения деформаций земляных сооружений вследствие естественного уплотнения грунта под действием собственной силы тяжести и увлажнения, так и для выдерживания внешних нагрузок. Этим целям служат *машины для уплотнения грунтов* – катки, трамбовки, вибрационные и виброосцилляторные уплотнители и др.

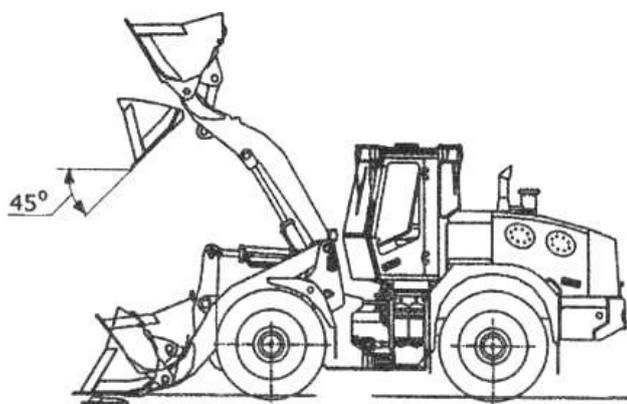


Рисунок 6.6 - Одноковшовый фронтальный погрузчик

Развитие технологии производства земляных работ и задачи механизации всех без исключения операций связанных с экскавацией грунтов обусловили создание разнообразных *специальных машин*, в том числе кабелеукладочных, мелиоративных, буровых, для бестраншейной прокладки трубопроводов, для устройства ям под столбы линий связи. Многочисленность типов этих машин вызвала необходимость выделить их в отдельную группу — *группу машин для специальных земляных работ*.

При соответствующих условиях в строительстве успешно применяют *машины и оборудование для гидромеханизации земляных работ*, например, гидромониторы, землесосные снаряды.

Машины для земляных работ классифицируются также: по виду привода механизмов (электрический, механический, гидравлический, комбинированный), по числу двигателей (однодвигательные, многодвигательные), по мощности (ма-

лой, средней и большой) по ходовому оборудованию (гусеничные, пневмоколесные, шагающие, рельсовые), в зависимости от климата (в северном, тропическом, обычном исполнении).

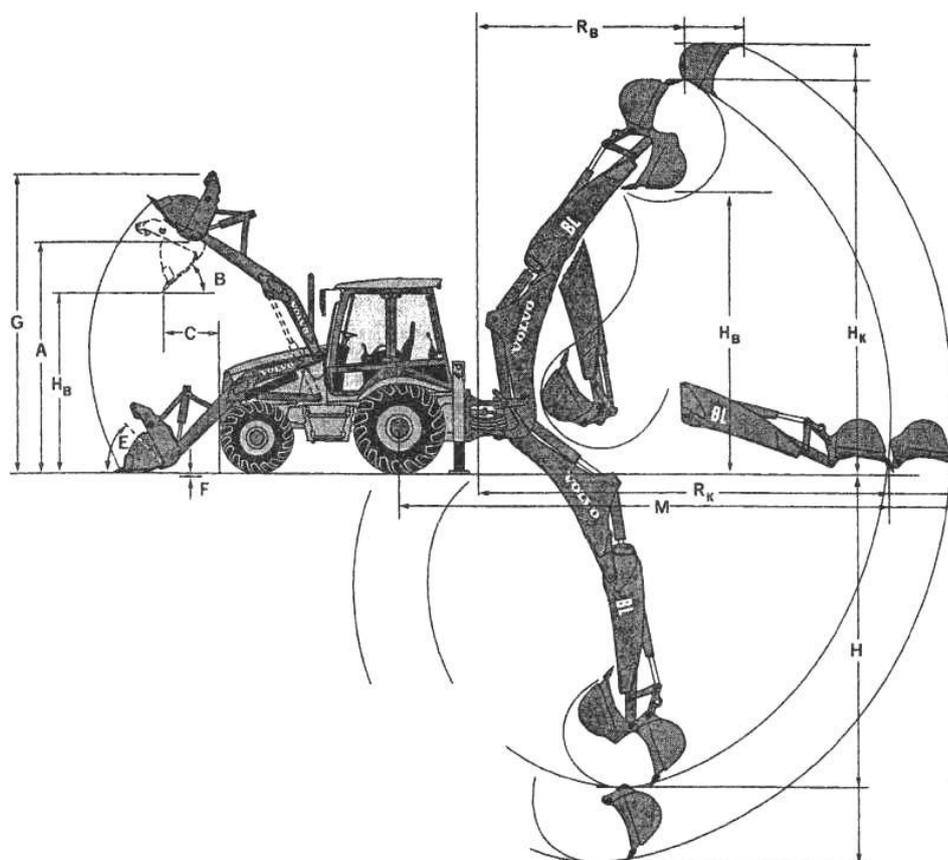


Рисунок 6.7 - Многоцелевая землеройная машина экскаватор-погрузчик

По характеру и режиму действия рабочего органа машины различают *циклического и непрерывного действия*.

Машины циклического действия (одноковшовые экскаваторы, погрузчики, землеройно-транспортные машины и т. п.) характеризуется рабочим процессом, состоящим из непрерывно повторяющихся циклов. Каждый цикл состоит из рабочих и холостых ходов рабочего органа или машины и времени на выполнение вспомогательных операций (разгон, торможение и т.п.). Так у одноковшового экскаватора процесс копания занимает 20...30% времени рабочего цикла, в остальное время производится поворот рабочего оборудования на выгрузку и обратно в забой и выгрузка грунта. Большинство машин циклического действия имеют возможность быстрой замены рабочего оборудования. Это позволяет

успешно выполнять работу в разнообразных грунтовых условиях и при различной технологии и организации работ.

Машины непрерывного действия (многоковшовые экскаваторы, каналокопатели, гидромониторы, землесосные снаряды) выполняют свои функции непрерывно. Разработка грунта в них совмещена с его транспортированием. Вследствие непрерывности процесса эти машины при работе на однородных грунтах и в одинаковых условиях по производительности и другим показателям обычно превосходят машины циклического действия, рис. 6.8.

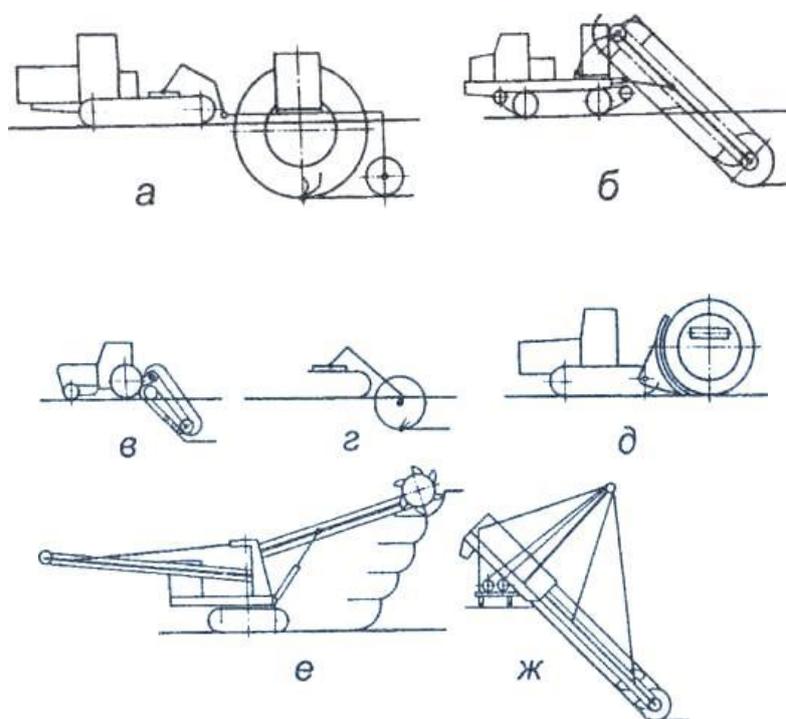
Одноковшовые экскаваторы предназначены для разработки связных и сыпучих грунтов из массива, а также скальных грунтов из забоя, разрыхленного взрывом с погрузкой их в транспортные средства или выгрузкой в отвал. Одноковшовые экскаваторы применяются для разработки грунтов до VI категории включительно. Экскаваторы оснащаются широким набором сменных рабочих органов различного назначения. Их монтируют вместо ковша и подсоединяют к гидросистеме экскаватора. Использование различных видов сменного рабочего оборудования существенно расширяет область применения экскаваторов и делает их универсальными машинами, способными выполнять разнообразные виды земляных, погрузочных и других работ.

Основной рабочий орган экскаватора - ковш. Наиболее распространены ковши прямоугольной формы с зубьями и ковши с днищем полукруглого сечения со сплошной выступающей вперед режущей кромкой.

Технические параметры, характеризующие землеройные машины. Рабочий процесс машин для земляных работ в основном состоит из трех основных операций: отделение грунта от массива и его захват, перемещение (транспортирование) и укладка в сооружение или отвал. Укладка грунта в сооружения сопровождается, как правило, его уплотнением. Многообразие условий производства земляных работ делает необходимым создание большого количества типов этих машин с различными параметрами.

Параметрами машин называют характеристики машин, определяющие их особенности, технико-эксплуатационные и технологические возможности. Ма-

шины для земляных работ характеризуются главными, основными и вспомогательными параметрами.



a - роторный траншейный экскаватор; *б* - цепной траншейный экскаватор; *в* - скребковый экскаватор для разработки узких траншей; *г* - фрезерный роторный экскаватор; *д* - роторный траншеезасыпатель; *е* - роторный экскаватор поперечного копания; *ж* - цепной экскаватор поперечного копания.

Рисунок 6.8 - Схемы основных видов экскаваторов непрерывного действия

Главными параметрами называют параметры, которые в наибольшей степени определяют технико-эксплуатационные и технологические возможности машин. В первую очередь это: масса машин m , мощность N силовой установки (или суммарную мощность основных двигателей при электроприводе), производительность $П$. У таких машин, как экскаваторы и скреперы, к главным параметрам относят дополнительно вместимость q ковша, а у фронтальных погрузчиков – грузоподъемность Q .

Основными параметрами называют те параметры, которые необходимы для выбора машины при определенных условиях ее эксплуатации. Основные параметры включают в себя главные параметры, параметры, определяющие проходи-

мость и маневренность, усилия, развиваемые на рабочем органе, основные рабочие размеры и транспортные размеры машин, а также их надежность. Маневренность и проходимость машин характеризуются их давлением на грунт в рабочих и транспортных режимах, преодолеваемым подъемом, скоростями передвижения и радиусами поворотов. Рабочие размеры одноковшовых экскаваторов и роторных карьерных экскаваторов непрерывного действия характеризуются радиусами и высотой (или глубиной) копания, радиусом и высотой выгрузки для траншейных экскаваторов непрерывного действия, глубиной и шириной разрабатываемой траншеи; для бульдозеров и автогрейдеров шириной и высотой отвалов и т. п.

Вспомогательными параметрами называют остальные параметры, характеризующие, например, условия технического обслуживания, а также ремонта и перебазирования.

Прогнозирование и выбор параметров новых машин для земляных работ при их создании являются важной технико-экономической задачей. В основе решения этой задачи заложены требования создания систем и комплектов машин для обеспечения эффективной комплексной механизации производства земляных работ. При прогнозировании тенденций развития и изменения основных параметров машин, которые могут быть положены в основу создания новых машин или изменения параметров традиционных конструкций, широко используют как эвристические, так и математические методы, базирующиеся, как правило, на теории подобия и моделирования технических систем и статистических данных о развитии конструкции машин и их параметрах.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите виды и назначение землеройных машин. Приведите примеры конструктивных схем.
2. Назовите виды рабочих органов землеройных машин. Приведите примеры конструктивных схем.
3. Назовите землеройные машины с постоянно установленными несколькими видами рабочего оборудования. Приведите примеры конструктивных схем.

4. Приведите основные схемы одноковшовых экскаваторов.

5. Перечислите достоинства и недостатки землеройных машин различного типа. Область применения машин.

6. Приведите классификацию землеройных машин. Перечислите основные признаки классификации. Какие группы машин Вы считаете перспективными в условиях дорожного строительства?

7. Назовите основные виды работ, выполняемых землеройными машинами.

8. Какие землеройные машины используются для разработки мерзлых и высокопрочных грунтов. Приведите схемы рабочих органов.

7 Основные сведения о грунтах и их взаимодействие с рабочими органами машин

7.1 Основные сведения о грунтах

Машины взаимодействуют с грунтами своими ходовыми устройствами и рабочими органами. Ходовые устройства находятся в непрерывном взаимодействии с грунтовой поверхностью, поскольку в процессе работы или перебазирования с одного объекта на другой машины передвигаются по грунту⁷. Рабочие органы машин (землеройных, землеройно-транспортных, уплотняющих) непрерывно или периодически находятся во взаимодействии с грунтами. Таким образом, грунт является одновременно и опорной поверхностью и объектом разработки.

Эффективность работы машины зависит от свойств грунта. Очень важно знать сопротивления, которые оказывает грунт рабочим органам машины, а также зависимость этих сопротивлений от различных факторов (скорости воздействия, формы и размеров рабочих органов и др.). Только при полном учете свойств грунтов возможно сочетание высокого качества земляных работ при оптимальном темпе их производства.

Грунтами в инженерной практике называют горные породы, образующие поверхностные слои земли. В строительстве они служат основанием или же материалом для сооружений. Грунт представляет собой систему, состоящую из мине-

ральных частиц, пространство между которыми заполнено воздухом, водой или льдом.

Плотность этой системы и пористость, т.е. степень заполнения пространства между частицами, лежат в основе деления всех грунтов на классы.

Грунты подразделяют на скальные и нескальные. Это разделение основано на природе пород, хотя четкую границу между ними провести затруднительно.

Скальные грунты отличаются высокой прочностью и представляют собой твердые тела, свойства которых не изменяются при длительном насыщении водой. К ним относятся, в частности, изверженные (магнетические) породы, возникающие при остывании расплавленной магмы.

Отметим, что к скальным грунтам относятся также и породы, которые принадлежат и другим классам горных пород (осадочным - известняки; метаморфическим (видоизмененным) - мраморы).

Скальные грунты под действием физических, химических и механических процессов разрушаются, образуя легко распадающиеся в воде несцементированные или очень слабо сцементированные частицы или обломки. Их принято называть нескальными грунтами.

По происхождению, состоянию и механической прочности грунты разделяют (по классификации В.А. Приклонского) на пять классов: *скальные, полускальные, крупнообломочные, песчаные, глинистые*.

Скальные грунты - это сцементированные, водостойчивые и практически несжимаемые горные породы с $\sigma_{сж} > 5$ МПа. К ним относятся граниты, известняки, песчаники.

Полускальные грунты - это сцементированные горные породы с $\sigma_{сж} < 5$ Мпа, способные к уплотнению (окаменевшие глины) и неводостойкие (гипс, гипсоносные конгломераты).

Крупнообломочные грунты - это несцементированные куски пород, образующих грунты первых двух классов.

Песчаные грунты - это несцементированные частицы горных пород размером 0.05-2 мм. Они представляют собой, как правило, естественно разрушившиеся и преобразованные скальные грунты.

Глинистые грунты - это несцементированные частицы горных пород с преобладающим размером менее 0.005 мм. Они также являются продуктами естественного разрушения и преобразования первичных горных пород образующих скальные и полускальные грунты.

Основной объект разработки - это песчаные, глинистые, крупнообломочные и полускальные грунты. Поэтому машины для земляных работ рассчитывают обычно на преодоление сопротивления разработки именно этих грунтов.

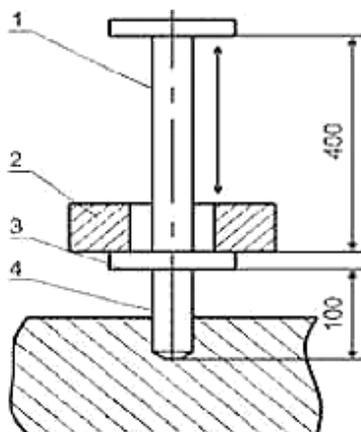
Скальные грунты перед разработкой предварительно разрушают и рыхлят, как правило, взрывными методами. Такая подготовка снижает их сопротивление разработке до уровня сопротивления крупнообломочных грунтов, что позволяет использовать соответствующие машины.

Подобное подразделение грунтов на классы по их строительно-техническим характеристикам облегчает выбор рациональных методов их разработки, но не позволяет учитывать их особенности в расчетах. Для расчетного выбора параметров рабочих органов машин важно знать количественные характеристики всех грунтов, которые разрабатываются машинами для земляных работ.

В настоящее время принята классификация, предложенная профессором А.Н. Зелениным, которая дает количественную оценку грунтов по трудности их разработки. В её основе лежит оценка физического состояния грунта с помощью динамического плотномера (рисунок 7.1).

Принцип работы плотномера следующий: груз массой 2.5 кг падает с высоты 400 мм на ограничитель, связанный с наконечником плотномера, и погружает его в грунт. Наконечник имеет круглое сечение площадью 1 или 2 см².

В зависимости от числа ударов C , необходимых для погружения наконечника на заданную глубину (100 мм), грунт относят к одной из восьми категорий (таблица 7.1).



I - шток; 2 - груз; 3 ограничитель; 4 – наконечник.

Рисунок 7.1 – Динамический плотномер

Таблица 7.1 - Категории грунта в зависимости от числа ударов плотномера

Категория	I	II	III	IV	V	V	VII	VIII
Число ударов, C	1-4	5-8	9-16	16-34	35-70	70-140	140-280	280-560

Воспользоваться этой классификацией для земляных работ стало возможно, поскольку была установлена экспериментально зависимость между числом ударов плотномера и усилием резания

$$\frac{C_{пл1}}{C_{пл2}} = \frac{P_1}{P_2} \quad (7.1)$$

где $C_{пл1}$, $C_{пл2}$ - число ударов динамического плотномера для двух видов грунта;

P_1 , P_2 - усилия резания в этих грунтах.

Классификация А. Н. Зеленина позволяет классифицировать нескальные грунты, при разрушении которых преобладает пластическое деформирование, а также позволяет оценить мерзлые грунты при различных температурах и влажности. Эта классификация в свое время была рекомендована во многих стандартах на машины для земляных работ (таблица 7.2). А поскольку пока еще никто не предложил лучшей классификации, то она используется и в настоящее время в нашей стране.

Как уже было отмечено, в основе классификации лежит трудность раз работки грунтов. Естественно, что процесс разработки, его темпы зависят от свойств грунтов.

Поэтому необходим анализ характеристик грунтов, которые могут непосредственно влиять на процесс их взаимодействия с рабочими органами, а также на параметры этих органов.

Таблица 7.2- Классификация грунтов по трудности их разработки

Категория	Грунты	k_p , МПа	k_1 , МПа		Коэффициент разрыхления грунта	Плотность грунта, т/м ³
			лопаты	драглайны		
I	Песок, супесь, суглинок мягкий, средней крепости влажный или разрыхленный без включений	0.012-0.065	0.018 0.08	0.03 0.12	1.08-1,17	1,2-1,5
II	Суглинок без включений, гравий мелкий и средний, глина мягкая влажная или разрыхленная	0.058 0.13	0,07-0,18	0.12-0.25	1,14 1,28	1,4-1,9
III	Суглинок крепкий, глина средней крепости влажная или разрыхленная, аргиллиты и алевролиты	0,12-0,20	0.16-0.28	0.32-0.40	1,24-1,30	1.6-2,0
IV	Суглинок крепкий со щебнем или галькой. глина крепкая и очень крепкая влажная, сланцы, конгломераты	0.18-0.30	0.22-0.40	0.28-0.49	1,26-1,37	1.9-2.2
V	Сланцы, конгломераты, глина и лесс отвердевшие очень крепкие, мел, гипс, песчаники, известняки мягкие, скальные и мерзлые породы, хорошо взорванные	0.28-0.50	0,33-0.65	0,4-0,75	1,3-1,42	2,2-2,5
VI	Ракушечники и конгломераты, сланцы крепкие, известняки, песчаники средней крепости, мел, гипс, опоки и мергель очень крепкие	0,40 0,80	0.45 0.95	0.55 1.0	1,4 1,45	2,2-2,6
VII	Известняки, мерзлый грунт средней крепости	1,0-3,5	1,2-4,0	1,4-4,5	1,4-1,45	2,3-2,6
VIII	Скальные и мерзлые породы, очень хорошо взорванные (куски не более 0,3 ширины ковша)	-	0.22-0.25	0,23-0.31	1.4-1.6	2.5-2J

Примечание - k_p и k_1 - коэффициенты удельного сопротивления грунта резанию и копанию соответственно.

Наиболее важные характеристики грунтов можно разделить (условно) на несколько групп в зависимости от следующих параметров:

- структуры (плотности и размера частиц) и текстуры;
- физического состояния, т.е. гранулометрического состава;
- содержания воды;
- механических свойств.

Плотность грунта в естественном состоянии (состоянии залегания)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (7.2)$$

где m - масса грунта, кг;

V - объем грунта, м.

Размеры частиц и гранулометрический состав грунта (т.е. содержание частиц различных размеров).

Размер частиц - в зависимости от него частицы разделяют на несколько категорий (таблица 7.3).

Таблица 7.3 - Размер частиц (по М.М. Протодяконову)

Частицы	Размер, мм	Частицы	Размер, мм
Галечные (щебень)	20-40	Пылеватые	0,005-0,05
Гравийные	2-20	Глинистые	<0,005
Песчаные	0,05-2		

Гранулометрический состав - в зависимости от него песчано-глинистые грунты, являющиеся основными при разработке, разделяют на следующие виды (в зависимости от содержания мельчайшей фракции):

- 1) глина - > 30 % глинистых частиц;

- 2) суглинок - 10-30 %;
- 3) супесь - 3-10 %;
- 4) песок - < 3 % глинистых частиц.

Понятно, что размеры частиц влияют как на технологию разработки грунта, так и на степень его взаимодействия с рабочим органом. Крупнообломочные грунты разрабатывают захватом, подбором или зачерпыванием кусков. Их сопротивление разработке и, зависит от минерального состава, а определяется массой, формой и механическим зацеплением кусков. С уменьшением размеров растет удельная поверхность и соответственно силы взаимодействия частиц. Помимо этого растут силы взаимодействия с поверхностью рабочих органов, что проявляется в липкости и внешнем трении грунтов.

Разрыхляемость - свойство грунта увеличивать свой объем при разработке (при постоянной массе). Его характеризуют коэффициентом разрыхления

$$K_p = \frac{V_p}{V} \quad (7.3)$$

где V_p , V - объемы грунта после рыхления и в состоянии залегания соответственно, м.

Величина K_p зависит от свойств грунта (для глин он больше, чем для песка) и конструкции рабочего органа. Его используют при оценке вместимости емкостей, ковшей и отвалов. Коэффициент разрыхления может принимать значения от 1,1 до 1,6.

Влажность (количество воды, содержащееся в порах частиц грунта) - это отношение массы воды к массе сухого грунта, %:

$$W = \frac{m_B}{m_{сг}} \quad (7.4)$$

где m_B , $m_{сг}$ - масса воды и сухого грунта соответственно, кг.

За счет наличия пор, занятых водой и воздухом, плотность грунта всегда меньше плотности монолитных минералов, из которых состоит грунт: плотность грунтов 1500-2000. а минералов 2400-2800 кг/м³. Влажность оказывает очень большое влияние на прочностные свойства грунтов, на их способность уплотняться под нагрузкой. Так, например, максимальная плотность грунта достигается под нагрузкой при определенной влажности. Поэтому каждой нагрузке соответствует максимальная плотность при оптимальной влажности. Особенное влияние оказывает влажность на свойства связных грунтов, которые в зависимости от нее могут находиться в твердом, пластичном или текучем состоянии (пример связных грунтов - глины, содержащие тонкодисперсные фракции частиц).

Связность – это свойство грунта сопротивляться разделению на отдельные частицы под действием внешних нагрузок (для связных грунтов).

Пластичность - это свойство грунта при внешних нагрузках изменять форму без разрыва сплошности (т.е. без разрушения) и сохранять ее после снятия нагрузки. Пластичность грунтов связана с влажностью и размером частиц. Чем меньше размер и больше их однородность, тем выше пластичность. Ее характеризуют числом пластичности o), т.е. разностью влажностей грунта, относящихся к границам перехода в текучее и твердое состояние:

$$\omega_{п} = \omega_{т} - \omega_{р} \quad (7.5)$$

где $\omega_{т}$ - граница (предел) текучести - весовая влажность (%) грунта с водой, в который свободно погружается индентор;

$\omega_{р}$ - граница (предел) пластичности - весовая влажность (%) грунта, при которой он начинает крошиться.

Таким образом, грунт при влажности, большей предела текучести, - вязкая жидкость. Если влажность находится между пределами текучести и пластичности, то он пастообразен. Если влажность меньше предела пластичности, грунт находится в твердом состоянии.

Сопротивления грунта воздействию рабочего органа. При отделении стружки от массива возникают силы сопротивления грунта резанию.

Сопротивление сдвигу - это способность сопротивляться касательным напряжениям.

Экспериментально установлено, что при воздействии на грунт рабочим органом разрушение грунта начинается с его сдвига по поверхности скольжения (рисунок 7.2).

Разрушение начинается по поверхности 1-1, когда на передней грани клина развиваются напряжения σ_p . Величина σ_p , зависит от многих факторов (плотности грунта, глубины резания, углов внутреннего и внешнего трения и др.).

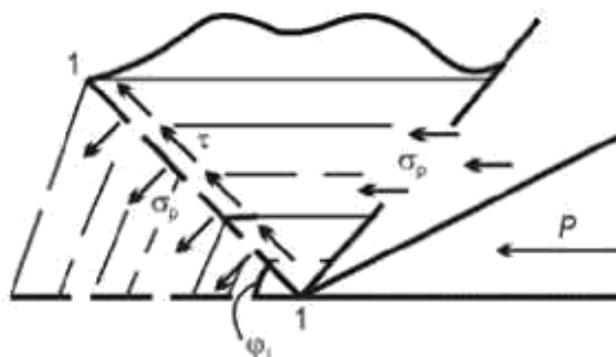


Рисунок 7.2 - Воздействие на грунт рабочим органом (клином)

Для инженерных расчетов принято, что сопротивление сдвигу является линейной функцией нормального напряжения σ_p по поверхности сдвига, что выражается уравнением Кулона (рис. 7.3)

$$\tau = C_0 + \sigma_p \operatorname{tg} \varphi_1 = C_0 + f_1 \sigma_p \quad (7.6)$$

где C_0 - предельное сопротивление сдвигу при отсутствии нормальных нагрузок. МПа;

σ_p - нормальное напряжение на поверхности сдвига. МПа

$$\sigma = \frac{P}{F} \quad (7.7)$$

φ_1 - угол внутреннего трения. Он соответствует углу естественного откоса при свободной насыпке грунта;

f_1 - коэффициент внутреннего трения частиц (коэффициент трения грунта по грунту). $f_1 = \operatorname{tg} \varphi_1 = 0.5 \dots 1.0$.

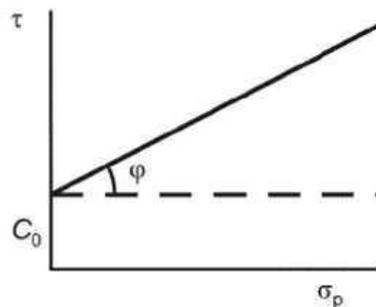


Рисунок 7.3 - Графическая характеристика уравнения Кулона

Сопротивление внешнему трению относится к числу наиболее существенных факторов рабочего процесса машин. Оно характеризуется коэффициентом внешнего трения между грунтом и поверхностью рабочих органов:

$$f_2 = \operatorname{tg} \varphi_2 \quad (7.8)$$

где φ_2 - угол внешнего трения (обычно он составляет $15-30^\circ$). Как известно, f_2 связывает силу трения $F_{\text{тр}}$ с нормальной нагрузкой N

$$F_{\text{тр}} = f_2 N \quad (7.9)$$

Как правило, в качестве f_2 в инженерных расчетах используют коэффициент трения грунта о сталь ($f_2 = 0,25$). Отметим, что он не связан с коэффициентом внутреннего трения f_1 , который характеризует взаимодействие частиц грунта между собой. Хотя до сих пор предпринимаются многочисленные попытки уста-

новить связь между внутренним и внешним трением. Величина f_2 зависит от многих факторов (влажности, размера частиц, условий приложения нагрузки) и изменяется в широком диапазоне (от 0.1 до 1.0).

Абразивность - свойство грунта изнашивать рабочие органы в результате истирания. Для количественной оценки используют характеристику относительного износа

$$\Delta = \frac{I}{LB} \quad (7.10)$$

где I - весовой износ (зависит от свойств материала и грунта, скорости, давления);

L – длина пути, на котором зарегистрирован износ I м;

B - ширина рабочего органа, м.

7.2 Факторы, определяющие взаимодействие рабочих органов машин с грунтом

При взаимодействии рабочих органов с грунтом развиваются силы, определение которых является важной задачей. Они влияют на производительность, от них зависит работоспособность и надежность рабочих органов. С ними связан выбор режимов работы машины.

При оценке действующих сил следует принимать во внимание три группы факторов

- 1) технологию разработки грунтов;
- 2) физико-механические и другие (например, абразивные) свойства грунта;
- 3) геометрические характеристики рабочих органов.

Идеальный случай: найти аналитические зависимости, связывающие действующие силы с перечисленными параметрами. Но пока это никому не удалось, т. к. единой теории взаимодействия рабочих органов с грунтом, в которой фигурировали бы физические константы грунтов и геометрические характеристики рабочих органов машин, не существует.

Попыток было достаточно много. В любом учебнике автора, стремящегося быть объективным, можно найти разнообразные методы расчета сил резания, копания с учетом (или без учета) геометрических параметров не только рабочего органа, но и выемки разрабатываемого грунта. Они предложены В.П. Горячкиным, Н.Г. Домбровским, А.Н. Зелениным, В.И. Баловневым, В.Д. Абезгаузом, Ю.А. Ветровым и др.

Основные виды рабочих органов машин для земляных работ можно классифицировать следующим образом:

- 1) рабочие органы, которые только отделяют грунт от массива (зубья рыхлителя, фрезы профилировщика);
- 2) рабочие органы, которые отделяют грунт от массива, одновременно захватывают и транспортируют:
 - а) перемещающая по поверхности массива (отвалы бульдозеров и грейдеров);
 - б) накапливающая и переносящая грунт в специальных емкостях (ковши экскаваторов, скреперов и погрузчиков).

Как правило, конструкция рабочего органа зависит от вида выполняемой работы. Однако, какова бы ни была его конструкция, он отделяет от массива куски или слои грунта своей режущей частью (лезвием, режущей кромкой).

В общем случае режущая часть рабочего органа имеет клинообразную форму (рисунок 7.4). Рассмотрим основные параметры клина. Линию 2 пересечения передней 1 и задней 3 граней клинообразного рабочего органа называют режущей кромкой.

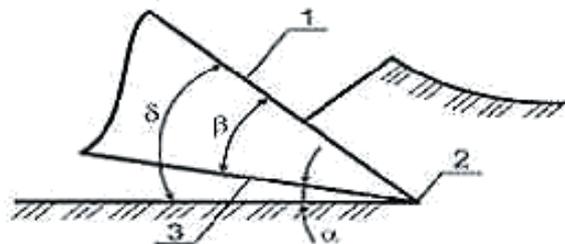


Рисунок 7.4- Параметры рабочего органа (клина)

Угол β - угол заострения, который определяется прочностью материала клина ($\beta = 25-30^\circ$).

Угол δ - угол резания между передней гранью и касательной к поверхности среза ($\delta = 30-10^\circ$). От величины δ во многом зависят условия резания, а также возникающие при этом усилия. Если δ не попадает в диапазон $30-40^\circ$, то значительно растет сопротивление грунта резанию.

Угол α - задний угол (между задней гранью и касательной к поверхности среза). Для снижения трения на нижней грани режущего клина необходимо обеспечить задний угол в пределах $5-8^\circ$.

B - ширина режущей кромки клина, зависящая от технологических режимов.

В процессе резания режущий клин отделяет от массива стружку, форма и размеры которой зависят от состояния и свойств разрабатываемого грунта.

Имеется несколько подходов к оценке стружки. На наш взгляд, целесообразно отметить три вида стружки (рисунок 7.5), которая образуется при резании пластичных (типа глинистых), сыпучих (типа песка, супеси и пр.) и скальвающих (типа сланцев) грунтов.

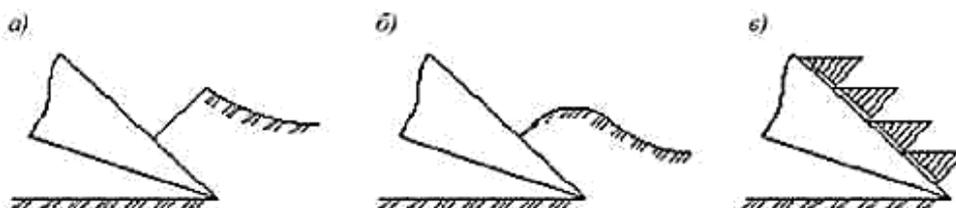


Рисунок 7.5 - Резание различных грунтов: *а* - пластичных. *б* - сыпучих, *в* - скальвающих

В зависимости от положения рабочего органа в массиве грунта различают следующие разновидности резания (рисунок 7.6):

- 1) блокированное (клин контактирует с грунтом по трем граням, и энергоемкость резания наибольшая);
- 2) полублокированное или полусвободное (контакт двумя гранями, энергоемкость составляет 70% от N_6);
- 3) свободное или деблокированное (контакт одной гранью. 40% от N_6);
- 4) Как видно, свободное резание является самым экономичным, однако в

чистом виде его достаточно сложно реализовать. Обычно стремятся вести разработку хотя бы полублокированным резанием, что достигается специальной расстановкой (и применением) зубьев, каждый из которых обеспечивает крупный скол грунта. При этом, чем меньше ширина рабочего органа, тем больше сказывается на сопротивлении резанию блокирование и деблокирование.

5)

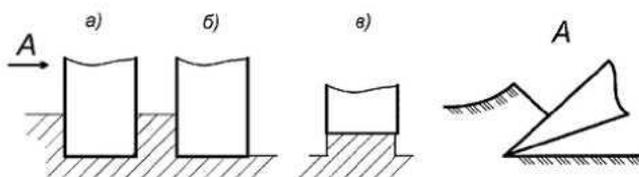


Рисунок 7.6 - Основные способы резания грунта: *a* - блокированное, *б* – полублокированное, *s* – свободное

В процессе блокированного резания в грунте образуется выемка трапециевидального типа. На поверхности массива ширина прорези h значительно больше ширины режущего клина (рисунок 7.7).

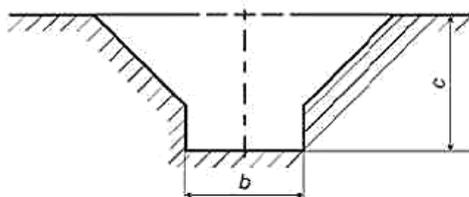


Рисунок 7.7 - Выемка после блокированного резания

Форма профиля выемки зависит от свойств грунта и соотношения между шириной b и глубиной выемки c . Экспериментально установлено, что существует оптимальная глубина резания, при которой энергоёмкость процесса резания имеет наименьшее значение.

При резании (и копании) режущая кромка рабочего органа изнашивается и затупляется. Характер износа зависит от соотношения абразивных свойств грунта,

прочностных характеристик материала ножа и режимов разработки грунта. Влияние износа и затупления рабочих органов на производительность и энергоемкость процесса резания весьма ощутимо. Нередки случаи, когда дополнительные сопротивления грунта резанию, вызванные затуплением режущей кромки, преобладают в общем сопротивлении резанию. Так, например, допускаемый на практике износ режущего инструмента вызывает существенное увеличение силы резания: ножами или ковшами со сплошной кромкой на 90-200%, ковшами с зубьями на 60-100%. Поэтому при расчетах следует учитывать износ режущих инструментов, а при эксплуатации не допускать работу с затупленными рабочими органами.

При резании грунта рабочий орган воздействует на грунт силой P , которая преодолевает сопротивление грунта, т.е. силу P_0 , равную ей по величине, но противоположную по направлению.

Для их оценки эти силы целесообразно разложить в трехмерном пространстве на составляющие (рис. 7.8):

- 1) силу P со стороны рабочего органа раскладывают на составляющие P_1, P_2, P_3 ;
- 2) силу P_0 сопротивления грунта резанию раскладывают на P_{01}, P_{02}, P_{03} .

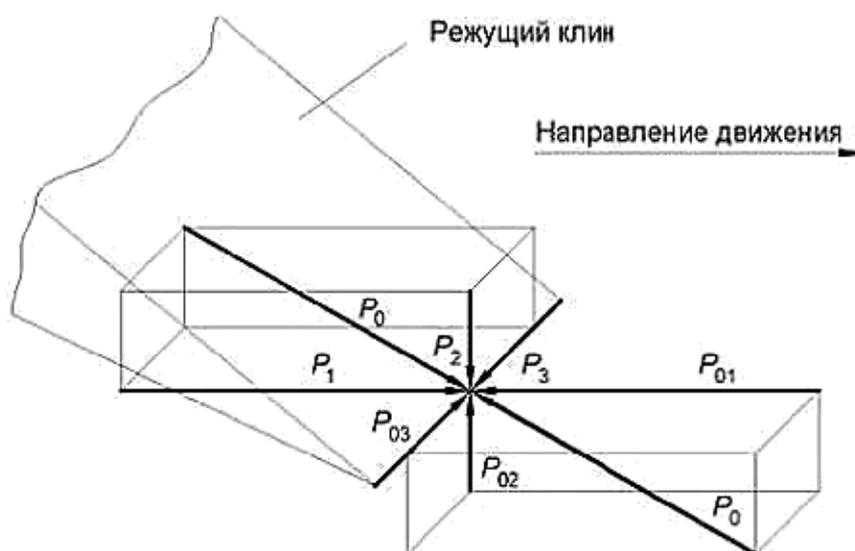


Рисунок 7.8 - Общая схема силового взаимодействия рабочего органа с грунтом

Как правило, силовое взаимодействие оценивают по величине касательной составляющей P_{01} силы сопротивления грунта резанию. Она зависит от свойств грунта и геометрических характеристик рабочего органа.

Касательную составляющую сопротивления грунта резанию P_{01} , численно равную касательной составляющей силы резания (P_I) находят по приближенной формуле

$$P_{01} = K_p bh \quad (7.11)$$

где K_p - удельное сопротивление грунта резанию (в зависимости от категории грунта $K_p = 0.012 \dots 3,5$ МПа);

b – ширина режущей кромки, м;

h - толщина срезаемого слоя грунта, м.

По такой же формуле можно найти и касательную составляющую сопротивления грунта копанию

$$P_{01} = K_1 bh \quad (7.12)$$

где K_1 - удельное сопротивление грунта резанию. $K_1 = 0.018 \dots 4.5$ МПа.

Следует напомнить особенности взаимодействия рабочих органов с грунтом. Резание - это процесс отделения от массива слоев (стружки) грунта. Копание - это совокупность процессов резания и перемещения грунта перед рабочим органом (или по нему).

Может возникнуть закономерный вопрос: почему для таких разных процессов мы используем одни и те же формулы при оценке касательной составляющей сопротивления грунта

$$P_{01} \approx bh \quad (7.13)$$

Для резания формула подходит без существенных допущений. А вот для копания ее использование вынуждает идти на значительные приближения и допущения, поскольку в общем случае при копании грунта рабочим органом происходит ряд процессов:

- 1) резание W_p ;
- 2) трение рабочего органа о грунт $W_{тр}$;
- 3) взаимное трение грунта при его перемещении перед рабочим органом в виде призмы волочения $W_{пр}$;
- 4) трение грунта по поверхности рабочего органа при заполнении его емкости $W_з$;
- 5) сопротивление при разгоне грунта до скорости его перемещения перед рабочим органом $W_{и}$;
- 6) сопротивление при внедрении режущего инструмента в грунт $W_с$.

Все эти процессы обуславливают сопротивление грунта копанию. В общем случае сумма всех сопротивлений, составляющих сопротивление грунта копанию.

$$W = W_p + W_{тр} + W_{пр} + W_з + W_{и} + W_с \quad (7.14)$$

где W_p - сопротивление резанию.

$$W_p = K_p b h \quad (7.15)$$

$W_{тр}$ - сопротивление трения рабочего органа о грунт

$$W_{тр} = f_2 (G_{ро} + G_{гр}) \quad (7.16)$$

$G_{ро}$, $G_{гр}$ - сила тяжести рабочего органа и грунта, вмещаемого рабочим органом, Н;

f_2 - коэффициент трения грунта о поверхность рабочего органа;

$W_{пр}$ - сопротивление перемещению грунта перед рабочим органом в виде призмы волочения

$$W_{\text{пр}} = f_1 G_{\text{пр}} \quad (7.17)$$

f - коэффициент трения грунта о грунт;

$G_{\text{пр}}$ - сила тяжести грунта в призме волочения. Н;

W_3 - сопротивление заполнению грунтом емкости рабочего органа. Оно зависит от его формы и геометрических параметров:

$W_{\text{и}}$ - сопротивление группа разгону, обусловленное инерционными силами,

$$W_{\text{и}} = f m_{\text{гр}} a = P v \quad (7.18)$$

$m_{\text{гр}}$ - масса грунта, кг;

a, v – ускорение (м/с^2) и скорость (м/с) перемещения грунта;

P - массовая производительность, кг/с.

W_6 - сопротивление внедрению в грунт рабочего органа.

$$W_{\text{в}} = K_{\text{вд}} b l \quad (7.19)$$

$K_{\text{вд}}$ - удельное сопротивление вдавливаюнию режущей кромки. Па;

b - ширина режущей кромки, м;

l – толщина режущей кромки, м.

Из формулы (7.19) видно, что $W_{\text{в}} \approx b$ т. е. чем меньше b . тем меньше W (этим объясняется эффективность применения зубьев как режущей кромки при работе на плотных скальвающих грунтах).

Довольно значительный вклад в общую силу сопротивления копанию вносит призма волочения, возникающая перед рабочим органом и зависящая в основном от свойств грунта. Поскольку в области резания из-за призмы волочения возникают дополнительные нормальные напряжения на плоскости сдвига, переднюю режущую кромку стараются выносить из зоны действия призмы волочения в рабочем органе машин для земляных работ.

Выражение (7.14) - точная формула; каждый из упомянутых компонентов вычисляется с учетом свойств грунта, сил трения и технологии земляных работ.

Но в большинстве случаев пользуются упрощенной формулой (7.12). Поскольку в выражении (7.14) основной вклад вносит первый компонент W_p , а остальные пять компонентов дают лишь 15-25 % W_k , то ими пренебрегают, учитывая их только в величине коэффициента удельного сопротивления копания K_l ($K_l > K_p$).

Еще раз отметим: зная силу P_{01} мы знаем и силу P_1 . Очень часто вместо P_{01} используют обозначение P_k (от слова касательная).

Нормальная составляющая (сила отпора грунта) сопротивления грунта копанию (или резанию)

$$P_{02} = \psi P_{01} \quad (7.20)$$

где ψ - коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств грунта, степени затупления и расположения рабочего органа $\psi = (0,2...0,6)$.

Боковая составляющая P_{03} сопротивления грунта копанию, численно равная боковой силе копания P_3 , возникает в двух случаях:

- при разработке неоднородного по ширине режущей кромки грунта;
- когда режущая кромка наклонена под углом, отличным от прямого, так называемое «косое резание».

Несколько слов о «косом резании». Экспериментально установлено, что поворот режущей кромки относительно направления движения на угол, отличающийся от 90^0 , значительно изменяет характер процесса отделения грунта от массива. При этом грунт, отделяясь от массива, одновременно перемещается в сторону. Энергоемкость «косого резания» в 1,2-1,3 раза меньше, чем прямого.

Ранее мы анализировали один из основных показателей машин, а именно удельную энергоемкость

$$N_{yД} = \frac{N}{\Pi} \quad (7.21)$$

где N - мощность силовой установки. Вт;

Π – производительность, кг/с.

При расчетах машин для земляных работ этот показатель имеет несколько иной смысл

$$N = K_3 \Pi \quad (7.22)$$

где N - мощность, затрачиваемая на копание. Вт;

K_3 - удельная энергоемкость копания (таблица 7.1).

Π - производительность, кг/с.

Таким образом, по установочной мощности привода можно определить производительность машин на грунтах различных категорий (этот расчет - энергетический, он не связан с формой и размерами сечения стружки). Его можно использовать в качестве проверочного расчета при подборе мощности силовой установки машин для земляных работ.

Таблица 7.1 - Энергоемкость копания для различных грунтов

Категория грунта	$K_3, \text{Нм} / \text{м}^3$	
	Для ОЭ	для ЗТМ
I	$10^5 - 2 \cdot 10^5$	$10^5 - 1,5 \cdot 10^5$
II	$2 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^5 - 2,5 \cdot 10^5$
III	$3 \cdot 10^5 - 4 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^5 - 3,5 \cdot 10^5$
IV	$4 \cdot 10^5 - 6 \cdot 10^5$	-

Как уже было отмечено, имеется ряд методов расчета сил резания и копания. Эти методы отличаются друг от друга подходом авторов к физике и механике разрушения грунтов, к особенностям взаимодействия рабочего органа с грунтом.

Основоположник теории резания грунтов В. П. Горячкин предложил формулу для определения силы сопротивления копанию плугом.

$$P_1 = gG + kcb + \varepsilon cdv^2 \quad (7.23)$$

где G - сила тяжести плуга. Н;

k - удельное сопротивление резанию;

a - глубина пласта, м;

b - ширина пласта, м;

ε - коэффициент сопротивления (при отбрасывании лемехом грунта);

v - скорость движения, м/с.

Здесь основной параметр - это резание (70-85% P_1). Инерционная (кинетическая) составляющая (εcdv^2) даёт 5-10% P_1 .

Н.Г. Домбровский развил теорию Горячкина применительно к экскаваторам. Он составил (на базе огромного объема экспериментальных данных) шкалу удельных сопротивлений различных грунтов копанию.

Напомним, что для практических расчетов Домбровский предложил формулу (7.12) для определения касательной составляющей силы сопротивления грунта копанию.

М.А. Ветров разработал уточненный метод расчета для различных конкретных условий резания с учетом боковых разрушаемых сечений массива грунта, а также износа ножа. В этом случае сопротивление грунта резанию

$$P_p = P_{св} + P_{бок} + P_{бок.ср} + P_{изн} \quad (7.24)$$

где $P_{св}$ - сопротивление резанию грунта передней гранью ножа. Н;

$P_{бок}$ - сопротивление разрушению грунта в боковых расширениях. Н;

$P_{бок.ср}$ - сопротивление грунта срезу боковыми ребрами ножа. Н;

$P_{изн}$ - дополнительная сила сопротивления резанию из-за износа режущей кромки ножа. Н.

8 Землеройно-транспортные машины

8.1 Бульдозеры

8.1.1 Общие сведения, классификация, основы теории

Бульдозер - самоходная землеройно-транспортная машина, предназначенная в основном для срезания, планировки и перемещения грунта на расстояние до 150 м.

Бульдозер является землеройно-транспортной машиной, состоящей из базового тягача, которым является гусеничный трактор или колесный двухосный тягач мощностью до 600 кВт, и навесного бульдозерного оборудования. ГОСТ 29194 (ISO 6747) дает определение бульдозеру как машине с навесным отвальным (бульдозерным) оборудованием к промышленным тракторам.

ГОСТ Р ИСО 6165 (ISO 6165) дает следующее определение бульдозеру. Бульдозер это самоходная колесная или гусеничная машина с рабочим оборудованием, имеющая либо бульдозерное оборудование, которое срезает, перемещает и распределяет материал за счет движения машины вперед, либо навесное оборудование, используемое для реализации напорного и тягового усилия.

Бульдозерное и рыхлительное оборудование, базирующееся на промышленных тракторах, регламентируется положениями ГОСТ 27434. В соответствии со стандартом тракторы по номинальным тяговым усилиям (в тоннах) подразделяются на классы: 3, 4, 6, 10, 15, 25, 35, 50, 75. Стандартом определяются основные термины:

трактор – самоходная гусеничная или колесная машина, используемая для реализации напорного или тягового усилия посредством смонтированного на ней рабочего оборудования;

базовая машина – трактор без рабочего оборудования, соответствующий технической документации изготовителя. На машине должны быть предусмотрены необходимые места крепления для установки рабочего оборудования;

рабочее оборудование – комплект составных частей, монтируемых на базовую машину с целью выполнения основной ее функции в соответствии с назначением;

дополнительное оборудование – поставляемая по выбору заказчика сборочная единица из составных частей, которую можно смонтировать на базовой машине для специального применения;

составная часть – деталь или сборочная единица из деталей базовой машины, рабочего или дополнительного оборудования;

эксплуатационная масса – масса машины с рабочим оборудованием, указанным изготовителем, с полностью заправленными топливным баком, гидросистемой, системами смазки и охлаждения и с учетом массы оператора (75 кг);

отгрузочная масса – масса машины без оператора, с полностью заправленной гидросистемой, системами смазки и охлаждения, с 10%-ной заправкой топливного бака и либо с рабочим оборудованием, кабиной, навесом, устройством защиты при опрокидывании (ROPS), устройством защиты от падающих предметов (FOPS) либо без них, в зависимости от указаний изготовителя.

В настоящее время в РФ не существует единого государственного стандарта на общие технические условия для бульдозеров и единого обозначения моделей машин. Некоторые изготовители пользуются рекомендациями бывшего Минстройдормаш СССР и индексируют бульдозеры буквами ДЗ – «дорожно-землеройная» машина, а далее указывают номер регистрации базовой модели. Другие обозначают бульдозер буквой «Б» с присоединением цифрового индекса базового трактора. Иногда указывают модель базового трактора и присоединяют в конце этой модели буквы «Б» – бульдозер и «Р» – рыхлитель.

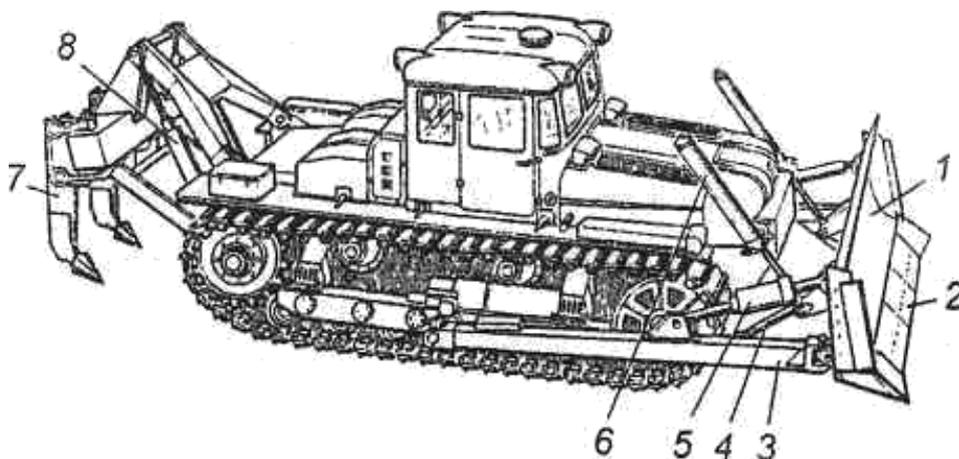
Бульдозер - машина циклического действия: сначала осуществляется рабочий ход (разработка и перемещение грунта, засыпка траншей, срезка кустарника и др.), затем - холостой (возвращение в исходное положение).

Рабочий процесс бульдозера состоит из операций копания, перемещения и разравнивания грунта. При копании отвал заглубляют в грунт при движении бульдозера вперед. Грунт вырезается из массива и накапливается перед отвалом, формируя призму волочения. Затем отвал выглубляют (приподнимают) и бульдозер перемещает грунт к месту укладки, после чего разравнивает призму волочения приподнятым отвалом (как передним, так и задним ходом машины). При транс-

портировании теряется до 30 % объема призмы волочения в зависимости от расстояния.

Бульдозерное оборудование может быть основным или вспомогательным. Бульдозерное оборудование (рис. 8.1) состоит из отвала 1 с ножом 2, толкающих брусьев или толкающей рамы 3, подкосов 4, звеньев наклона 5 и гидроцилиндров подъема и опускания отвала 6.

Бульдозеры получили широкое применение в строительстве. В настоящее время их примерно столько же, сколько и экскаваторов. На долю бульдозеров приходится около 35-40% от общего объема земляных работ, выполняемых в строительстве. Бульдозеры работают в дорожном, мелиоративном, ирригационном строительстве и в карьерах горнорудной промышленности. Они производят планировочные работы, устройство автодорожных и железнодорожных насыпей из боковых резервов, транспортировку грунта на расстояние до 100 м, рытье каналов и котлованов, засыпку траншей и ям, очистку дорог и строительных площадок от снега, валку деревьев и корчевку пней. Их используют в качестве толкачей при работе со скреперами.

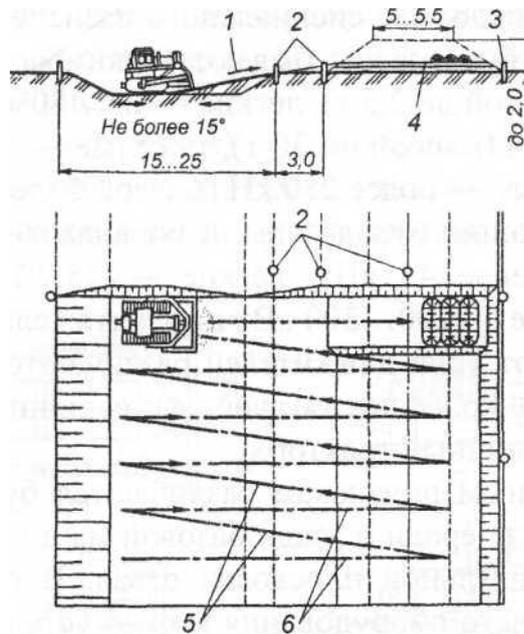


1 - неповоротный отвал; 2 - нож; 3 - толкающие брусья; 4 - подкосы; 5 - звенья наклона отвала; 6 - гидроцилиндры подъема-опускания отвала; 7 - зуб рыхлителя; 8 - гидроцилиндр подъема опускания рыхлителя.

Рисунок 8.1 - Бульдозер-рыхлитель с неповоротным отвалом

Бульдозер является машиной циклического действия. Цикл его работы состоит из операции рабочего хода, при которой происходит резание и транспортирование грунта к месту его укладки в сооружение или в грунтовой отвал, и операции холостого хода при возвращении бульдозера в забой,

Бульдозеры классифицируют по назначению, силе тяги базовой машины, мощности силовой установки, типу движителя, конструктивным признакам, системе управления отвалом (рис. 8.3)



1, 6- рабочая траектория движения бульдозера; 2, 3 - колышки границы наклонных площадей; 4 - насыпь; 5 - траектория обратного движения бульдозера.

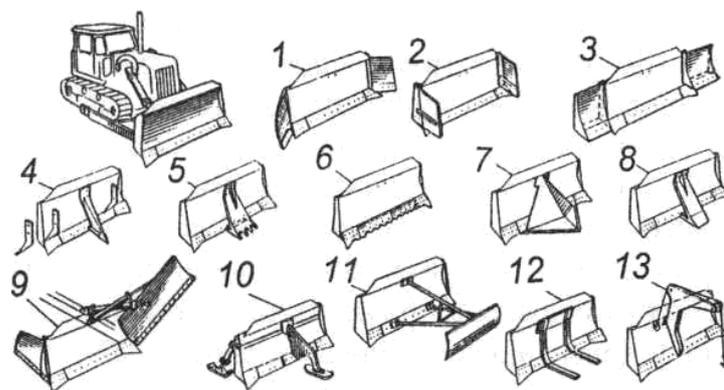
Рисунок 8.2 - Схема возведения насыпи бульдозером



Рисунок 8.3 - Классификация бульдозеров

Основными параметрами отвала являются *ширина* и *высота*. Ширина B_0 должна быть такой, чтобы при любом рабочей положении отвала она превышала габаритную ширину ходовой части машины не менее чем на 100 мм с каждой стороны. Высоту H при неповоротном отвале принимают обычно в 2,8...3 раза, а при поворотном в 2...2,2 раза меньше его ширины.

Бульдозер оснащается по требованию потребителя дополнительным сменным рабочим оборудованием, Рисунок 8.4. Это существенно повышает эффективность бульдозерных работ.



1 - неподвижный или гидроуправляемый уширитель; 2 - открьлок; 3 - удлинитель; 4 - передние и задние рыхлительные зубья; 5 - кирка для взламывания ас-

фальтовых покрытий; 6 - ножи для мерзлых грунтов; 7 - кусторезный нож; 8 - канавная наставка; 9 - откосник с жестким креплением или гидроуправляемый откосник-планировщик; 10 - передние и задние лыжи; 11 - отвальная приставка для работы от стенки; 12 - грузовые вилы; 13 - подъемный крюк.

Рисунок 8.4 - Дополнительное сменное оборудование к бульдозерам с неповоротным отвалом.

Рабочий цикл бульдозера с неповоротным отвалом зависит от вида работ и может складываться из операций наполнения отвала, перемещения грунта с подрезанием, перемещения грунта с разравниванием, холостых проходов, вспомогательных операций. При наполнении отвал срезает стружку грунта определённой толщины, в результате чего перед ним скапливается масса грунта. Срезанный-грунт, накапливаясь перед отвалом, образует валик, близкий по форме к лежащей на боку треугольной призме, получившей название *призма волочения*.

Повышение производительности достигается перемещением грунта двумя-тремя заходами на части длины транспортировки (перемещение с одним или двумя промежуточными валами). Такой способ увеличивает производительность на 5... 10 %. Применение открьлков при работе описанными способами с промежуточными валами или с штабелевкой увеличивает объем призмы на втором этапе до двухкратного.

Укладка перемещаемого грунта в зависимости от характера искусственного сооружения обычно производится одним из трех способов.

Первый способ – *послойная отсыпка с разравниванием* передним или задним ходом применяется при возведении насыпей бульдозерами, при разравнивании грунта, отсыпанного другими машинами с последующим уплотнением.

Второй способ – *местная отсыпка без разравнивания* – применяется в случае укладки грунта слоем большой толщины (засыпка котлованов, устройство оградительных валов, кавальеров). При этом различают укладку отдельными кучами (свободная укладка), вполуприжим, вприжим. При укладке отдельными кучами отсыпки грунта в заданном месте осуществляются последовательно таким обра-

зом, чтобы подошвы их откосов соприкасались. Укладка в полуприжим производится с надвиганием последующих отсыпок на ранее уложенные, чтобы расстояние между вершинами куч примерно было равно высоте кучи. При укладке в прижим расстояние между вершинами соответствует 0,5...0,75 высоты кучи.

Третий способ – *местная отсыпка с разравниванием* – применяется при засыпке траншей, подсыпке грунта к искусственным сооружениям.

Возвращение бульдозера в забой (холостой ход) совершается с *максимальной скоростью*, допустимой условиями безопасности движения и приемлемой для оператора. При транспортировке на расстояние более 50 м движение производится передним ходом с разворотом машины, при меньшем расстоянии – задним ходом. В случае движения передним ходом холостой ход выполняется в стороне, рядом с грузовым направлением. При транспортировании грунта в траншею холостой ход производится как в стороне, так и при движении задним ходом.

Остановки, связанные с переключением передач, используются для временной установки отвала в рабочее или транспортное положение. При механической трансмиссии переключение делают за 3-4 с, при гидромеханической или электрической - за 1-2 с, с учетом времени на управление отвалом соответственно 4- 6 с в первом и 2-3 с во втором случае. Скорости по операциям рабочего цикла составляют 1,5...3 км/ч при резании, 2,5...5 при транспортировке грунта, 5...8 при холостом ходе.

Бульдозер классифицируют по назначению, типу ходовой части, конструкции рабочего оборудования, типу привода рабочего оборудования, тяговому классу базовой машины (мощности двигателя).

По типу ходового оборудования различают колесные и гусеничные бульдозеры. Предпочтение отдают гусеничным бульдозерам, имеющим большее сцепление с грунтом и повышенную проходимость.

По назначению различают бульдозеры общего назначения, приспособленные для выполнения разнообразных работ (землеройных, планировочных, строительных и др.) и специального назначения, для выполнения определенных видов работ (прокладка дорог, чистка от снега, сгребание торфа, подземные работы, толкание скреперов и т.д.).

По номинальному тяговому усилию и мощности бульдозеры разделяют на легкие, средние, тяжелые и сверхтяжелые (таблица 8.1).

Таблица 8.1 - Классификация бульдозеров по номинальному тяговому усилию и мощности

Тип	Тяговое усилие, кН	Мощность, кВт
Легкие	30-140	20-50
Средние	140-200	50-100
Тяжелые	200-300	100-200
Сверхтяжелые	>300	>200

По конструкции рабочего оборудования различают бульдозеры: с неповоротным отвалом, с поворотным отвалом, универсальные и бульдозеры-погрузчики.

В бульдозере с неповоротным отвалом он установлен перпендикулярно продольной оси машины неподвижно или с небольшим угловым качанием в поперечной плоскости.

В бульдозере с поворотным отвалом его можно поворачивать на определенный угол в обе стороны от основного положения. Его устанавливают только на гусеничных тракторах, поскольку колесные тягачи плохо воспринимают боковые нагрузки.

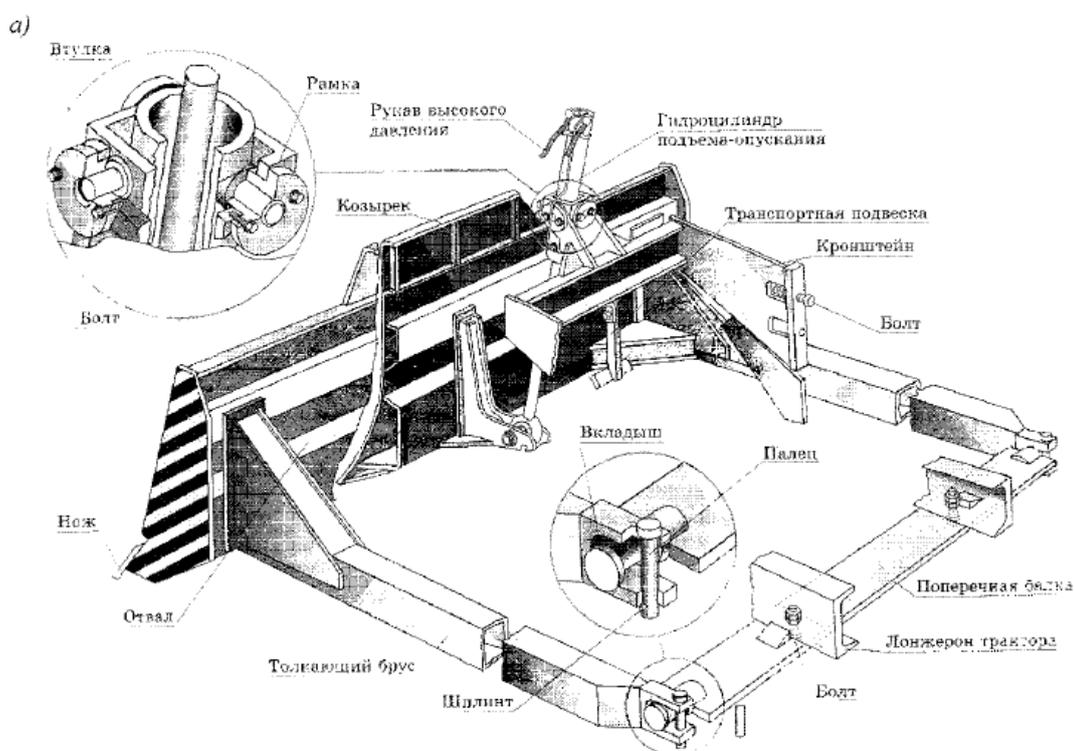
Универсальные бульдозеры оборудованы шарнирно-сочлененным отвалом, состоящим из двух одинаковых частей, которые могут быть установлены перпендикулярно оси машины, под углом в одну или в разные стороны.

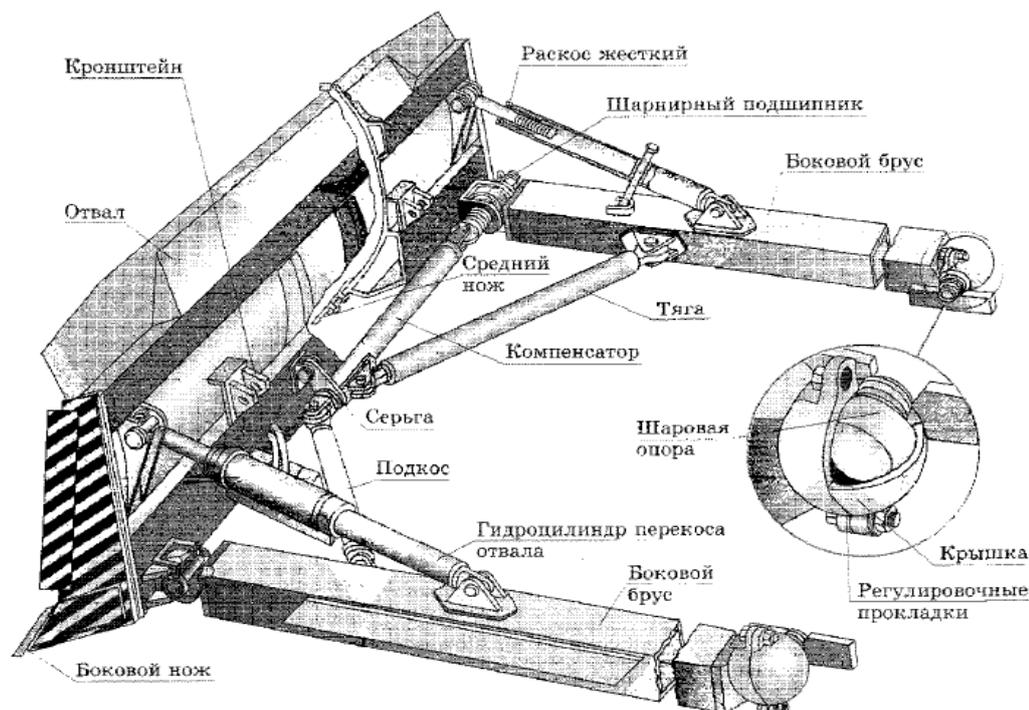
У бульдозеров-погрузчиков на подъемной стреле шарнирно установлен отвал (вместо него легко можно навешивать грузовой ковш или другие виды оборудования, например крюк).

Бульдозеры с неповоротными отвалами бывают с жесткими и шарнирными толкающими брусками.

Бульдозер с жесткими брусьями (рисунок 8.1. а) оборудован отвалом, к которому приварены два толкающих бруса, охватывающие снаружи базовый трактор. Брусья шарнирно установлены на поперечной балке, которая болтами крепится к раме трактора. Подъем и опускание отвала осуществляются с помощью одного гидроцилиндра, установленного впереди на подрамнике.

Бульдозер с шарнирными брусьями (с перекосом отвала) оборудован отвалом (рисунок 8.1, б), с которым шарнирно связаны два толкающих бруса (они же шарнирно крепятся к тележке трактора) Для сохранения необходимого положения и резания грунта с минимальными затратами энергии отвал с одной стороны удерживается пирораскосом, а с другой - жесткой тягой (например винтовым раскосом). Гидрораскос присоединен к гидросистеме трактора и осуществляет перекоп отвала в поперечной плоскости на угол до 12° .





б

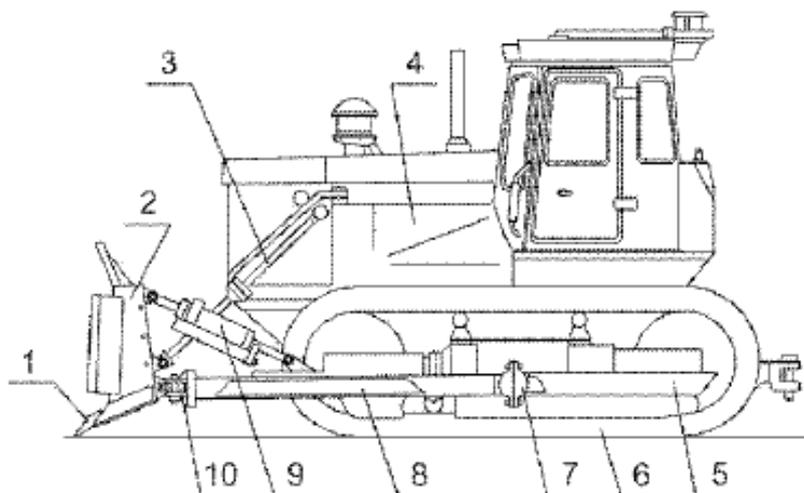
Рисунок 8.5 - Бульдозерное оборудование с неповоротным отвалом: а - с жесткими брусками; б - с шарнирными брусками (с перекосом отвала)

Гидрораскос отвала состоит из гидроцилиндра двойного действия, двустороннего замка и штуцеров для присоединения к гидросистеме трактора. Замок запирает полости гидроцилиндра при отключенном парораспределителе и открывается для подачи рабочей жидкости при включении привода). На тяжелых бульдозерах гидрораскосы имеют предохранительные клапаны для устранения последствий чрезмерного давления при наезде бульдозера на непреодолимое препятствие. Винтовой раскос служит для механического изменения угла резания ножей в диапазоне $\pm 10^\circ$ от среднего угла установки 55° . Он представляет собой трубу, с одной стороны которой установлен винт с шарнирным подшипником, с другой – проточина на шестиграннике с пружинным стопором.

В целом отвал вместе с брусками и раскосами образует жесткую систему, которая с помощью двух гидроцилиндров поднимается и опускается.

В ряде конструкций бульдозеров с неповоротным отвалом (рис. 8.6) для повышения устойчивости отвала в горизонтальной плоскости и обеспечения равномерности распределения нагрузки предусмотрен механизм компенсации, представляющий собой цилиндрическую тягу с проушинами, которая одним концом

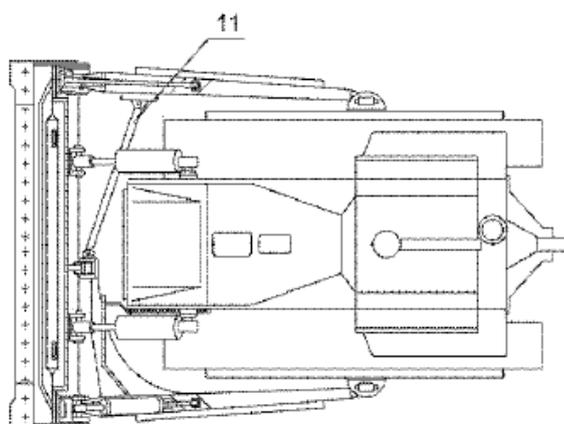
шарнирно связана с правым брусом, а другим - с поперечным шарниром, размещенным в зоне продольной оси на кронштейне левого бруса. В кронштейне установлен палец с резьбой, который с помощью серьги шарнирно связан с отвалом.



1 - нож; 2 - отвал; 3 - гидроцилиндр подъема-опускания отвала; 4 - силовая установка с трансмиссией. 5 гусеничная тележка; 6 - гусеницы; 7 - шарнир; 8 - толкающий брус; 9 - гидрораскос 10 - универсальный шарнир;

Рисунок 8.6 - Конструктивная схема бульдозера с неповоротным отвалом (вид сбоку)

В современных неповоротных бульдозерах гидрофицируют оба раскоса, а также механизм компенсации, поэтому управление положением отвала в различных плоскостях можно осуществлять из кабины.



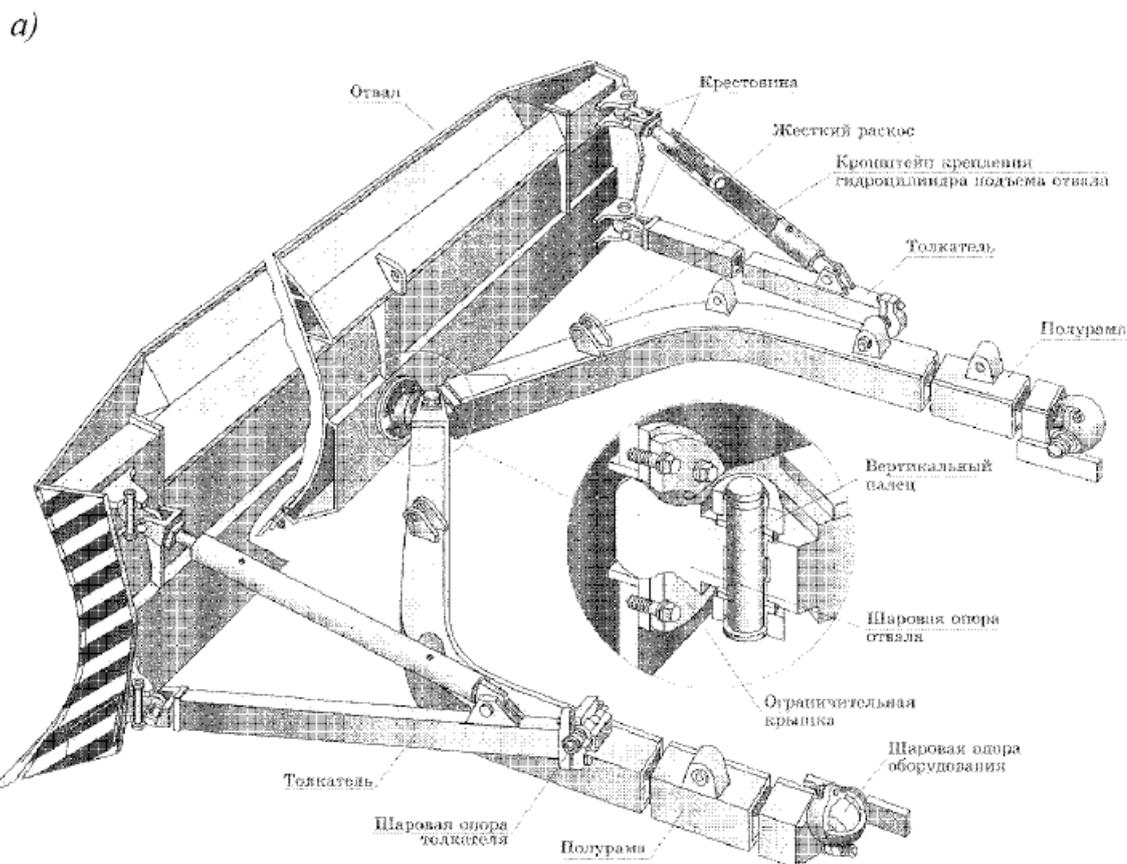
11 - механизм компенсации.

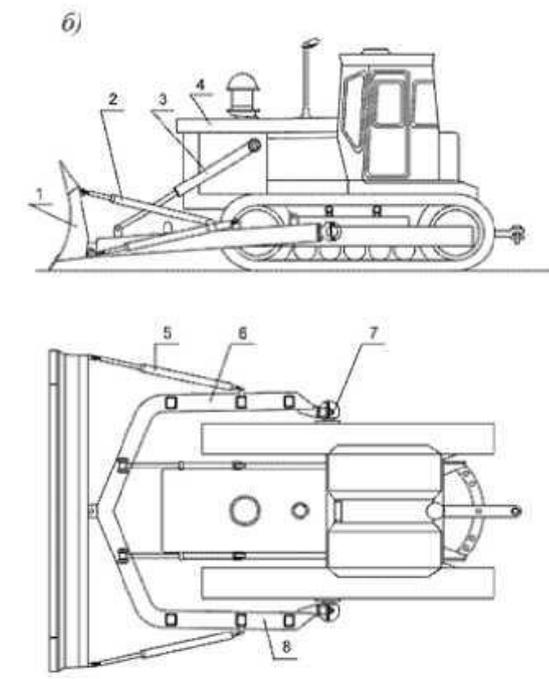
Рисунок 8.7 - Конструктивная схема бульдозера с неповоротным отвалом (вид сверху)

Бульдозер с поворотным отвалом отличается тем, что на базовом тракторе с помощью упругих шарниров крепят охватывающую универсальную (толкающую) раму (рис. 8.8).

Впереди рамы приварена шаровая опора, на которой установлен отвал, поворачивающийся налево и направо по ходу движения машины. Отвал соединяют с рамой в целях удобств монтажа и демонтажа. Она состоит из двух полурам, связанных между собой шарнирно с помощью вертикального пальца) шаровым шарниром и двумя толкателями с винтовыми или гидравлическими раскосами. Подъем и опускание рамы с отвалом производят двумя гидроцилиндрами. Задние шарниры толкателей закрепляют в ползунах (кронштейнах) на раме. Их фиксируют вручную в трех положениях относительно продольной оси отвала ($0; \pm 27^\circ$) закладными штырями (штифтами).

При одинаковой длине винтовых раскосов основной угол резания отвала составляет 55° (и может меняться в пределах $\pm 5^\circ$ при одинаковом увеличении или уменьшении их длины).





a - рабочее оборудование; *б* - конструктивная схема: 1 - отвал; 2 – гидрораскос; 3 - гидроцилиндр подъёма-опускания отвала; 4 - базовый трактор; 5 - толкатель; 6, 8 - полурамы; 7 - шарнир.

Рисунок 8.8 - Бульдозер с поворотным отвалом

При увеличении длины раскосов с одной стороны и уменьшении с другой изменяется угол поперечного перекоса отвала в пределах $\pm 5^\circ$.

В ряде современных моделей управление положением отвала полностью гидрофицировано и осуществляется из кабины машиниста. С помощью гидроцилиндров производятся подъём и принудительные опускание отвала, поворот в плане, поперечный двухсторонний перекос, изменение угла резания ножей, а также устанавливаются его плавающее и фиксированное положения.

Способность поворотных бульдозеров осуществлять «косое» резание и перемещать грунт в сторону находит широкое применение при засыпке траншей и рвов, а также для очистки строительных площадок и дорог, в том числе от снега.

В связи с возможностью реализации «косого» резания длина поворотного отвала $V_{пов}$ значительно больше, чем неповоротного $V_{неп}$.

$$V_{пов} = (1,3 \dots 1,35)V_{неп} \quad (8.1)$$

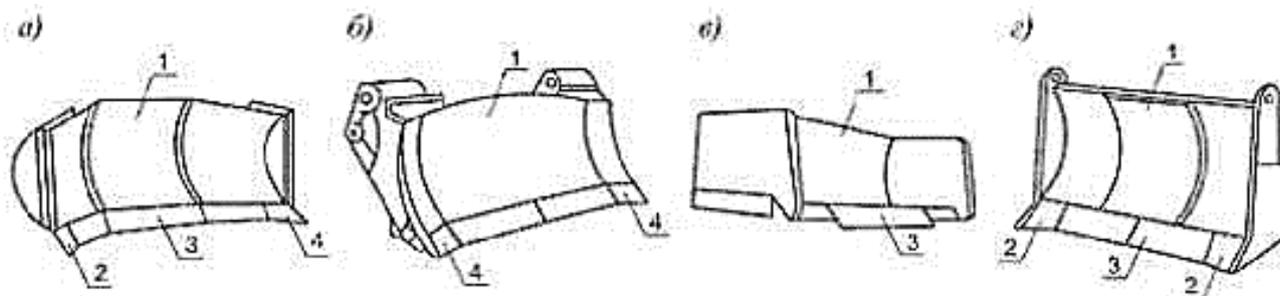
Поэтому бульдозеры с поворотным отвалом развивают меньшее удельное усилие резания (при одинаковом тяговом усилии базового трактора).

Отвал бульдозера представляет собой объемную металлическую конструкцию, сваренную из лобового листа полукруглого профиля, с верхним и нижним задними поясами жесткости (они образуют листовые коробки). Сверху к отвалу приварен козырек, препятствующий пересыпанию грунта через верхнюю кромку отвала и улучшающий формирование призмы волочения. Козырек также имеет ребра жесткости. В нижней части лобовой лист образует подножевую плиту, на которой спереди крепят съемные ножи. Торцы отвала закрыты боковыми щеками.

Ножи обычно выполняют из нескольких секций. Их передние рабочие кромки расположены, как правило, в одной горизонтальной плоскости. При копании мерзлых грунтов среднюю секцию ножей делают выступающей вперед, связывая ее длину b с шириной отвала ($b = 0.3B_0$).

Неповоротные бульдозеры снабжают различными отвалами. Прямой простой отвал используют для разработки крепких фунтов (имеет боковые и угловые ножи), универсальный - для планировки и других работ в грунтах с нарушенной структурой.

Сферический применяют для разработки мягких и средней крепости грунтов; за счет выступающих вперед концов отвала объем грунта вырастает на 20-25 % (рисунок 8.4. а).



а - отвал сферической формы; *б* - отвал с выдвигающимися боковыми зубьями; *в* - совкообразный отвал; *г* - отвал толкача.

Рисунок 8.9 - Формы специальных отвалов бульдозера

Отвал с рыхлящими боковыми зубьями используют для крепких каменистых грунтов для бульдозеров большой мощности (зубья выдвигаются ниже ножей на 0.2-0.3 м) (рисунок 8.9, б).

Совковый отвал применяют для малосвязных грунтов при их перемещении на большие расстояния, он имеет боковые щитки (для набора грунта) и выступают) ю вперед часть ножа (рисунок 8.9, в).

Короткий прямой отвал, как правило, используют для толкания скрепера с целью создания большего тягового усилия (их снабжают амортизаторами) (рисунок 8.9. г). Он имеет усиленную в средней части конструкцию.

Бульдозер снабжают дополнительным оборудованием. Его отвал может быть оснащен боковыми щитками, боковыми ножами и выдвигными боковыми зубьями.

Для работы в плотных грунтах его снабжают одним передним и двумя задними зубьями.

Для взламывания асфальта применяют отвалы с киркой в средней части. Для разработки мерзлых грунтов используют отвалы с гребенчатыми ножами или зубьями.

Для одновременной планировки откосов и их подошвы отвал оснащают наклонной наставкой (с жестким или шарнирным соединением с основным отвалом). Если наставка имеет соответствующий профиль и установлена в средней части отвала, то она позволяет очищать и планировать канавы. Для перемещения грунта от стен зданий используют отвальную приставку (при движении задним ходом).

Кроме того, устанавливают в средней части отвала кусторезные ножи, грузовые вилы, подъемные крюки.

Управление рабочим органом производится с помощью объемной гидростатической передачи (рисунок 8.10), которая состоит из бака, насоса, распределительных и вспомогательных устройств, исполнительных гидроцилиндров. Насос применяют обычно шестеренный. Используют следующие разновидности привода:

- 1) универсальный гидропривод - насос приводят от вала отбора мощно-

сти трактора; при этом насос, бак и распределитель комплектуют в единую конструкцию и устанавливают сзади трактора;

2) привод раздельно-агрегатный - насос приводят от коленчатого вала трактора; все агрегаты устанавливают раздельно.

Современные бульдозеры, как правило, оснащают системами автоматического управления положением отвала, учитывающими особенности технологии работ и рельефа обрабатываемого участка.

Параметры отвала. К основным параметрам отвала относятся его ширина и высота, а также углы, характеризующие положение отвала в пространстве по отношению к разрабатываемому грунту (рисунок 8.11).

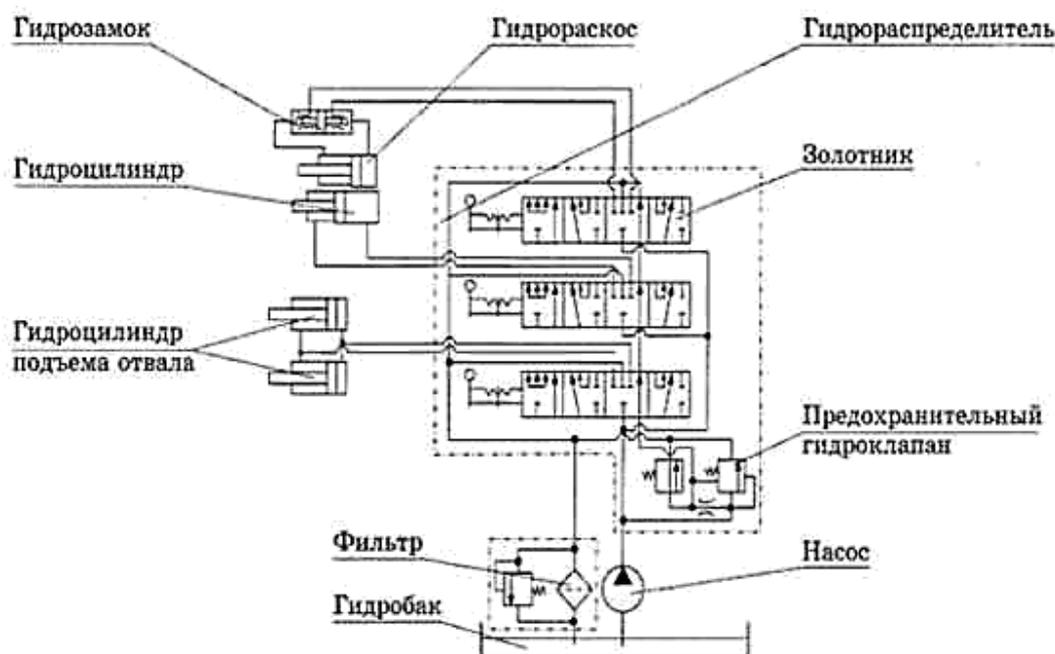


Рисунок 8.10 - Схема гидравлическая принципиальная управления рабочим органом бульдозера с неповоротным отвалом

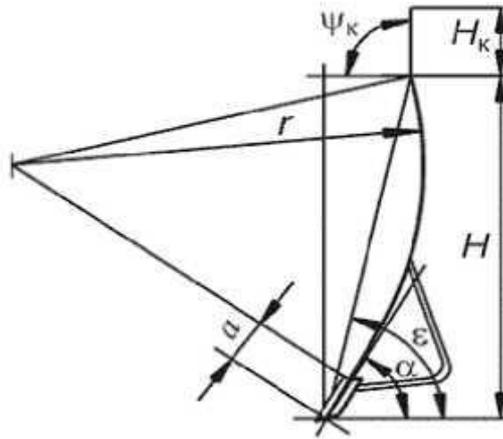


Рисунок 8.11 - Расчетная схема отвала

1) $H_{отв}$ – высота отвала, м (зависит от силы тяги T для средних грунтовых условий) (таблица 8.2), кроме того, её можно определить по формулам:

$$H_{от} = 500 \sqrt[3]{0,1T} - 0,5T \quad (8.2)$$

$$H_{от} = 450 \sqrt[3]{0,1T} - 0,5T \quad (8.3)$$

2) $B_{от}$ - ширина (длина) отвала, м.

$$B_{от} = (2,8...3,0)H_{от} \text{ - для неповоротного отвала.} \dots\dots\dots(8.4)$$

$$B_{от} = (1,3...1,35)B_{от} \text{ - для поворотного отвала.} \dots\dots\dots(8.5)$$

При этом $B_{от} = B_{маш} + 200 \text{ мм}$;

3) H_k - высота козырька, м.

$$H_k = (0.1...0.25)H_{отв} \quad (8.6)$$

4) r - радиус кривизны, м;

5) α - угол резания;

6) ϵ - угол наклона отвала;

7) ψ_k - угол установки козырька;

8) ψ_0 - угол опрокидывания (на рисунке 8.6 не показан);

9) β - угол заострения (на рисунке 8.6 не показан).

Угол резания α влияет на энергоемкость резания (с его уменьшением снижается сила сопротивления резанию).

Угол наклона отвала ϵ формирует призму волочения. При малом ϵ грунт пересыпается через отвал, при большом - ухудшаются условия подъема грунта вверх по отвалу.

Угол заострения β определяет характер изменения давления ножа на грунт по мере его затупления. При малых значениях β быстро затупляется режущая кромка ножа.

Таблица 8.2 - Высота отвала для средних грунтовых условий

Тяговое усилие, кН	40	60	100	150	250	350
$H_{от}$, см.	70-75	80-90	90-110	110-120	120-130	130-140

Радиус кривизны r криволинейной поверхности обеспечивает переваливание грунта перед отвалом, чтобы исключить потери грунта через отвал.

Эти параметры имеют оптимальные значения (таблица 8.3).

Таблица 8.3 - Параметры поворотного и неповоротного отвалов бульдозера

Параметр	Отвал	
	неповоротный	поворотный
Угол резания α , град	50-60	50-60
Угол наклона отвала ϵ , град	75	75
Угол опрокидывания ψ_o , град	70-75	60-75
Угол установки козырька ψ_k , град	90-100	90-100
Задний угол γ , град	10-15	10-15
Радиус цилиндрической поверхности отвала r , м	-	0,8-0,9

Расчет системы управления отвалом. К основным параметрам системы управления относятся:

- 1) усилия на штоках гидроцилиндров механизма управления отвалом (гидроцилиндр поворота и изменения угла резания не учитываются);
- 2) скорости их передвижения;
- 3) рабочее давление жидкости;
- 4) расход жидкости;
- 5) КПД.

Усилия в гидроцилиндрах механизма управления отвалом определяют в двух положениях (рисунок 8.12):

- 1) при заглоблении - из условия равновесия трактора относительно задней кромки опорной поверхности гусениц (или оси задних колес для колесных бульдозеров);
- 2) при выглоблении - из условия равновесия относительно передней кромки опорной поверхности гусениц (или оси передних колес для колесных бульдозеров).

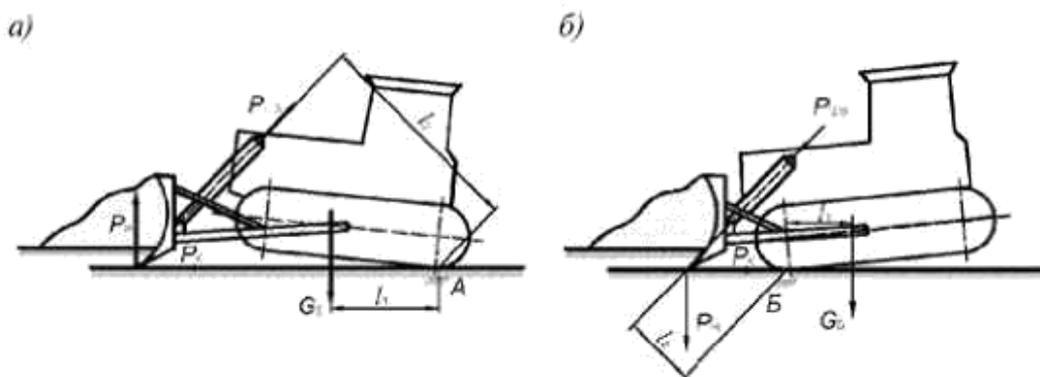


Рисунок 8.12 - Схема к определению нагрузок на бульдозер: *a* - при заглоблении; *b* - при выглоблении

Расчетная формула для определения сил, возникающих в гидроцилиндрах при заглоблении $P_{цз}$, и выглоблении $P_{цв}$, применяемая к каждому из обеих случаев, выглядит следующим образом

$$P_{ц,i} = \frac{l_1}{l_2} G_6 \quad (8.7)$$

При статическом расчете проверяется общая устойчивость машины. Она определяется, как правило, при движении:

- 1) под уклон α со скоростью v и при внезапной остановке машины вследствие встречи отвала с непреодолимым препятствием или резкого торможения;
- 2) на подъем α ;
- 3) по косоугору с поперечным углом наклона, а также на закругления дорог.

Составляют уравнение равновесия и с учетом коэффициента запаса устойчивости ($K_{уст} \geq 1,2$) определяют допускаемую скорость при движении под уклон, угол уклона при движении на подъем, а также угол поперечного уклона по условию сцепления движителя с опорной поверхностью.

Помимо статического расчета, для расчета прочности отдельных элементов рабочего оборудования (отвала, толкающих брусьев и др.) необходимо определить максимальные усилия, которые возникают в отдельные моменты работы машины. При этом различным элементам соответствуют различные опасные положения рабочего оборудования. В связи с этим необходимо рассмотреть пять основных расчетных схем. Как правило, они реализуются при наезде отвала на препятствие:

- а) при упоре отвала в средней части (проверка прочности отвала);
- б) при упоре в край отвала (проверка прочности толкающих брусьев и подкосов).

Тяговый расчет бульдозера. Необходимое тяговое усилие расходуется на преодоление нескольких видов сопротивления копанию. Отметим, что анализируется обычно самый тяжелый вариант:

- 1) бульдозер при перемещении и копании движется на подъем;
- 2) призма волочения достигает наибольшей величины.

При копании грунта его часть (в случае ковша) или практически весь грунт (в случае отвала) перемещается перед рабочим органом в виде фигуры, напоминающей призму (если смотреть на рабочий орган спереди). Форма этой фигуры, полу-

чившей название призмы волочения, определяется конфигурацией поверхности рабочего органа, траекторией движения, а также свойствами грунта.

В расчетах обычно принимают, что грунт после разрушения при резании рабочим органом превращается в среду со свойствами, которые характерны для сыпучего материала. Поэтому грунт в призме волочения рассматривают как сыпучую среду, а свободные боковые поверхности призмы образуют с горизонтом угол, разный углу естественного откоса (в условиях движения призмы).

При копании отвалом роль призмы волочения преобладающая. При копании ковшом она также достаточно значительна. Объем призмы волочения может составлять 5-75% объема ковша. При этом, чем более сыпучий грунт, тем больше объем грунта в призме волочения.

Итак, суммарное сопротивление перемещению W состоит из нескольких компонентов

$$W = W_p + W_{np} + W_{тр} + W_{\sigma} \quad (8.8)$$

где W_p - сопротивление резанию. Н.

$$W_p = K_p B c \quad (8.9)$$

K_p - удельное сопротивление резанию. Н;

B - ширина отвала, м;

c - толщина стружки, м.

В более общем виде для поворотных отвалов

$$W_p = K_p B c \sin \varphi \quad (8.10)$$

где φ - угол поворота отвала в плане относительно продольной оси трактора, т. е. угол между нормалью к оси машины и отвалом.

Но часто используют угол между осью и отвалом, т. е. $Z = 90^\circ - \varphi$;

$W_{\text{пр}}$ - сопротивление перемещению призмы волочения грунта перед отвалом, Н

$$W_{\text{пр}} = f_1 G_{\text{пр}} \quad (8.11)$$

f_1 - коэффициент трения грунта по грунту, $f_1 = 0.4 \dots 0.8$; (меньшие значения для влажных и глинистых грунтов);

$G_{\text{пр}}$ - сила тяжести грунта в призме волочения. Н;

Но с учетом уклона и с учетом поворота отвала

$$W_{\text{пр}} = G_{\text{пр}} \sin \varphi (f_1 \pm i) = \rho_{\text{г}} g q_{\text{пр}} \sin \varphi (f_1 \pm i) = \rho_{\text{г}} g \frac{B_{\text{от}} H_{\text{от}}^2}{2K_{\text{пр}}} \sin \varphi (f_1 \pm i) \quad (8.12)$$

$\rho_{\text{г}}$ - плотность грунта, кг/м³;

$q_{\text{пр}}$ - объём призмы волочения, м³;

i - уклон;

$K_{\text{пр}}$ - коэффициент пропорциональности, зависящий от $H_{\text{от}}/B_{\text{от}}$;

$W_{\text{тр}}$ - сопротивление трению грунта по отвалу (или сопротивление перемещению грунта вверх по отвалу), Н

$$W_{\text{тр}} = G_{\text{пр}} f_2 \cos^2 \alpha \sin \varphi = \rho_{\text{г}} g \frac{B_{\text{от}} H_{\text{от}}^2}{2K_{\text{пр}}} f_2 \cos^2 \alpha \sin \varphi \quad (8.13)$$

f_2 - коэффициент трения грунта по отвалу (по стали), таблица 8.4;

α - угол резания.

Таблица 8.4 - Значения коэффициента трения грунта по стали

Грунт	F_2
Песок	0,35 - 0,5
Суглинок и супесь	0,5 - 0,6
Глина	0,7 - 0,8

W_6 - сопротивление передвижению бульдозера, Н.

$$W_6 = G(\omega \pm i) \quad (8.14)$$

G - сила тяжести бульдозера, Н;

ω – коэффициент удельного сопротивления движению бульдозера.

$\omega = 0.02...0,30$.

Если тяговая характеристика не известна, то на предварительном этапе мощность силовой установки N подбирают по суммарной силе сопротивления W

$$N = \frac{Wv_p}{\eta} \quad (8.15)$$

где v_p - скорость рабочего хода, м/с;

η - КПД механизма передвижения на первой передаче.

По суммарному сопротивлению выбирается соответствующий механизм передвижения базовой машины, так чтобы сила тяги была больше суммарного сопротивления. $T \geq W$.

Производительность $П$ бульдозера при разработке и перемещении грунта определяют из выражения

$$П_э = \frac{K_B q_{пр}}{K_p t_{ц}} \quad (8.16)$$

где K_B - коэффициент использования бульдозера по времени. $K_B = 0,8...0,9$;

K_p - коэффициент разрыхления грунта;

$t_{\text{ц}}$ - продолжительность рабочего цикла, с.

Продолжительность рабочего цикла $t_{\text{ц}}$ бульдозера определяют по формуле

$$t_{\text{ц}} = \frac{l_p}{v_p} + \frac{l_T}{v_T} + \frac{l_p+l_T}{v_{\text{з.х}}} + t_{\text{доп}} \quad (8.17)$$

где l_p, l_T - длины участков резания грунта и его транспортирования, м;

v_p, v_T - скорости рабочего и транспортного хода, м/с;

$v_{\text{з.х}}$ - скорость заднего хода, м/с;

$t_{\text{доп}}$ - дополнительное время, с. затрачиваемое:

- на переключение передач $t_{\text{шт}} = 6.. 8$ с;
- подъем и опускание отвала за цикл $t_{\text{оп}} = 4...5$ с;
- разворот бульдозера $t_{\text{раз}} = 10... 15$ с;
- повороты и управление машиной во время рабочего цикла, $t_y = 7... 8$ с.

Следует отметить, что эта формула оценивает время цикла в общем виде, и если возврат идет задним ходом, то это исключает повороты на концах участка.

Совершенствование бульдозерного оборудования. Следует выделить три основных направления совершенствования бульдозерных отвалов:

- 1) улучшение их транспортирующих свойств;
- 2) снижение усилий и энергоемкости процесса копания;
- 3) расширение технологических возможностей бульдозеров.

Транспортирующие свойства отвалов являются главным фактором, определяющим производительность бульдозеров и качество выполняемых ими работ. Для неповоротных отвалов совершенствование конструкции направлено, главным образом, на увеличение их накапливающей и удерживающей способности. Для этого на бульдозерных отвалах малой и средней мощности устанавливают различные по форме и размеру открылки. Отвалы более мощных машин делают, как

правило, сферическими. Для работы бульдозеров на слабых и сыпучих грунтах разрабатывают отвалы сменной длины, что достигается использованием боковых телескопических секций или дополнительных секций, которые подсоединяются к обеим сторонам отвала.

Поворотный отвал бульдозера предназначен для фронтального и бокового перемещения грунта. Для улучшения условий бокового перемещения грунта предлагают конструкции, обеспечивающие уменьшенное продольное сопротивление перемещения грунта по лобовой поверхности отвала, принудительное транспортирование грунта вдоль лобовой поверхности и двухстороннее распределение грунта в боковые валики.

Снижение усилий и энергоемкости процесса копания грунта. Процесс копания грунта отвалом бульдозера сопровождается интенсивным вертикальным перемещением грунта по его лобовой поверхности. Поэтому снижение сопротивления трения грунта по отвалу обеспечивается совершенствованием его профиля.

Наибольшее распространение получили цилиндрические отвалы с постоянным радиусом кривизны, эффективно работающие в различных грунтовых условиях. Отвалы с увеличенной кривизной верхней части предназначены для копания крепких и связных грунтов, а отвалы с увеличенной кривизной нижней части - для копания сыпучих и слабо связных грунтов.

На машинах, где бульдозерное оборудование является вспомогательным (например, на экскаваторах), используют отвалы, лобовая часть которых представляет собой ломаную поверхность. Такие отвалы предназначены для увеличения опорного контура землеройных машин и ведения планировочных операций небольшого объема.

Помимо этого, снижение сопротивления грунта копанию достигается совершенствованием режущей кромки отвала. В частности, ножевая система, оснащенная средним выступающим ножом, способствует большей концентрации веса и тягового усилия бульдозера на короткой средней части ножа и более эффективна для разработки грунтов III и IV категорий. Кроме того, ступенчатая форма лезвия ножевой системы отвала позволяет получать оптимальную форму призмы волочения и уменьшать потери грунта в боковые валики.

Существуют и более изощренные технические решения, например, подача сжатого воздуха через отверстия в лобовом листе отвала, что обеспечивает насыщение прилегающего слоя грунта воздухом и снижение силы трения скольжения грунта по отвалу. Однако подобные конструкции достаточно сложны и не находят широкого практического применения.

Расширение технологических возможностей рабочих органов бульдозеров осуществляется в нескольких направлениях:

1) отвалы с управляемыми или откидными рыхлительными зубьями, которые шарнирно крепятся на тыльной стороне рабочего органа. При заднем ходе машины они занимают вертикальное положение, разрыхляя грунт, что значительно улучшает условия копания отвалом при движении бульдозера вперед. Использование такого отвала позволяет увеличить эффективность бульдозера при разработке грунтов повышенной прочности;

2) отвалы, в верхней части которых смонтировано крановое оборудование для подъема грузов на небольшую высоту;

3) отвалы, которые трансформируются в захватные рабочие органы или оснащаются дополнительными захватными элементами. При этом создаются условия для захвата различных по форме штучных грузов и перемещения их в пределах строительной площадки:

4) отвалы с изменяемой геометрией, которые в зависимости от разрабатываемой среды могут трансформироваться в совок или клин.

8.1.2 Устройство бульдозеров на примере конкретных производителей

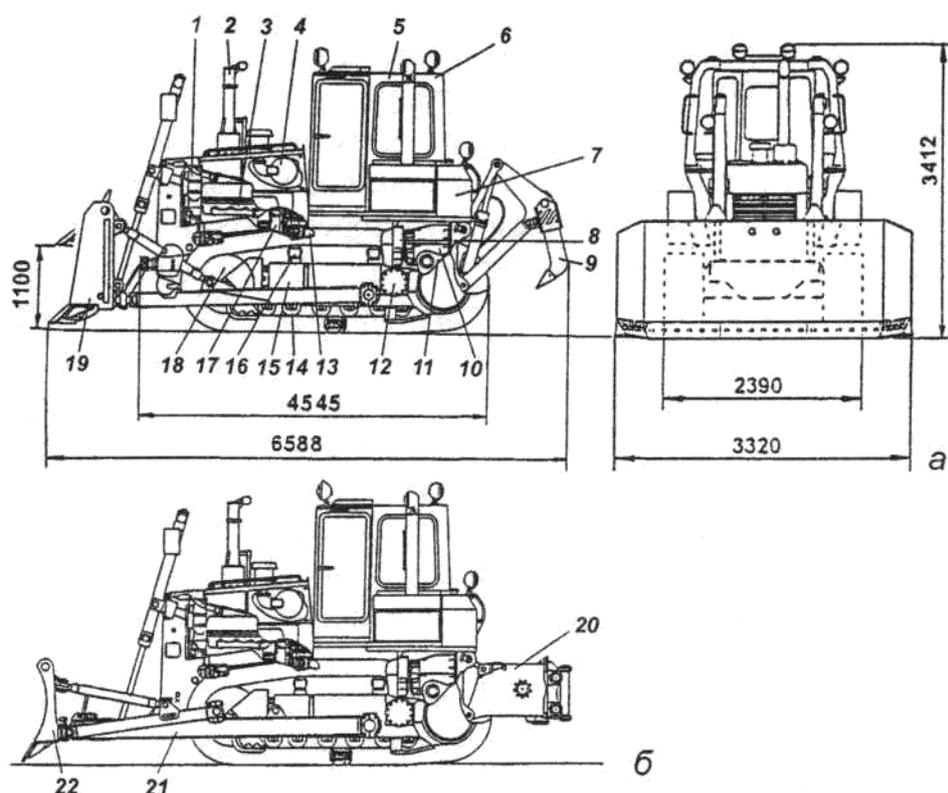
Бульдозеры и навесное бульдозерное оборудование в России производят ряд предприятий: ЗАО «Челябинские строительные машины», ОАО «Волгоградский тракторный завод», ОАО «Челябинский тракторный завод – Уралтрак», ОАО «Алтайский трактор» («Алттрак», г. Рубцовск), ОАО «Очерский машиностроительный завод» (г. Очер Пермской обл.), ОАО «Завод «Строймаш» (г. Стерлитамак-5, Башкортостан), ОАО «Промтрактор» (г. Чебоксары, Чувашия). Бульдозеры на базе колесных тягачей выпускают Могилевский автомобильный завод им.

С.М. Кирова (МоАЗ, Белоруссия) и ПО «Белорусский автомобильный завод» (БелАЗ). ОАО «Михневский ремонтно-механический завод» выпускает навесное оборудование к пневмоколесному трактору класса 1.4

Бульдозеры и бульдозеры с рыхлительным оборудованием на тракторе Т-11.01 "Четра" тягового класса 10 производства ОАО «Промтрактор» широко применяются в промышленном, дорожном, нефтегазовом, гидротехническом строительстве для выполнения землеройных, ирригационных, транспортных и других работ. На тракторы устанавливаются дизели двух моделей ЯМЗ-236ДК-7 производства АО «Автодизель», г. Ярославль или QSB 5.9-C197, производства фирмы «Камминс», США.

Тракторы Т-11.01Я1М и Т-11.01К1М в комплекте с навесным оборудованием предназначены для работ на грунтах с низкой несущей способностью. Трактор Т-11.01Я1МП в комплекте со специальным оборудованием с поворотным отвалом, тяговым агрегатом или рыхлительным оборудованием и специальной гусеницей применяется для ремонтновосстановительных работ при ликвидации аварий на железнодорожных путях, а также в рядовой эксплуатации для проведения легких видов бульдозерных дорожно-строительных работ, отсыпки полотна, засыпки траншей коммуникаций, каналов, рвов; выполнения планировочных работ на разрыхленных, не мерзлых грунтах и очистки строительных площадок и дорог от снега.

Применение двух вариантов конструкций узлов ходовой системы позволяет обеспечить разное удельное давление трактора на грунт.



а - бульдозер-рыхлитель; *б* - бульдозер с поворотным отвалом и лебедкой; 1 - радиатор; 2 - выпускная труба; 3 - дизель; 4 - воздушный фильтр; 5 - кабина; 6 - защитное устройство; 7 - топливный бак; 8 - гидротрансформатор и РПН; 9 - рыхлительное оборудование; 10 - блок трансмиссии; 11 - бортовой редуктор; 12 - шарнир; 13 - карданная передача; 14 - опорный каток; 15 - гусеничная тележка; 16 - поддерживающий каток; 17 - упругая муфта; 18 - натяжное колесо; 19 - бульдозерное оборудование; 20 - тяговый агрегат; 21 - рама бульдозерного оборудования; 22 - поворотный отвал.

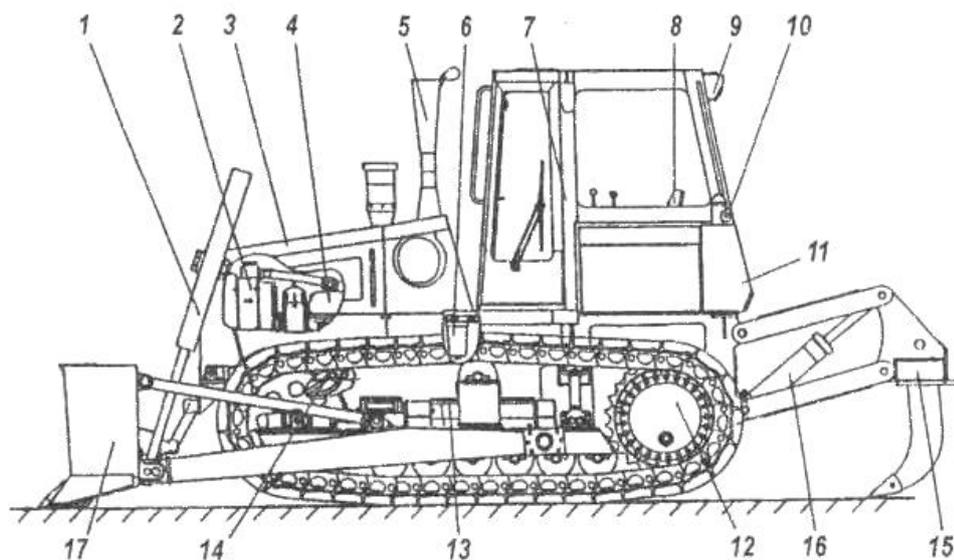
Рисунок 8.13. Бульдозер Т-11.01 «Четра» производства ОАО «Промтрактор»

В семейство Т-11.01 «Четра» входят пять моделей тракторов. Тракторы общего назначения Т-11.01Я1 с дизелем ЯМЗ-236ДК-7 и Т-11.01К1 с дизелем QSB 5.9-C197 в комплекте с бульдозерным и рыхлительным оборудованием или тяговым агрегатом являются базовыми.

Основные узлы и агрегаты трактора с бульдозерным и рыхлительным оборудованием показаны на рис. 8.13.

Бульдозеры с рыхлительным оборудованием ТС10.01 тягового класса 10 выпускает ЗАО «ЧСДМ». Бульдозеры с рыхлительным оборудованием на тракторе ТС 10.01 с гидрообъемной ходовой трансмиссией принадлежат к числу гусеничных промышленных тракторов общего назначения. Тракторы, в зависимости от климатических условий эксплуатации, могут изготавливаться в двух исполнениях для эксплуатации в районах с умеренным климатом при температуре воздуха от минус 40 до плюс 40 °С и для эксплуатации в районах с тропическим климатом. В зависимости от агрегируемого оборудования тракторы выпускаются в следующих модификациях: ТС 10.01000 – без навесного оборудования; ТС 10.01010 – с бульдозерным оборудованием; ТС 10.01011 – с бульдозерным и однозубым рыхлительным оборудованием; ТС 10.01012 – с бульдозерным и трехзубым рыхлительным оборудованием. Тракторы могут эксплуатироваться в агрегате со скрепером, бульдозером, рыхлителем и другими дорожно-строительными машинами для выполнения транспортных и строительных работ на грунтах I – III категории без предварительного рыхления, на грунтах выше III категории, на мерзлых грунтах и легких разборных скальных породах – с предварительным рыхлением.

Тракторы, кроме того, могут использоваться для переоборудования под буровые машины, краны, сваебойные установки, подъемники.



1 - гидросистема трактора; 2 - система охлаждения и разогрева двигателя; 3 - капот; 4 - силовая установка; 5 - система всасывания и выхлопа; 6 - гидросистема ГОТ; 7 - кабина; 8 - площадка оператора; 9 - электрооборудование; 10 - систе-

ма доступа; 11 - топливная система; 12 - бортовой редуктор; 13 - ходовая часть; 14 - рыхлительное оборудование; 15 - гидросистема рыхлителя; 16 - бульдозерное оборудование

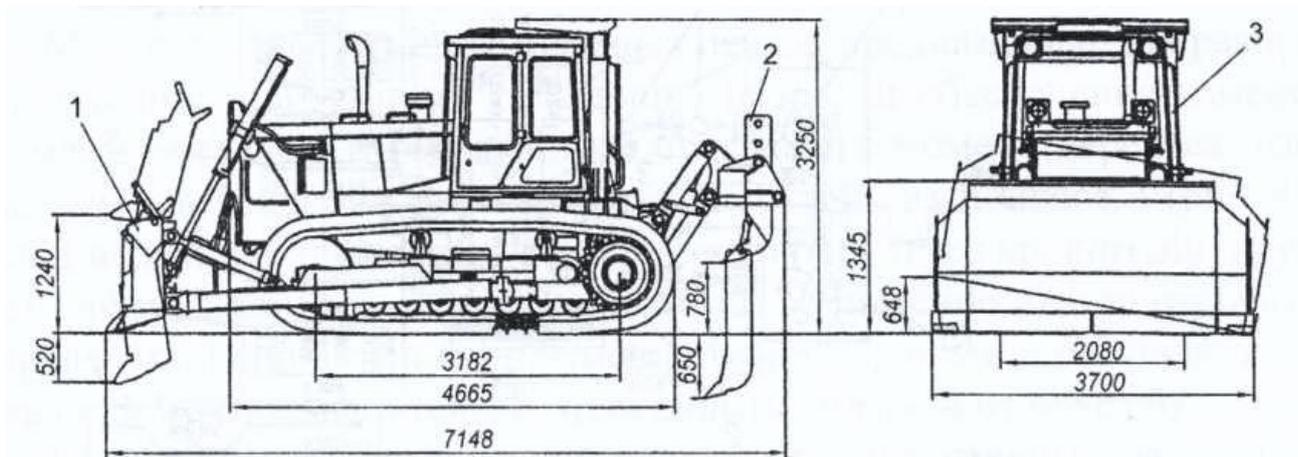
Рисунок 8.14 - Бульдозерно-рыхлительный агрегат на тракторе ТС 10.01 производства ЗАО «ЧСДМ»

Бульдозерно-рыхлительные агрегаты Б12 на базе гусеничного промышленного трактора Т12.6020 тягового класса 12 производства ООО «ЧТЗ-Уралтрак» предназначены для выполнения больших объемов землеройных работ в широком диапазоне температур окружающего воздуха и разработки различных грунтов, в том числе мерзлых и скальных. Бульдозеры Б12 могут эксплуатироваться в районах с умеренным и холодным климатом при температуре окружающего воздуха до минус 50 °С и при соответствующем исполнении в районах с тропическим климатом. Комплектации бульдозеров Б12 приведены в табл. 8.5.

Бульдозер состоит из базового трактора и рабочего оборудования (рис. 4.41). В состав рабочего оборудования входит бульдозерное и рыхлительное оборудование. Базовый трактор Т 12.6020 имеет рамную несущую систему с полужесткой трехточечной подвеской гусеничных тележек, переднее расположение двигателя и заднее расположение трансмиссии. Кабина установлена на виброизолированной платформе над трансмиссией.

Таблица 8.5 - Комплектации бульдозеров Б12

Модель агрегата	Эксплуатационная масса, кг	Рабочее оборудование	
		бульдозерное	рыхлительное
Б12.6020ЕР	24590	Модель 12Е. Полусферический отвал с гидрперекосом	Модель 12Р. Трехзубый рыхлитель
Б12.6020ЕН	23955		Модель 12Н. Однозубый рыхлитель
Б12.6020ВН	23635	Модель 12В. Прямой отвал с гидрперекосом	



1 - бульдозерное оборудование; 2 - рыхлительное оборудование; 3 - базовый трактор.

Рисунок 8.15 - Бульдозер-рыхлитель Б12 производства ООО «ЧТЗ-Уралтрак»

Передача крутящего момента от вала двигателя к ведущим колесам осуществляется гидромеханической трансмиссией. Управление механизмами трансмиссии комбинированное – механогидравлическое.

Дизель-электрические тракторы ДЭТ-320 с бульдозерным и рыхлительным оборудованием тягового класса 32 выпускает ООО «ЧТЗ - Уралтрак». Трактор ДЭТ-320 с бульдозерным и рыхлительным оборудованием предназначен для выполнения землеройно-транспортных работ, включая разработку мерзлых и разборно-скальных грунтов в районах с умеренным и холодным климатом при температурах окружающего воздуха до минус 50°С и в районах с тропическим климатом (при соответствующем исполнении). Бульдозерно-рыхлительные агрегаты на базе трактора ДЭТ-320 выпускаются в комплектациях, приведенных в табл. 4.3.

Бульдозерно-рыхлительный агрегат ДЭТ-320Б1Р2.

Агрегат состоит из базовой машины (трактора) и закрепленных на ней бульдозерного и рыхлительного оборудования, рис. 8.16.

Трактор имеет рамную несущую систему с жестким креплением гусеничных тележек, переднее расположение дизеля и заднее расположение ведущих колес. Кабина установлена на виброизолированной платформе над трансмиссией.

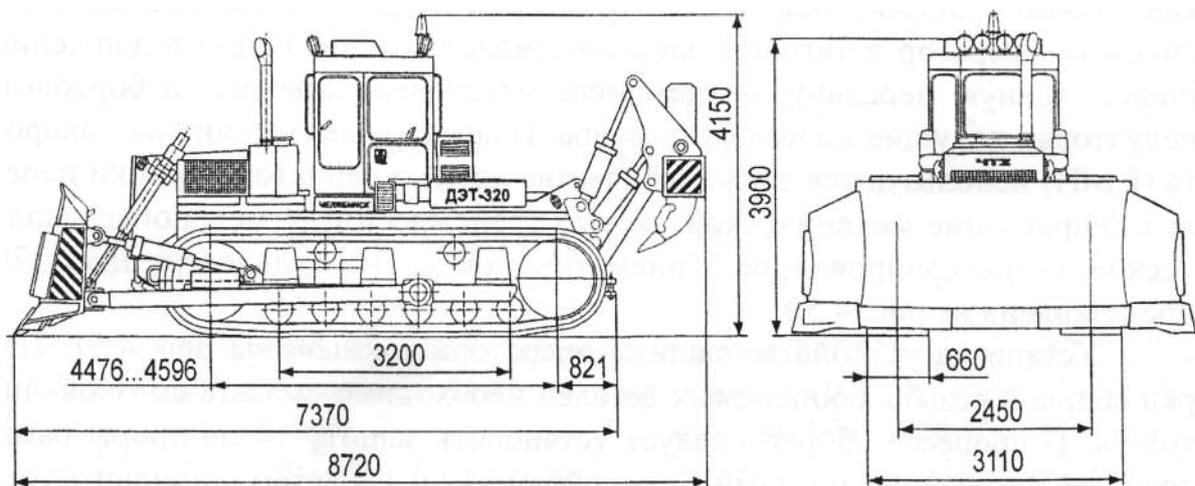


Рисунок 8.16 - Бульдозерно-рыхлительный агрегат ДЭТ-320Б1Р2

На бульдозере установлен дизельный двигатель. Передача крутящего момента от вала дизеля к ведущим колесам осуществляется электромеханической трансмиссией, в состав которой входят вращаемый дизелем силовой генератор и тяговый электродвигатель, приводящий в движение (через главную передачу, планетарные механизмы поворота и бортовые редукторы) ведущие колеса бульдозера.

Таблица 8.6 – Комплектация бульдозерно-рыхлительных агрегатов ДЭТ

Модель бульдозера	Модель, комплектация базового трактора	Эксплуатационная масса, кг	Рабочее оборудование	
			бульдозерное	рыхлительное
ДЭТ-320Б1Р2	ДЭТ-320	44190	Полусферический отвал с гидрперекосом	Однозубый рыхлитель с регулируемым углом рыхления
ДЭТ-320Б2Р2		43815	Узкий полусферический отвал*	
ДЭТ-320-01Б1Р2	ДЭТ-320-01 (с РОПС-ФОПС)	45090	Полусферический отвал с гидрперекосом	
ДЭТ-320-01Б2Р2		44715	Узкий полусферический отвал*	
ДЭТ-320-02Б1Р2	ДЭТ-320-02 (с РОПС-ФОПС и комплектом шпор гусениц)	45870	Полусферический отвал с гидрперекосом	
ДЭТ-320-02Б2Р2		45495	Узкий полусферический отвал*	

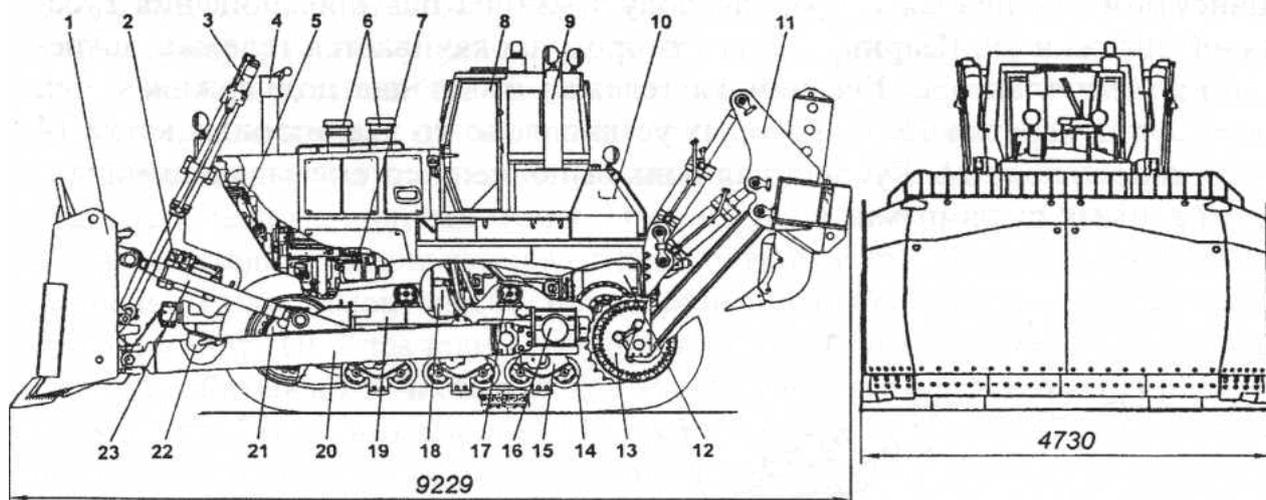
Продолжение таблицы

ДЭТ-320Б1	ДЭТ-320	39910	Полусферический отвал с гидроперекосом	Не устанавливается
ДЭТ-320Б2		39535	Узкий полусферический отвал	
ДЭТ-320- 01Б1	ДЭТ-320-01 (с РОПС-ФОПС)	40810	Полусферический отвал с гидроперекосом	
ДЭТ-320- 01Б2		40435	Узкий полусферический отвал*	
ДЭТ-320- 02Б1	ДЭТ-320-02 (с РОПС-ФОПС и комплектом шпор гусениц)	41590	Полусферический отвал с гидроперекосом	
ДЭТ-320- 02Б2		41215	Узкий полусферический отвал	

* Отвал железнодорожного габарита 3700 мм без гидросистемы перекоса.

Планетарные механизмы поворота (ПМП) используются также в качестве двухступенчатой коробки передач. Управление механической частью трансмиссии – механогидравлическое, гидросервированное.

Бульдозер-рыхлитель Т-40.01 тягового класса 40 производства ОАО «Промтрактор». Рабочее оборудование монтируется на гусеничных промышленных тракторах с гидромеханической трансмиссией и электро-гидравлическим переключением передач применяются для выполнения тяжёлых землеройных работ (в том числе при разработке мёрзлых и скальных грунтов) в промышленном, дорожном, нефтегазовом, гидротехническом строительстве, вскрышных работ в горнодобывающей промышленности и других работ. На тракторы могут быть установлены двигатели двух моделей: Т-40.01Я с дизелем ЯМЗ-Э856.10 производства АО "Автодизель", г. Ярославль и Т-40.01 К с дизелем QSK 19-C650 производства фирмы "Камминс", США. Климатическое исполнение тракторов – УХЛ и Т по ГОСТ 15150. Основные узлы и агрегаты машины показаны на Рисунок 8.17.



1 - бульдозерное оборудование; 2 - гидораскос; 3 - гидроцилиндры подъема-опускания отвала; 4 - выпускная труба; 5 - радиатор; 6 - воздушные фильтры; 7 - дизель; 8 - кабина; 9 - защитное устройство; 10 - топливный бак; 11 - рыхлительное оборудование; 12 - блок силовой передачи; 13 - бортовая передача; 14 - опорный каток; 15 - каретка; 16 - шарнир крепления тележки; 17 - поддерживающий каток; 18 - гидротрансформатор с редуктором привода насосов; 19 - гусеничная тележка; 20 - толкающий брус; 21 - натяжное колесо; 22 - буксирный крюк; 23 - винтовой раскос.

Рисунок 8.17. Бульдозер-рыхлитель Т-40.01Я «Хеви-Четра» производства ОАО «Промтрактор»

Для трактора принято традиционное компоновочное решение – дизель 7 с радиатором охлаждающей жидкости 5 расположены в передней части. Для уменьшения попадания сыпучих грунтов на сердцевину радиатора, предусмотрена возможность переворота и перестановки защитных решеток. Система воздухоочистки дизеля двухступенчатая и имеет два блока воздушных фильтров 6. Выпускная система дизеля представляет собой глушитель и выпускную трубу 4.

Блок силовой передачи 12, включающий в себя планетарную коробку передач (КП), главную передачу (ГП), согласующий редуктор (СР), и находится в задней части трактора. Здесь же расположены два блока бортовых фрикционов (БФ) с остановочными тормозами (ОТ), связанные с бортовой передачей (БР) 13 и блоком силовой передачи торсионными валами.

Крутящий момент дизеля передается через гидротрансформатор (ГТР) с редуктором привода насосов (РПН) 18 и карданный вал на входной вал блока силовой передачи (БСП). Противоположный конец входного вала БСП используется для отбора мощности. Трансмиссия имеет единую гидросистему управления и смазки с общей масляной ванной, размещенной в корпусе рамы трактора. Насосы гидросистемы управления трансмиссией и навесного оборудования установлены на редукторе привода насосов.

Кабина 8 выполнена с защитным устройством 9, которое защищает оператора при переворачивании трактора.

Сведения о техническом обслуживании. Техническое обслуживание (ТО) трактора заключается в выполнении профилактических и регламентированных операций, обеспечивающих исправное техническое состояние трактора в течение заданного ресурса. Допускается отклонение (опережение или запаздывание) фактической периодичности от установленной для ТО-1, ТО-2 до 10%, для ТО-3 до 5%. О проведении технического обслуживания (за исключением ежеменного) в формуляр трактора должна быть занесена соответствующая запись.

Колесный бульдозер МоАЗ-40489 производства Могилевского автозавода (Республика Беларусь). Бульдозерное оборудование монтируется на двухосном тягаче. Бульдозер предназначен для выполнения земельных работ на грунтах I-II категории без предварительного разрыхления и на грунтах III-IV категорий с обязательным предварительным разрыхлением, а также может использоваться в мелиоративном, гидротехническом, дорожном строительстве, горнодобывающей промышленности стройматериалов, для расчистки забоев после взрыва, подъездных путей в забое перед экскаваторами и для очистки дорожного полотна от снега при комплектации его специальным отвалом с опорными лыжами. Номинальное тяговое усилие бульдозера - 180 кН.

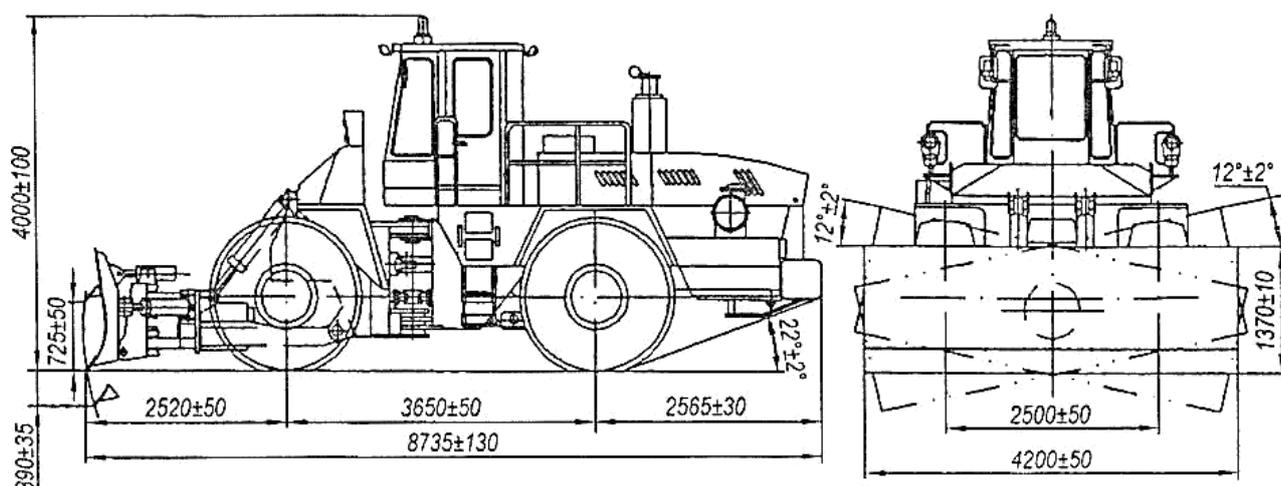


Рисунок 8.18 - Бульдозер МоАЗ-40489 (Республика Беларусь)

Вопросы для самоконтроля

1. Приведите классификацию бульдозеров. Перечислите признаки классификации. Какое назначение машин различного класса?
2. Перечислите основные типы бульдозерных отвалов, назовите области и причины их предпочтительного применения.
3. Какое навесное оборудование может устанавливаться на неповоротный отвал бульдозера?
4. Какая максимальная расчетная транспортная скорость должна быть у гусеничных тракторов?
5. Для чего на бульдозер устанавливается тяговый агрегат с лебедкой?
6. Что представляет собой насосная станция?
7. Для чего предназначена система сервоуправления?
8. Поясните работу гидромеханической коробки передач трактора Т- 11.01. Как переключаются передачи?
9. Для чего служат бортовые фрикционы и остановочные тормоза?
10. Перечислите агрегаты гидравлической системы управления бульдозерным оборудованием и укажите их назначение.
11. Перечислите основные технико-экономические параметры, характеризующие бульдозер как объект производства и орудие труда.

12. Перечислите составляющие, входящие в структурную модель продолжительности рабочего цикла бульдозера.
13. Напишите формулу по определению оптимальной массы бульдозера при заданной скорости копания.
14. Напишите формулу по определению оптимальной массы бульдозера при заданной производительности.
15. Приведите формулу по определению эксплуатационной производительности бульдозера.
16. Какой основной недостаток традиционного метода расчета производительности?
17. Как осуществляется выбор бульдозера для заданных условий эксплуатации?
18. Перечислите составляющие, входящие в структурную модель продолжительности рабочего цикла рыхлителя.
19. Сформулируйте цели и задачи тягового расчета бульдозера. Дайте пример определения основных составляющих.
20. Приведите основные расчетные положения бульдозеров при расчете на устойчивость.
21. Как определить допустимый угол поперечного уклона бульдозера?
22. Чему равен коэффициент запаса устойчивости бульдозера?
23. Назовите основные расчетные положения рабочего оборудования бульдозера при расчете на прочность. Как определяется нагрузка на толкающий брус?
24. Назовите основных производителей бульдозеров в России.
25. Что такое сцепной вес?
26. По какой формуле определяется сопротивление перемещению призмы волочения?

9 Машины для подготовительных работ

9.1 Рыхлители

При возведении земляных сооружений их площадки должны быть подготовлены для строительных работ. Подготовительные работы включают:

- 1) очистку площадки от леса и кустарников;
- 2) корчевку и удаление пней;
- 3) удаление камней;
- 4) рыхление скальных пород и мерзлых грунтов;
- 5) понижение уровня грунтовых вод.

Для их механизации применяют различные машины, из которых рассмотрим рыхлители, кусторезы и корчеватели.

Рыхлитель, как и бульдозер, является сменным рабочим оборудованием к гусеничным тракторам или колесным тягачам. Основное назначение рыхлителя – разрушение (рыхление) прочных грунтов и горных пород для их последующей разработки другими землеройными машинами. Классификация рыхлителей дана на рисунке 9.1.

Различают рыхлители основные и вспомогательные. Основные рыхлители выполняют навесными к гусеничным или колесным промышленным тракторам. Эффективность работы рыхлителя зависит от тягового класса базового трактора и прочности разрабатываемого грунта. Наиболее благоприятными для рыхления являются высоко температурные ($0,2...-2^{\circ}\text{C}$) вечномерзлые грунты, горные породы трещиноватые, выветренные сильно слоистые или с пониженной прочностью: сланцы, ракушечники, бурые угли, апатиты, фосфориты, песчаники, легкие и средние известняки и т. п. Вспомогательные рыхлители монтируют в агрегате с основным оборудованием – погрузчиками, автогрейдерами или навешивают на бульдозерные отвалы.

Навесной рыхлитель состоит из рабочего оборудования, навесного устрой-

ства и привода управления. Рабочее оборудование рыхлителя включает один или несколько зубьев, состоящих из сменного наконечника стопорного устройства крепления наконечника и стопки.

Рабочий орган (зуб) рыхлителя состоит из стойки, наконечника, стопорного устройства и иногда защитной накладки со стопорным устройством, защищающей стойку от изнашивания. Наиболее распространены прямые стойки, обеспечивающие эффективную работу в мерзлых грунтах и горных породах. Для изменения глубины рыхления стойка может переставляться относительно рабочей рамы.

При разработке слоистых горных пород и вялых пластично-мерзлых грунтов, а также при рыхлении корки мерзлого грунта на зубья рабочих органов устанавливают уширители. Уширители позволяют увеличить ширину рыхления за один проход и примерно в 1,5...2,0 раза повысить производительность рыхления.

Основные рекомендуемые конструктивные параметры рыхлителей представлены на рис. 9.2. Техническая характеристика бульдозеров с рыхлительным оборудованием приведена в приложении.

Рыхлительное оборудование состоит из рамы, тяг, гидроцилиндров, рабочей балки и рыхлящих зубьев. Рама крепится к заднему мосту трактора. Рабочая балка с установленными в её прорезях зубьями шарнирно крепится к раме нижней и верхней (при ее наличии) тягами, а также гидроцилиндрами. Различают три типа рыхлительного оборудования:

- трехзвенное (маятниковое), у которого угол наклона наконечника зуба к грунту меняется в зависимости от глубины рыхления;
- четырехзвенное (параллелограммное), у которого угол наклона наконечника к грунту остается постоянным независимо от глубины рыхления;
- с регулируемым углом рыхления — в этом случае угол наклона наконечника зуба оператор может изменить с помощью гидроцилиндра, заменяющего верхнюю сторону параллелограммной подвески.

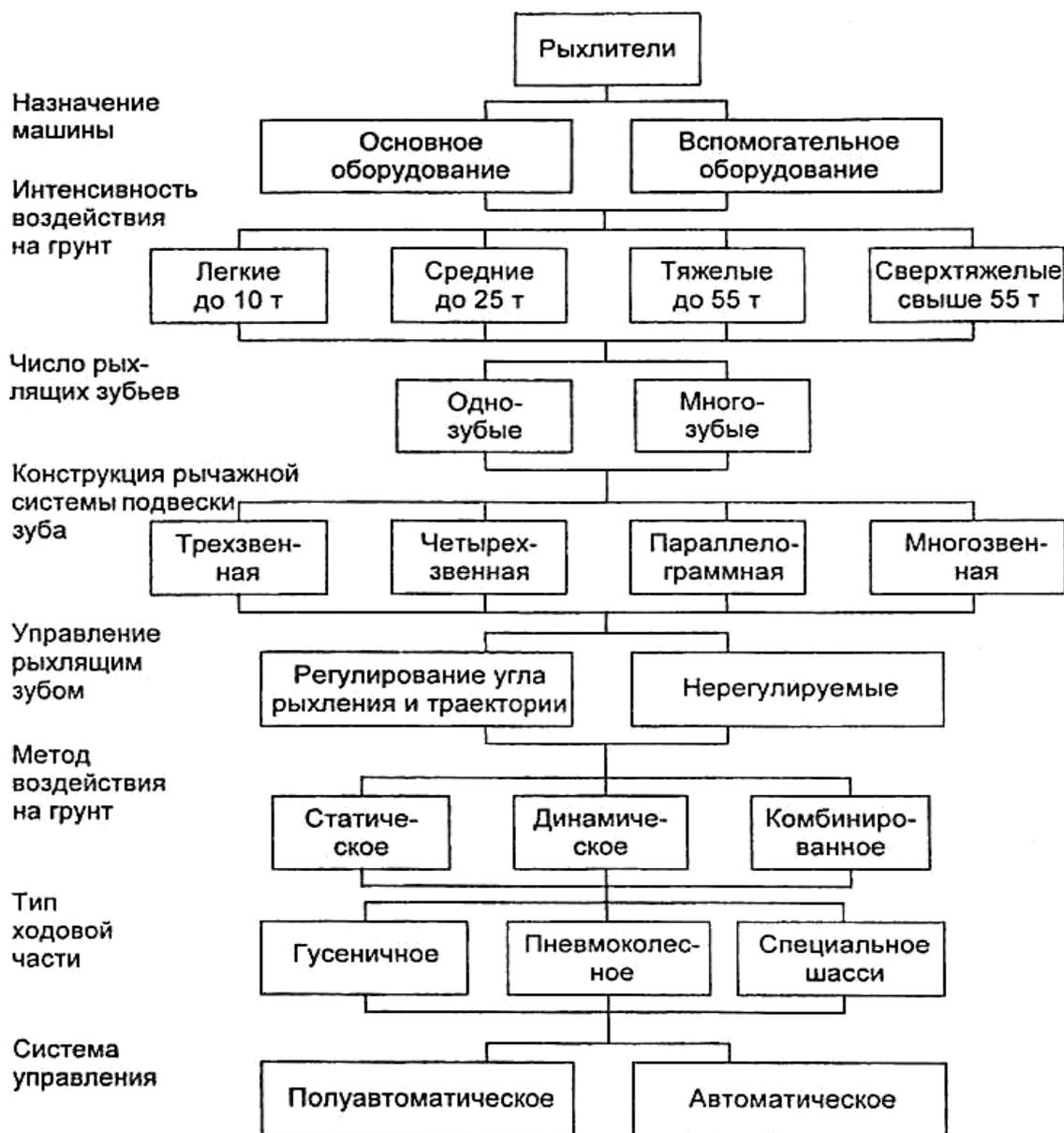
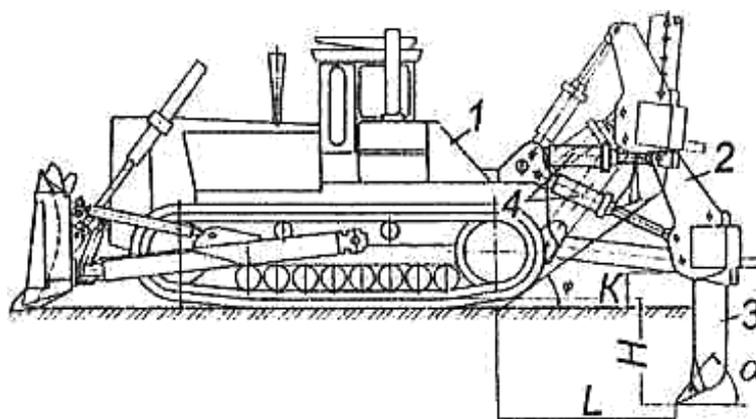


Рисунок 9.1 - Классификация рыхлителей

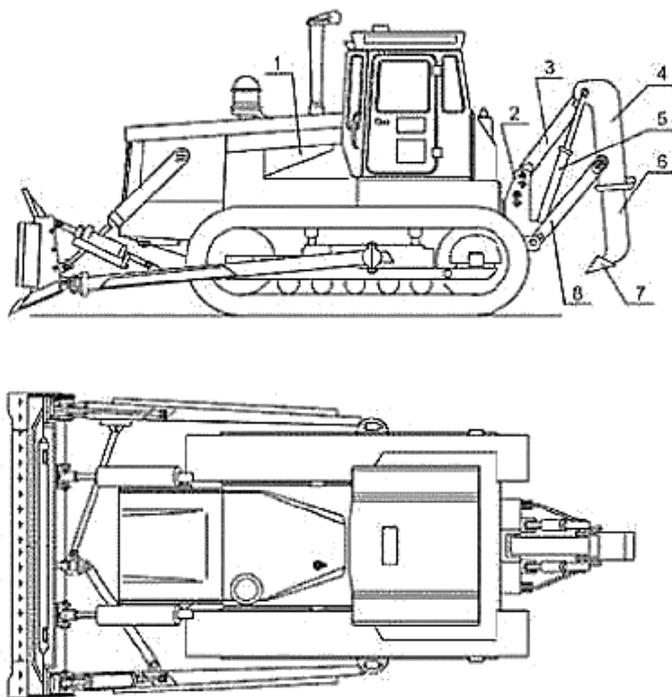


1 - базовый трактор; 2 - рабочая балка рыхлителя; 3 - зуб рыхлителя.

Рисунок 9.2 - Основные конструктивные параметры рыхлителя

Совершенствование рыхлительного оборудования направлено на повышение его кинематической подвижности относительно трактора в вертикальной плоскости.

Рыхлитель (рис. 9.3) представляет собой машину (гусеничный трактор или пневмоколесный тягач) с навесным или прицепным рабочим оборудованием в виде рамы с зубьями для послойного разрушения и отделения кусков грунта от массива.



1 - базовый трактор; 2 - опорная рама; 3 – тяга; 4 - рабочая балка;
5 - гидроцилиндр подъема-опускания рабочего органа; 6 - сменный зуб; 7 - наконечник зуба; 8 - нижняя рама.

Рисунок 9.3 - Конструктивная схема рыхлителя

Рыхлитель служит для рыхления мерзлых грунтов и пород, которые не могут разрабатываться экскаваторами, бульдозерами, скреперами и другими машинами для земляных работ, которые имеют весьма ограниченные возможности, о чем свидетельствуют данные таблицы 9.1.

Кроме того, их используют для удаления из грунта корней, остатков пней и камней после работы корчевателя, а также для разрушения старых дорожных покрытий при ремонте дорог (см. рисунок 9.3).

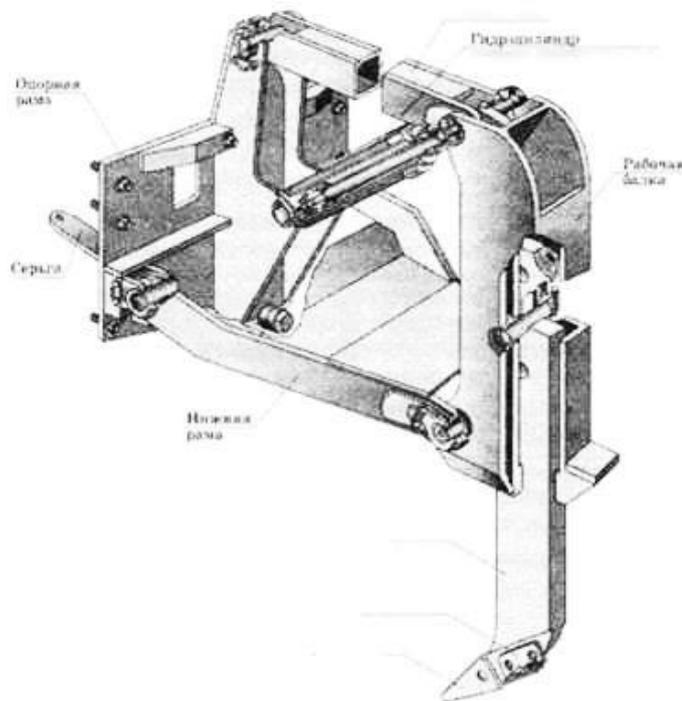
Таблица 9.1 - Значения удельных сопротивлений грунта копанию различными машинами

Машина	Удельное сопротивление грунта копанию, МПа
Бульдозеры и скреперы	<0,3
Одноковшовые экскаваторы	<0,5
Многоковшовые экскаваторы	<0,8

Рабочий орган рыхлителя (зуб) состоит из стойки, режущего элемента (съёмного наконечника) и элементов крепления (кронштейна) (рисунок 9.2). Хвостовая часть стойки зуба выше наконечника может быть защищена в пределах изогнутой части сменными противоизносными накладками. Это увеличивает долговечность стоек, поскольку накладки после их износа можно сменить. В ряде случаев на зуб устанавливают уширители, которые увеличивают зону разрушения грунта, снижая общее количество проходов рыхлителя. Работоспособность наконечников определяет производительность рыхлителей. При эксплуатации наконечники подвергаются значительным динамическим нагрузкам и абразивному изнашиванию, что обуславливает их конструктивные особенности. При разработке наконечников стремятся обеспечить их прочность при ударном нагружении в сочетании с износостойкостью и самозатачиваемостью. Они имеют клиновидную форму с плоскими режущими гранями и внутренним карманом для установки на хвостовике стойки. В ряде случаев режущую часть наконечников усиливают путем формирования ребер жесткости на передней грани, обеспечивающих жесткость режущего элемента.

Рыхлители осуществляют подготовительные работы, поэтому их маркируют индексом ДП. за которым следует цифра порядкового номера модели и буквы, обозначающие очередную модернизацию и исполнение оборудования. Имеется два варианта маркировки рыхлителей. Если базовой машиной является трактор, то рыхлительное оборудование маркируют упомянутым выше методом, напри-

мер. ДП-29АХЛ. Если же базовой машиной является бульдозер (имеющий собственную маркировку), тогда в обозначении машины должна быть двойная индексация, например. ДЗ-126А (ДП-9С).



1 - Съёмный наконечник рыхлителя; 2 – Кронштейн; 3 – Верхняя тяга.

Рисунок 9.4 - Рабочее оборудование рыхлителя

В большинстве случаев применяют бульдозерно-рыхлительные агрегаты, устанавливая на трактор или тягач оборудование бульдозера (или одноковшового фронтального погрузчика). Это уравнивает базовую машину создавая лучшие условия для ее перемещения при рыхлении.

Рыхлители классифицируют по следующим основным признакам:

- 1) по назначению;
- 2) ходовому оборудованию;
- 3) тяговому усилию (или мощности);
- 4) конструктивным признакам.

Но назначению различают рыхлители общего назначения и специальные.

Рыхлители общего назначения производят рыхление грунта в основном на глуби-

ну до 1 метра. Их оборудуют обычно одним-пятью (редко семью) зубьями. Рыхление высокопрочных грунтов производят, как правило, одним зубом.

Рыхлители специального назначения рыхлят грунт на глубину до 2 метров. Их оборудуют одним - тремя зубьями.

По способу передвижения различают рыхлители *навесные* и *прицепные*. Прицепные рыхлители применяют редко и только для сравнительно малых объемов земляных работ. Они имеют меньшую маневренность и устойчивость, чем навесные, и не используют массу тягача. Поэтому в дальнейшем будем анализировать навесные рыхлители.

По ходовому оборудованию различают *гусеничные* (на тракторах) и *колесные* (на тягачах) рыхлители. Наибольшее распространение имеют рыхлители на тракторах с мощностью до 800 л. с. и на тяжелых колесных тягачах мощностью до 2500 л. с.

По номинальному тяговому усилию (кН) или максимальной силе тяги по сцеплению базового трактора различают рыхлители: *легкие* (менее 135), *средние* (135-200), *тяжелые* (200-300) и *сверхтяжелые* (более 300).

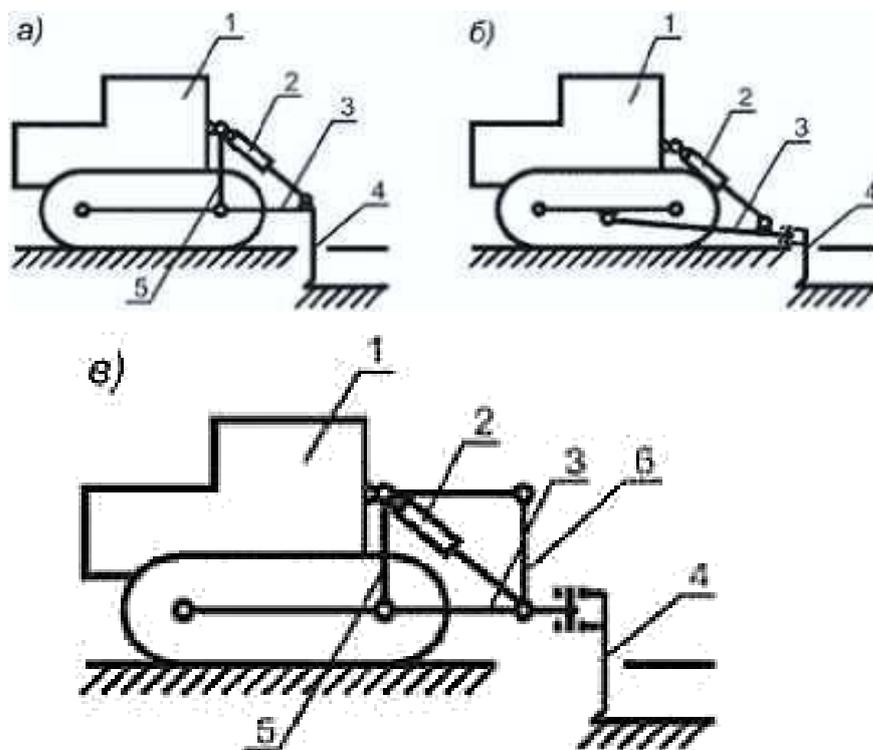
По конструктивным признакам имеется несколько типов классификации (по типу зубьев, способу их крепления и т. д.). Основной - *по типу подвески рамы рыхлителя*. Различают:

а) трехточечную (трехзвенную, радиальную) подвеску с креплением рамы к корпусу заднего моста (т. е. рама - внутренняя). Рабочее оборудование включает опорную раму, гидроцилиндры (2 шт.), нижнюю раму, зубья и наконечники (рисунок 9.5, а). Она имеет малую металлоемкость и простую конструкцию (се используют на всех классах рыхлителей). Недостатком является изменение угла резания зубьев в зависимости от их заглубления, вследствие чего возникают большие радиальные нагрузки на зубья:

б) трехточечную (рисунок 9.5. б) - с креплением рамы с зубьями к рамам гусеничных тележек или к остову базового трактора (охватывающая рама);

в) четырехточечную (четырезвенную) (рисунок 9.5. в) подвеску рамы с креплением рамы к корпусу заднего моста (внутренняя рама). При выдвижении штока гидроцилиндры поднимают балку и зубья в верхнее положение. При его

втягивании зубья заглубляются в грунт. Благодаря параллелограмму зубья перемещаются при подъеме по траектории, близкой к вертикальной, т. е. подвеска имеет постоянный угол резания при любом заглублении зубьев. Это увеличивает их долговечность и позволяет рыхлить грунт даже при подъеме рабочего органа, что невозможно при трехзвенной подвеске.



а, б - трёхзвенная, в – четырёхзвенная;

1 - базовая машина; 2 - гидроцилиндры; 3 - нижняя рама; 4 - рабочий орган;
5 опорная рама; 6 рабочая балка.

Рисунок 9.5 - Типы подвески рамы рыхлителя

Рабочий орган оснащается одним или несколькими зубьями. Их крепление может быть жестким или шарнирным (поворотным). Поворот зубьев (на угол 15° в обе стороны) осуществляется за счет их установки в специальных кронштейнах (флюгерах), прикрепляемых к раме шарнирно.

По форме различают изогнутые (для скальных грунтов), прямые (универсальные) и полу изогнутые (это позволяет уменьшить усилие 'заглубления при большом угле резания) зубья.

Длина зубьев должна быть больше максимальной глубины заглабления на 0,1-0,3 метра, чтобы рама рыхлителя свободно проходила над поверхностью разрыхленного грунта.

Отметим, что соединение рамы рыхлителя со штоками двух гидроцилиндров условно принято считать за одну точку подвески. Гидроцилиндры работают от гидросистемы базового трактора.

Высота подъема зубьев, м, над уровнем опорной поверхности базовой машины зависит от её мощности:

- для легких рыхлителей – 0,3-0,5;
- для средних – 0,6-0,7;
- для мощных - более 0,7.

Число зубьев и их шаг зависят от глубины рыхления, свойств грунта и размера кусков, а также мощности рыхлителя. Естественно, что с ростом мощности шаг растет: для легких рыхлителей - 0,3-0,5 м (для 5 зубьев). 0,8-1,0 м (для 3 зубьев); для средних рыхлителей - 0,9-1,3 м; для мощных и сверхмощных - 1,4 м.

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 (рисунок 9.6).

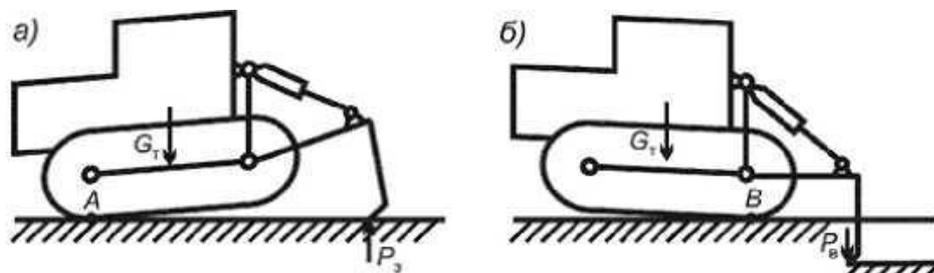


Рисунок 9.6 - Расчетные схемы для определения усилий на рабочем органе рыхлителя: а - при заглавлении; б - при выглавлении

Первое расчетное положение (при заглублении) - по известной силе тяжести трактора G_T (включая бульдозерное и рыхлительное оборудование) определяют максимальную силу заглубления зуба P_z . Из условия приподнимания (вывешивания) базового трактора относительно точки A (точнее относительно ребра A) составляют уравнение моментов (рисунок 9.6, *a*)

$$\sum M_A = 0 \quad (9.1)$$

По силе P_z определяют геометрические размеры зуба, при которых этой силы достаточно для его внедрения в грунт.

Условие внедрения зуба

$$P_z \geq k_p F \quad (9.2)$$

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 (выглубления) зуба из положения максимально возможного заглубления. В этом случае силу выглубления P , определяют из условия опрокидывания рыхлителя вокруг точки B (из уравнения моментов) $\sum M_B$ (рисунок 9.6. *б*).

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

При перемещении машины под действием тягового усилия зубья заглубляются в грунт на глубину, которая зависит от режимов работы основной машины (бульдозера, скрепера, грейдера). Наименьшая глубина рыхления (за один проход) должна на 20-30 % превышать толщину стружки грунта, срезаемого рабочими органами землеройно-транспортных машин, в комплексе с которыми работает рыхлитель. Рыхлитель движется с оптимальной скоростью для этой глубины, а затем зубья выглубляются (поднимаются) вплоть до выхода из грунта.

Применяют две технологические схемы рыхления грунта:

- 1) челночную - грунт рыхлят параллельными проходами до края площадки без

разворота с возвратом в исходное положение задним ходом. Она применяется для небольших площадок, когда разворот затруднен;

2) продольно-поворотную - грунт рыхлят параллельными проходами с поворотом трактора в конце каждого хода. Это основная схема для участков большой протяженности.

Производительность рыхлителя (машины непрерывного действия) в общем случае определяется произведением площади поперечного сечения слоя разрыхленного грунта на среднюю рабочую скорость передвижения. Вместе с тем, она зависит от многих других факторов (степени рыхления, режимов и типа основной машины).

Она зависит, прежде всего, от тягового усилия трактора по сцеплению $T_{сц}$ и скорости рыхления v_p (оптимальная $v_p = 1,5...2,5$ км/ч). Тяговое усилие трактора зависит от его типоразмера и обычно при $v_p = 1,5$ км/ч составляет 1.0-1.1 массы трактора с оборудованием бульдозера и рыхлителя. При равных $T_{сц}$ и v_p производительность зависит от количества зубьев, расстояния между ними и глубины рыхления h_p . В свою очередь, глубина рыхления и его форма зависят и от свойств грунта.

При уменьшении или увеличении мощности или силы тяжести глубина изменяется примерно пропорционально корню кубическому изменения силового параметра.

Техническую производительность рыхлителя $\Pi_{тех}$ определяют по формуле

$$\Pi_{тех} = \frac{B_p h_p v_p k_{пер}}{k_{п} n} \quad (9.3)$$

где B_p - полезная ширина захвата рыхлителем, м;

h_p - полезная толщина разрыхленного слоя, м;

v_p - скорость рыхлителя, м/ч;

$k_{пер}$ - коэффициент перекрытия зон рыхления ($k_{пер} = 0.75$);

$k_{п}$ - коэффициент характера проходов.

$$k_{\text{п}} \begin{cases} 1 - \text{для параллельных проходов;} \\ 2 - \text{для перекрестных проходов.} \end{cases}$$

n - число повторных проходов в поперечных направлениях.

Эксплуатационная производительность $\Pi_{\text{э}}$, определяется с учетом коэффициента использования машины во времени (подготовки, осмотра и техобслуживания)

$$\Pi_{\text{э}} = \Pi_{\text{тех}} k_{\text{в}} \quad (9.4)$$

где $k_{\text{в}}$ - коэффициент использования машины по времени ($k_{\text{в}} = 0,85$).

В этом случае рабочую скорость уменьшают на 20 % для учета случайных задержек.

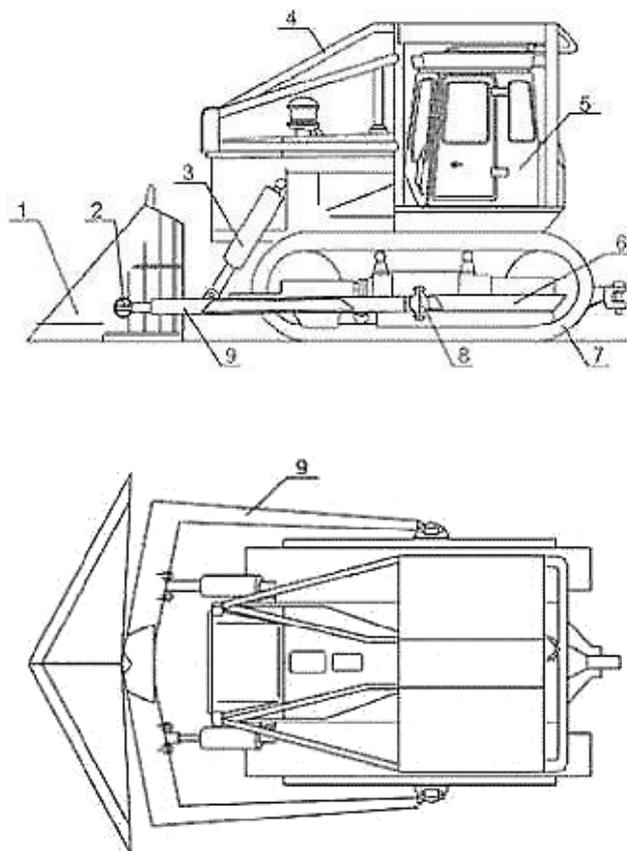
Общий расчет включает:

- 1) выбор исходных параметров;
- 2) предварительное установление размеров и массы;
- 3) определение основной рабочей нагрузки (при расчетах сил сопротивления рыхлению);
- 4) тяговый расчет;
- 5) определение необходимой мощности тягача;
- 6) определение характеристик рабочего органа;
- 7) проверка устойчивости;
- 8) определение эксплуатационной производительности.

9.2 Кусторезы

Кусторез - это машина, состоящая из тягача и навесного рабочего органа для срезания кустарника и мелкоколосья на уровне земли. По конструкции, принципам работы и управления они аналогичны бульдозерам и имеют унифицированные с ними узлы.

Рабочий орган (рисунок 9.7) навешивается на базовый тягач с помощью унифицированной толкающей рамы, которая используется для бульдозера, а также для корчевателя и снегоочистителя. Отвал в виде А-образной рамы имеет ножи (закрепленные болтами) и клык. Он соединен с универсальной рамой шаровым шарниром и пружинными амортизаторами. Амортизаторы обеспечивают вертикальные перемещения (до 100 мм), увеличивая проходимость машины. Подъем рамы осуществляется гидроцилиндрами. Для защиты кабины оператора и силовой установки используют ограждение, выполненное из стальных труб, и буфер.



1 - клинообразный отвал с прямыми ножами; 2 - шаровой шарнир; 3 - гидроцилиндр подъёма-опускания отвала; 4 - защитное ограждение; 5 - базовый трактор.

Рисунок 9.7 - Конструктивная схема кустореза

Отличие от бульдозера состоит в конструкции рабочего органа, который представляет собой отвал клинообразной формы с гладкими или пилообразными ножами в его нижней части и клыком (колуном) в носовой части для раскалывания пней и разрезания сваленных деревьев.

Срезка кустарника совмещается с удалением дерна, т. к. отвал заглубляется на 3-5 см. Поэтому кустарник и мелколесье (с диаметром стволов до 15 см) срезаются, не оставляя пней.

Максимальный диаметр срезанных деревьев (за несколько проходов) достигает 40 см в зависимости от породы дерева.

По типу рабочего органа различают ножевые и фрезерные кусторезы. Наибольшее распространение имеют ножевые двухотвальные кусторезы с прямыми и пилообразными ножами и гидравлическим управлением.

В процессе работы кустореза отвал, опущенный на поверхность грунта, скользит по нему, срезая кустарник и деревья на ширину захвата отвала. Нож действует на дерево (в точке касания) силой T (рис. 9.8), которую можно разложить на составляющие T_p (усилие резания) и T_n (усилие подачи или скалывания). При работе кусторез преодолевает силы сопротивления. Со стороны дерева (это наиболее тяжелый случай) на рабочий орган в точке касания действует реактивная сила P , равная тяговому усилию T и противоположная по направлению. Её составляющие:

а) вдоль режущего лезвия - сила сопротивления резанию P_p ;

б) перпендикулярно режущему лезвию - сила сопротивления скалыванию P_n . Кроме того, вдоль режущего лезвия действует сила, препятствующая перемещению ножа относительно дерева - сила трения $P_{тр}$. Очевидно, что кусторез может работать только при условии: $P_p > P_{тр}$ (в противном случае нож застрянет в дереве). Эти силы стремятся сдвинуть и повернуть кусторез вокруг его центра тяжести, т. е. препятствуют эффективной работе кустореза. Суммарный момент этих сил, стремящихся повернуть машину.

$$M_{пов} = P_n l_n - (P_p + P_{тр}) l_p \quad (9.5)$$

где

$$P_{тр} = \mu_d P_n \quad (9.6)$$

Для подъема отвала кустореза (см. рис. 9.8) требуется усилие, которое можно найти из уравнения моментов сил $\sum M_0 = 0$ относительно точки крепления рамы к тележке с учетом сил тяжести отвала G_0 и рамы G_p .

Последовательность общего расчета такая же, как и расчета бульдозеров. Производительность кустореза

$$P_{\text{тех}} = \frac{BL_{p.x}}{\left(\frac{l_{p.x}}{v_{p.x}} + t_{\text{пов}}\right)n} \quad (10.8)$$

где B - ширина захвата, м;

$L_{p.x}$ - длина участка (от поворота до поворота), м;

n - число проходов (по одному месту');

$t_{\text{пов}}$ - время одного поворота в конце участка ($t_{\text{пов}} = 90 \dots 120$ с).

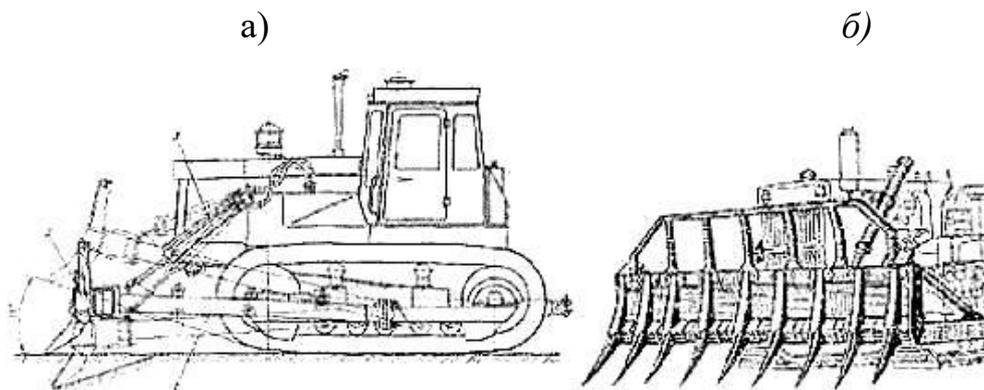
9.3 Корчеватели

Корчеватель представляет собой базовую машину с навесным рабочим органом со специальными зубьями (рис. 9.9). Он предназначен для корчевки и уборки пней диаметром до 50 см, расчистки участков от камней, корней, сваленных деревьев. Его можно использовать и для рыхления грунта.

Имеется два варианта корчевателей: с передней и задней навесками рабочего оборудования.

Конструкция корчевателя с задним расположением рабочего оборудования подобна конструкции рыхлителя.

Наибольшее распространение имеют корчеватели с передним расположением рабочего оборудования, устройство которых аналогично устройству бульдозеров. Его рабочий орган - это решетчатый отвал с зубьями, который устанавливают на универсальной раме, укрепленной на гусеничных тележках трактора. Зубья располагаются в нижней части отвала, который с помощью шарового шарнира крепится к универсальной толкающей раме трактора.



1 - толкающая рама; 2 - рабочий орган (отвал с зубьями); 3 – гидроцилиндры.

Рисунок 9.9 - Корчеватель: *а* конструктивная схема; *б* - рабочий орган

Корчеватели с передней навеской различаются размерами и частотой расположения зубьев. Машину с более мелкими зубьями называют корчевателем-собирателем. 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.

В ряде конструкций универсальных рам отвал может поворачивается (относительно рамы) в вертикальной плоскости с помощью дополнительных гидроцилиндров. Это облегчает его разгрузку, а также обеспечивает при корчевке пней приложение к ним усилий, как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости.

Уборку камней этой машиной производят в двух вариантах:

- 1) толкающим усилием, развиваемым тягачом;
- 2) подъемным усилием, создаваемым гидроцилиндрами механизма подъема (камней большей массы и с более значительной глубины).

Общий расчет корчевателей-собирателей выполняется аналогично расчету бульдозеров. Особенности расчета состоят в определении рабочих нагрузок.

Уравнение тягового баланса для корчевателей имеет следующий вид

$$P_{сц} \geq k_d T_1 \geq W \quad (9.9)$$

где k_d - коэффициент динамичности;

T_1 - тяговое усилие трактора на первой передаче. Н.

Суммарное сопротивление передвижению. Н,

$$W = W_p + W_{\text{пер}} + W_k \quad (9.10)$$

где W_p - сопротивление резанию грунта;

$W_{\text{пер}}$ - сопротивление перемещению камней, корней и др.;

W_k - сопротивление перемещению корчевателя.

Сопротивление резанию

$$P_p = P_{\text{сред}} F_{\text{ср}} \quad (9.11)$$

где $P_{\text{сред}}$ - средняя удельная сила резания (т. е. давления) грунта с корнями, Н.

$$\begin{cases} 40 \dots 50 \text{ кПа} & \text{— для дерна;} \\ 100 \dots 200 \text{ кПа} & \text{— с большим содержанием корней кустарника;} \end{cases}$$

$F_{\text{ср}}$ - площадь поперечного сечения среза, м^2 .

Сопротивление перемещению камней, корней

$$P_{\text{пер}} = G_{\text{пер}} f_1 \quad (9.12)$$

где $G_{\text{пер}}$ - сила тяжести перемещаемых корней и др., Н;

f_1 - коэффициент сопротивления перемещению.

$$\begin{cases} 0,5 \dots 0,6 & \text{— для камней;} \\ 0,4 \dots 0,5 & \text{— для камней и деревьев.} \end{cases}$$

Сопротивление перемещения корчевателя

$$W_k = G_k(f+i) \quad (9.13)$$

где G_k - сила тяжести корчевателя. Н;

f - коэффициент сопротивления передвижению ($f = 0,08...0,15$);

i - уклон пути.

Производительность корчевателя находится по той же формуле, что и кустореза

$$P_{\text{тех}} = \frac{VL_{p,x}}{\left(\frac{L_{p,x}}{v_{p,x} + t_{\text{пов}}}\right)n} \quad (9.14)$$

Рабочие органы машин для подготовительных работ, как правило, являются дополнительным или сменным рабочим оборудованием базовых машин (гусеничных тракторов или колесных тягачей). Корчевателями и кусторезами оборудуют бульдозеры с поворотным отвалом, а рыхлительные органы используют в автогрейдерах, бульдозерах, одноковшовых экскаваторах. *К основным направлениям их развития* относятся мероприятия, расширяющие их технологические возможности и повышающие эффективность их эксплуатации в различных грунтах:

- 1) совершенствование конструкции рабочих органов путем повышения их подвижности в горизонтальной и вертикальной плоскостях;
- 2) совершенствование системы управления положением рабочего органа при изменении угла рыхления, вылета стойки зубьев, шага и бокового выноса зубьев;
- 3) оснащение рыхлителей системами автоматического регулирования режимов эксплуатации и положения рабочих органов с учетом свойств разрабатываемых грунтов;
- 4) оснащение рыхлителей рабочими органами активного действия;
- 5) расширение типоразмерного ряда базовых тракторов;
- 6) расширенное использование унифицированных блочно-модульных агрегатов тракторов и узлов рабочего оборудования.

10 Скреперы

10.1 Общие сведения, классификация, основы теории

Скрепером (по ГОСТ Р ИСО 6165-99) называется самоходная или прицепная машина, имеющая открытый ковш с режущей кромкой, расположенный между передней и задней осями машины, который срезает, загружает, транспортирует, выгружает и распределяет материал при движении вперед.

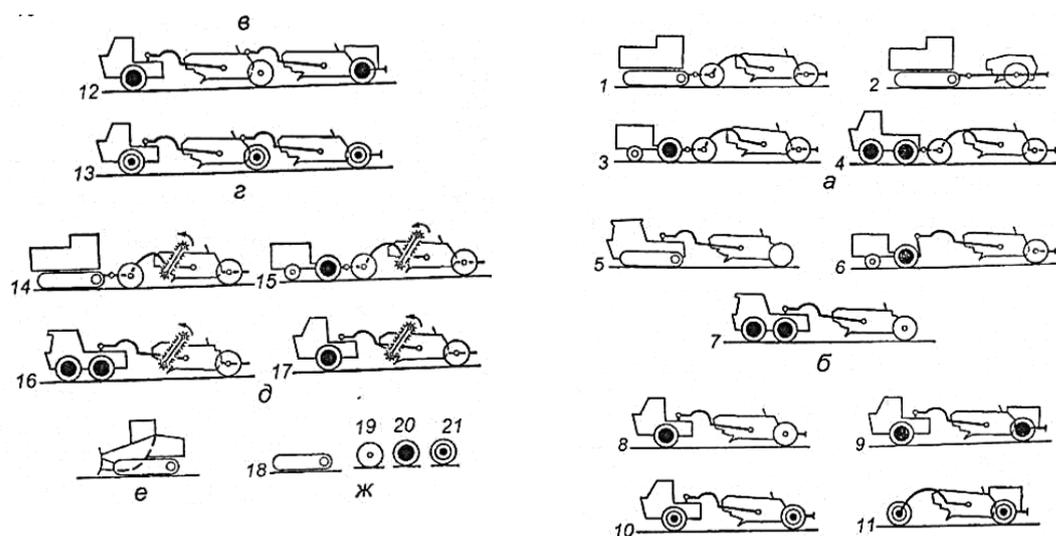
Скрепер (от английского *scrape* - скрести) - это землеройно-транспортная машина с ковшовым рабочим органом, которая производит копание, перемещение, отсыпку и разравнивание грунта 1-IV категорий (при дальности транспортирования 100-5000 м).

Скреперы предназначены для разработки, транспортирования и укладки грунта в искусственные сооружения или в отвал с последующим разравниванием, планированием и частичным уплотнением.

Скреперы наиболее продуктивны при разработке однородных песчаноглинистых грунтов. Их не рекомендуется применять на вязких и липких грунтах. Для ускорения наполнения ковша часто применяют толкачи, увеличивающие силу тяги (бульдозеры со специальными отвалами). Считают, что скрепер наиболее эффективен при разработке связных грунтов, перемещении их на расстояния до 2200 м по трассам с подъемами $\alpha < 6^\circ$ (для груженых) и $\alpha < 12^\circ$ (для порожних машин).

Основные структурно-конструктивные схемы скреперов приведены на рис. 10.1.

Возможность выполнения законченного цикла работ позволяет широко использовать скреперы на строительстве автомобильных и железных дорог, разработке карьеров, при устройстве гидротехнических и ирригационных сооружений, в промышленном и гражданском строительстве, на открытых разработках в горнорудной промышленности.



а - прицепные: 1 - двухосные с гусеничным трактором; 2 - одноосные с гусеничным трактором; 3 - двухосные с колесным трактором; 4 - двухосные с двухосным тягачом; б - полуприцепные: 5 - с гусеничным трактором; 6 - с колесным трактором; 7 - с двухосным тягачом; в - самоходные: 8 - с одноосным тягачом; 9 - двухдвигательные с одноосным тягачом; 10 - дизель- электрические четырехколесные; 11 - то же, трехколесные; г - двухковшовые скреперные поезда-цепы: 12 - двухдвигательный; 13 - дизель-электрический; д - с принудительной элеваторной загрузкой: 14 - прицепной двухосный с гусеничным трактором; 15 - то же, с колесным трактором; 16 - прицепной одноосный с двухосным тягачом; 17 - самоходный с одноосным тягачом; е - скрепердозер самоходный гусеничный; ж - условные обозначения: 18 - ведущая гусеница; 19 - ведомое колесо; 20 - ведущее колесо; 21 - мотор-колесо; 22 - ковш; 23 - тягач; 24 - ножевая система ковша скрепера

Рисунок 10.1 - Основные конструктивные схемы скреперов

В дорожном строительстве скреперами срезают растительный слой с перемещением грунта в отвал, производят вскрышу карьеров, планируют площадки, выполняют такие работы по возведению земляного полотна, как устройство насыпей из односторонних и двусторонних боковых резервов (в комплексе с бульдозерами), а также чередующихся насыпей и выемок различной длины, высоты и глубины, устройство насыпей и отсыпка подходов к мостам, трубам с разработкой грунта в грунтовых карьерах и перемещением грунта к месту его выгрузки.

Скрепер – машина циклического действия. Его рабочий цикл включает резание грунта с наполнением ковша, транспортирование, выгрузку, холостой ход. Набор и выгрузка грунта происходят только при движении скрепера по прямой. Набор осуществляется на низших передачах с максимально возможной толщиной стружки. Грузеный скрепер транспортируется на высших передачах с учетом состояния транспортных путей.

Конкретно *рабочий цикл скрепера* состоит из четырех последовательно повторяющихся операций:

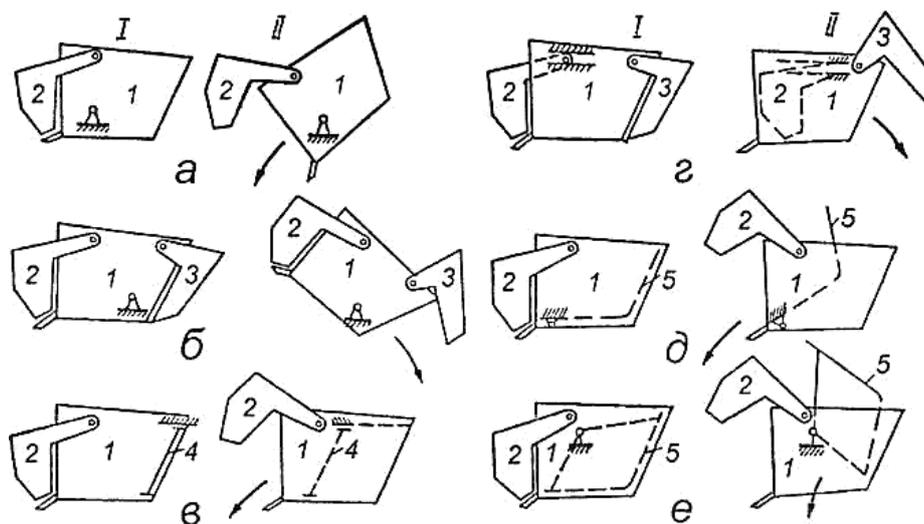
загрузка ковша – ковш опущен, заслонка поднята, ножи врезаются в грунт и при движении вперед срезают стружку грунта, которая внедряется в ковш противодействием находящегося перед ножами не срезанного слоя грунта;

грузеный ход – ковш поднят в транспортное положение, заслонка опущена и удерживает грунт в ковше, исключая его высыпание;

разгрузка ковша – заслонка поднята, ковш приспущен до образования под ножами просвета, равного заданной толщине подлежащего отсылке слоя грунта; грунт выталкивается из ковша разгрузочным устройством; при движении вперед ножи планируют грунт, срезая его отвал сверху и оставляя за собой слой равномерной толщины;

порожний ход (от места укладки грунта к месту загрузки (в забой) – ковш поднят до образования транспортного дорожного просвета под ножами, заслонка опущена и закрывает ковш.

Способы разгрузки ковша скрепера. Свободная (самосвальная) разгрузка опрокидыванием ковша вперед (рис. 10.2, а) применяется на двухосных и одноосных прицепных скреперах малой емкости; опрокидыванием ковша назад (Рисунок 10.2, б) – на прицепных одноосных скреперах средней вместимости (4...6 м³). На липких и переувлажненных грунтах свободная разгрузка не обеспечивает опорожнение ковша без остатков.



1 - ковш; 2 - передняя заслонка; 3 - задняя заслонка; 4 - подвижная задняя стенка; 5 - подвижные днище и задняя стенка.

Рисунок 10.2 - Способы разгрузки скреперных ковшей: *I* - транспортное положение ковша; *II* - разгрузочное положение ковша; *а* - свободная, наклоном вперед; *б* - то же, назад; *в* - принудительная, движением вперед задней стенки; *г* - то же, движением назад передней заслонки; *д* - полупринудительная, наклоном вперед днища и задней стенки; *е* - полупринудительная щелевая, наклоном вперед днища и задней стенки

Прицепным скрепером называется несамоходный скрепер, управляемый буксирующим тягачом. Пульт управления скреперным ковшом должен размещаться в кабине тягача.

Согласно ГОСТ 30035 самоходные скреперы (автоскреперы) и прицепные скреперы предназначены для послойной разработки, транспортировки и отсыпки грунтов I и II категорий и предварительно разрыхленных грунтов III и IV категорий, не содержащих каменных включений. В грунтах III-IV категорий скреперы работают в комплексе с бульдозерами, которые используются как толкачи и для содержания землевозных путей, а также с рыхлителями. На сухих сыпучих песках скреперы загружаются в пределах 60...70% геометрической вместимости. Скреперы применимы на горизонтах выше уровня грунтовых вод. На заболоченных грунтах скреперы неработоспособны. Прицепные скреперы, буксируемые гусеничными тракторами, эффективны при дальностях возки 100...800 м, самоходные

скреперы с быстроходными колесными тягачами используются при дальностях возки 300...3000 м и более.

Типы скреперов. Согласно ГОСТ 30035 и ГОСТ 27536, подразделяются, Рисунок 10.3:

1) *по способу загрузки:*

- с тяговой загрузкой. Набор грунта в ковш осуществляется только за счет тягового усилия, которое развивает скрепер, два скрепера, соединенные вместе (на период набора или постоянно), а также толкач;

- с элеваторной загрузкой. Набору материала в этом случае способствует механизм – элеватор, снабженный приводом и установленный в передней части ковша скрепера;

2) *по системе управления поворотом:* с передними управляемыми колесами и с поворотом одноосного тягача;

3) *по числу осей:* двухосные и трехосные;

4) *по числу двигателей:* одномоторные и двухмоторные.

5) У самоходных скреперов на место передней оси устанавливается одноосный тягач. Хобот самоходного скрепера с рамой тягача соединяется двухшкворневым шарниром.

Скрепер (рис. 10.4) состоит из следующих основных частей:

1) рабочего оборудования (ковша с рабочими исполнительными механизмами, чаще всего с передней заслонкой и выдвижной задней стенкой);

2) ходового оборудования;

3) привода (двигателя или двигателей, трансмиссии и системы управления);

4) сцепного устройства;

5) буферного устройства;

6) тягача.

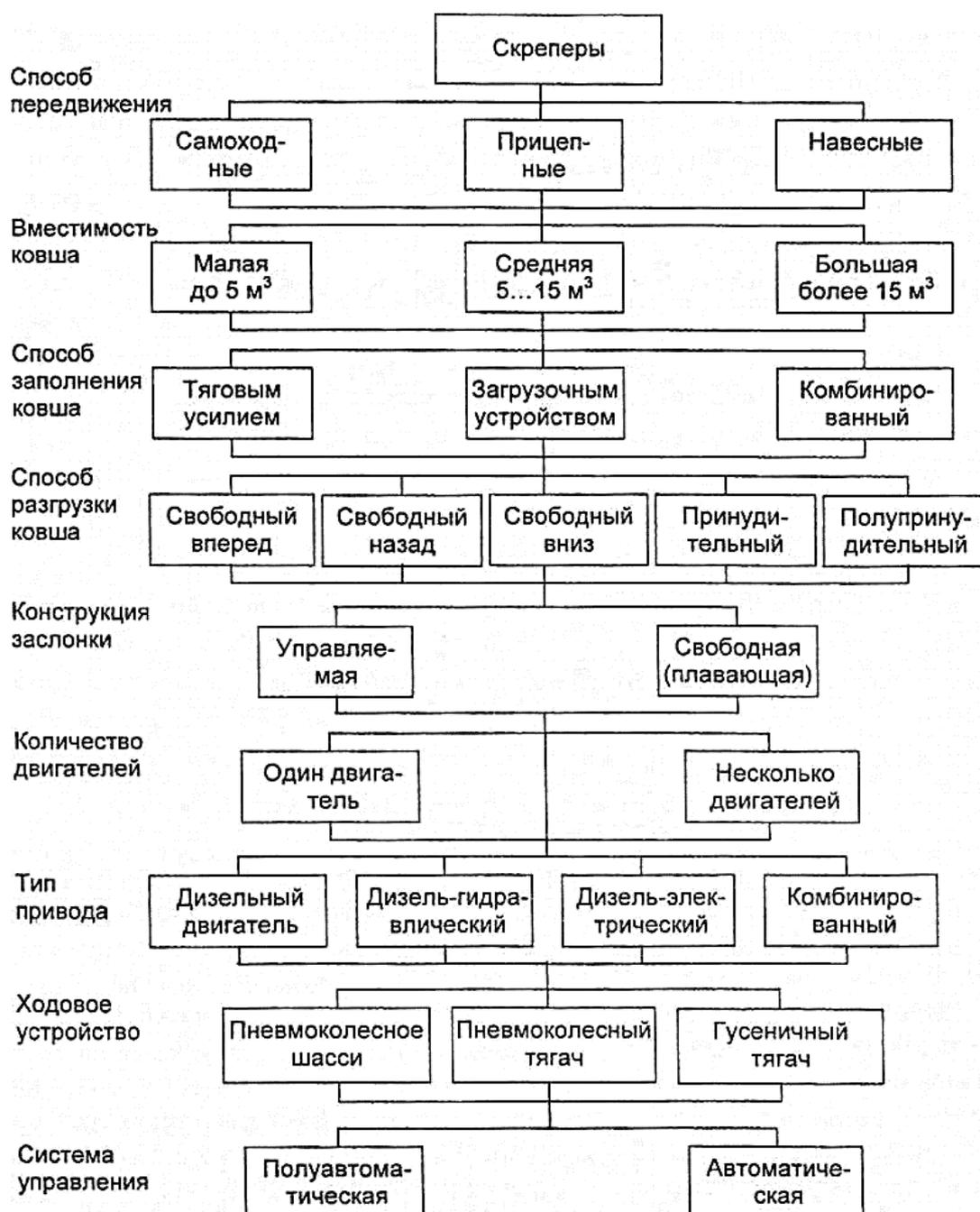


Рисунок 10.3 - Классификация скреперов

Скреперы классифицируют последующим основным признакам:

- 1) *по вместимости ковша* - малая - 6 м, средняя - 6-12 м²; большая - 15-25 м³; особо большая - более 25 м³;
- 2) *по способу агрегатирования с тягачом* – прицепные, полуприцепные, самоходные.

К прицепным скреперам относятся двухосные машины (т.е. скреперы, кото-

рые без тягача принимают транспортное положение), к полуприцепным - одноосные скреперы, у которых тягачи двухосные или гусеничные.

Самоходные скреперы имеют одноосный тягач и скреперное оборудование с задними ведомыми колесами, т. е. являются одномоторными. Геометрическая вместимость ковша по типоразмерам составляет 8; 10; 15; 25 и 40 м³ (при заглублении 150-300 мм). К самоходным относят также скреперы, имеющие мотор-колёса, т.е. снабженные двигателями (электрическими или гидравлическими) на каждое заднее колесо.

У самоходных и полуприцепных скреперов сила тяжести G_T передается в основном на ведущие колеса, что способствует увеличению силы сцепления P_T . Например, у самоходных скреперов сцепная сила тяжести $G_m = 0.48G_m$, а у прицепных - только $0,29G_m$;

3) *по способу загрузки ковша:*

а) со свободной загрузкой (наполнение ковша происходит под давлением срезаемой стружки при действии тягового усилия);

б) с принудительной загрузкой (подъем грунта в ковш производится элеватором, шнеком и др.).

При свободной загрузке развивается большое сопротивление наполнению ковша, но конструкция скрепера значительно проще;

4) *по способу разгрузки ковша;*

а) со свободной разгрузкой вперед или назад (путем опрокидывания ковша);

б) со щелевой разгрузкой (днище, поворачиваясь, выводится из-под грунта и в конечном положении наклоняется к горизонту под углом 72-75°);

в) с принудительной разгрузкой (задняя стенка выталкивает грунт, как щит);

5) *по типу трансмиссии* - с гидравлической и электрогидравлической трансмиссией:

б) *по конструкции ходового оборудования* - одноосные и двухосные скреперы;

7) *по схеме подвески ковша* - рамной конструкции (ковш шарнирно уста-

новлен в основной рамс) и безрамной, при которой ковш служит рамой, а его вес передается непосредственно на ось. Большинство современных скреперов имеют безрамную конструкцию.

Основным рабочим органом является ковш. Это емкость, открытая спереди и сверху, ограниченная днищем, боковыми и задней стенками, оснащенная ножами.

Боковые стенки, режущая часть, остальные (неподвижные относительно друг друга) элементы конструкции соединены вместе посредством каркаса, который служит также для соединения ковша с подвижными элементами конструкции (заслонкой и др.), ходовым и сцепным устройствами, исполнительными механизмами рабочего оборудования (рисунок 10.4).

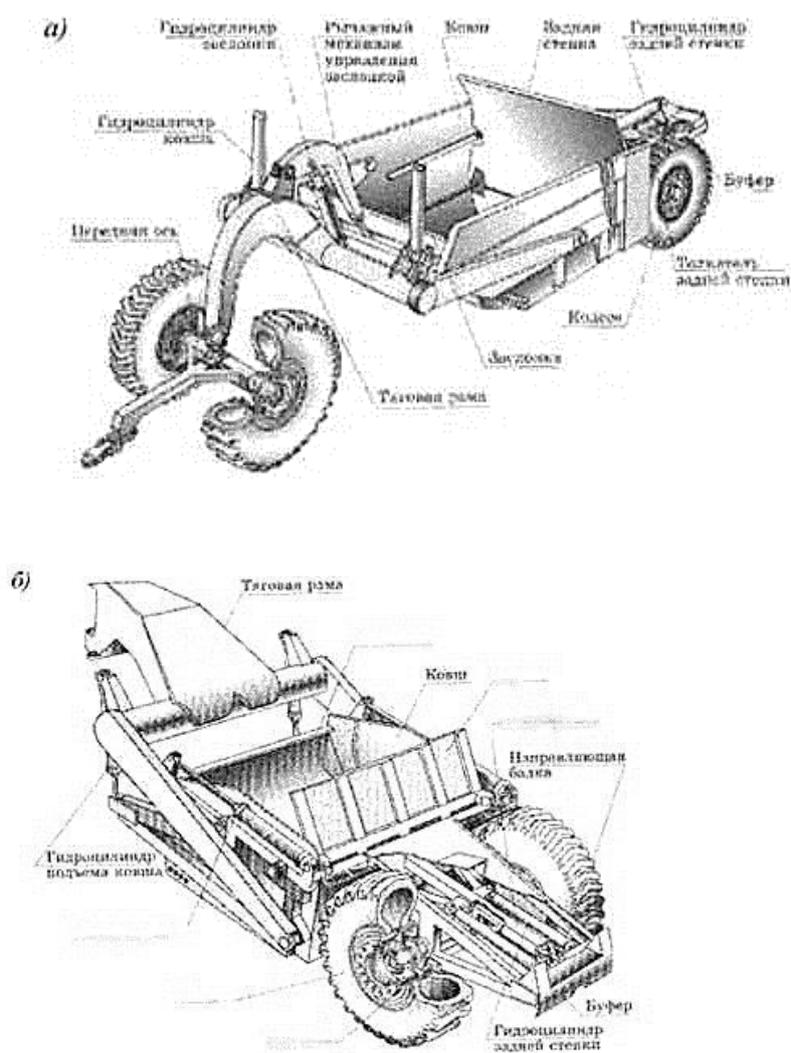
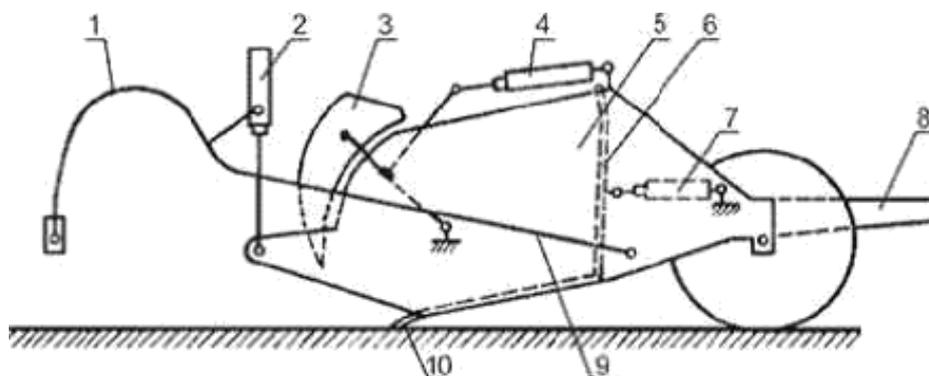


Рисунок 10.4 - Рабочее оборудование скрепера: а - прицепного; б - самоходного

Спереди (рис. 10.5) ковш 5 закрыт передней заслонкой 3, соединенной с ним шарнирно. Задней частью ковш опирается на ось задних колес, а в передней части он соединен (упряжными шарнирами) с боковыми балками 9 тяговой рамы, относительно которой он может изменять свое положение в вертикальной плоскости. Тяговая П-образная рама своей передней балкой 1 (чаще всего изогнутой в вертикальной плоскости) соединена с тягачом непосредственно или через тележку. Опорой тяговой рамы является универсальный шарнир, позволяющий прицепной части поворачиваться относительно тягача или тележки в любых направлениях. К подножевой плите крепят сменные двухлезвийные ножи 10 (два боковых и средний). Ковш снабжен выдвигной задней стенкой 6, управляемой гидроцилиндром 7.



1 - хобот тяговой рамы; 2 - гидроцилиндр управления ковшом; 3 - передняя заслонка; 4 - гидроцилиндр управления передней заслонкой; 5 – ковш; 6 задняя стенка; 7 - гидроцилиндр управления задней стенкой; 8 – буфер; 9- боковые балки (упряжные тяги) тяговой рамы; 10 ножи.

Рисунок 10.5- Устройство рабочего органа скрепера

Рабочий процесс скрепера состоит из операций копания грунта и заполнения им ковша, транспортирования грунта в ковше к месту укладки, разгрузки ковша и возвращения машины на исходную позицию следующего рабочего цикла (рисунок 10.6).



Транспортное положение

Набор грунта

Разгрузка

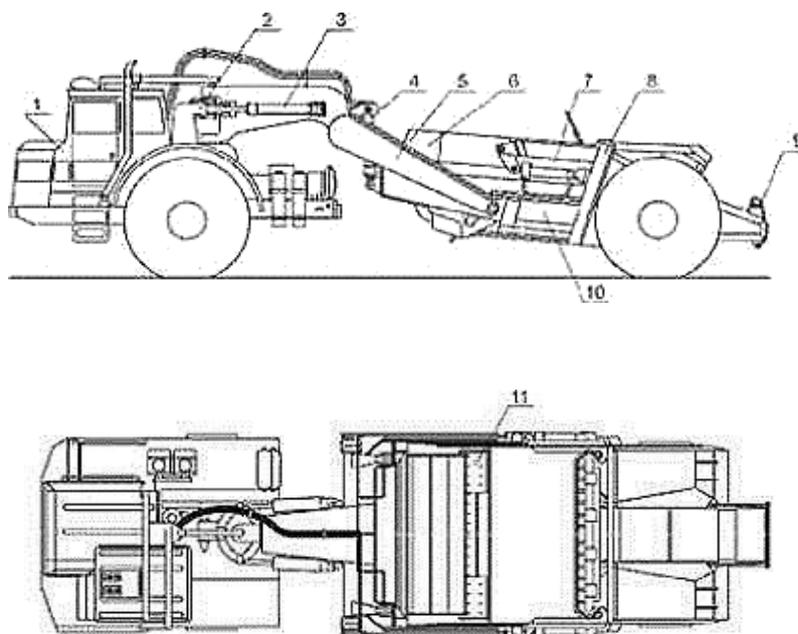
Рисунок 11 4 - Рабочий цикл скрепера

Вначале ковш (с помощью гидроцилиндров 2) опускают на грунт и приоткрывают заслонку (с помощью гидроцилиндров 4) так, чтобы ее нижний обрез был ниже уровня поверхности земли. Ковш заглубляют в грунт (под действием силы тяжести и гидроцилиндров), и в процессе движения происходит его заполнение. Толщину срезаемого грунта регулируют положением ковша и передней заслонки. Затем ковш поднимают в транспортное положение и перемещают к месту разгрузки (укладки), которую производят с помощью задней стенки 6 (она выталкивает грунт). После чего в порожнем состоянии скрепер возвращают к месту начала копания.

Наиболее распространенной машиной является самоходный скрепер (рисунок 10.7) - двухосная пневмоколесная машина (одноосный тягач и полуприцепное одноосное скреперное оборудование). На тягаче имеются два гидроцилиндра для его поворота относительно рабочего органа (в плане).

Самоходные скреперы выполняют по конструктивной схеме шарнирно-сочлененных машин. Их особенностью (как шарнирно-сочлененных машин) является отсутствие управляемых колес. Поворот производят поворотом в плане одной секции относительно другой вокруг вертикальной оси сочленяющего шарнира посредством специальной системы поворота.

Сочленяющий шарнир имеет две взаимно перпендикулярные оси. Горизонтальная ось связана с тягачом (параллельно его продольной оси) и обеспечивает боковые крены тягача относительно скреперного оборудования. Вертикальная ось шарнира центрируется в оголовке хобота и обеспечивает поворот в плане передней секции относительно задней для изменения направления движения машины в целом.



1 - тягач; 2 - седельно-сцепное устройство; 3 гидроцилиндр поворота; 4 - гидроцилиндр подъема-опускания ковша; 5 - тяговая рама; 6 передняя заслонка; 7 - гидроцилиндр управления заслонкой; 8 - задняя стенка; 9 - буферное устройство; 10 - ковш; 11 - ножи.

Рисунок 10.7 - Конструктивная схема самоходного скрепера

Сцепное устройство служит для передачи тягового усилия от тягача и обеспечения поворота скрепера. Сцепное устройство даст возможность относительного поворота тягача и скрепера в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Как отмечалось, на подножевой плите устанавливают секционные съемные ножи. Режущая часть ножа должна иметь минимально допускаемый угол резания (не более 30°). Он имеет различную форму (рисунок 10.8):

- а) с прямолинейной кромкой (используют только для планировочных работ из-за большой энергоемкости);
- б) с выступающей средней частью (энергоемкость работ меньше, а толщина среза в средней части больше, что улучшает условия продвижения стружки и заполнения ковша);
- в) с полукруглой кромкой (имеет те же преимущества, что и с выступающей средней частью).

Постановка зубьев снижает энергоемкость процесса, но затрудняет передвижение стружки в ковше. Обычно их используют при элеваторной загрузке и при разработке грунтов с твердыми включениями.

Заслонка ковша увеличивает его вместимость и обеспечивает направленный напор грунтовой стружки, которая поступает в ковш сквозь щель между заслонкой и ножом. Заслонка состоит из корпуса (обычно цилиндрической формы), боковых стенок и рычагов с проушинами для крепления к боковым стенкам ковша.

Задняя стенка ковша (выдвижная) выполняется как щит, который под действием гидроцилиндров может двигаться вдоль ковша, выталкивая грунт.

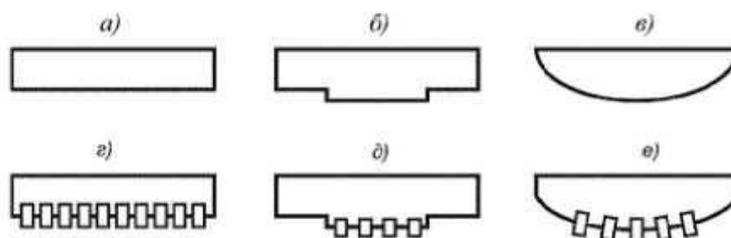


Рисунок 10.8 - Схемы ножей режущей части ковша: *a* - с прямолинейной кромкой; *б, в* - с выступающей средней частью; *г* - прямолинейный с зубьями; *д, е* - с зубьями на выступающей средней части

Тяговая (П-образная) рама соединяет тягач с ковшом, воспринимает нагрузку от веса ковша и передаёт ему усилия от тягача. Её основные элементы:

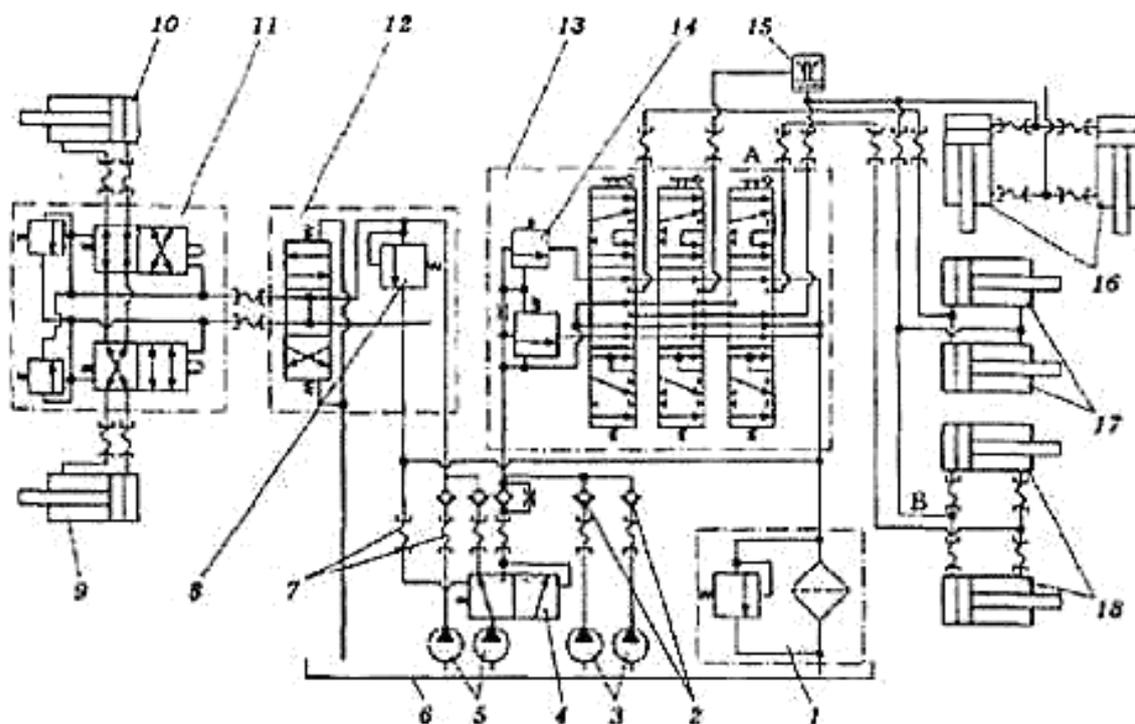
- стойка (из литья), которая имеет две проушины для пальцев оси вращения шкворня сцепного устройства;
- хобот (криволинейный брус коробчатого сечения);
- поперечная балка (передняя);
- упряжные тяги (боковые балки).

Буферное устройство служит для восприятия толкающего усилия от толкача и имеет вид упора, высоту лающего в задней части скрепера за габариты ходового устройства. Для снижения динамических нагрузок применяют амортизаторы, например барабаны на подшипниковых опорах.

Ходовое устройство скреперов пневмоколёсное (только в тягачах прицепных скреперов используют гусеничное).

Гидравлическая система управления рабочими органами (рисунок 10.9) обеспечивает:

- подъем и опускание ковша и заслонки;
- выдвижение и возврат задней стенки;
- поворот скрепера.



1 - масляный фильтр; 2 - обратный клапан; 3, 5 - насос; 4 - переключатель насоса; 6 - бак; 7 - рукав высокого давления; 8, 14 - предохранительный клапан; 9, 10 - гидроцилиндр рулевого управления; 11 - золотниковая коробка; 12 - рулевой механизм; 13 - гидрораспределитель; 15 - гидрозамок; 16-18 гидроцилиндры ковша, задней стенки и заслонки; А, Б – гидролинии.

Рисунок 10.9- Схема гидросистемы скрепера

Насосы гидросистемы приводятся в действие от коробки отбора мощности базового тягача. Раздельное управление гидроцилиндрами осуществляют распределителями, установленными в кабине.

Параметры скрепера. Главный параметр - геометрическая вместимость ковша (q_k).

Основные параметры - мощность двигателя, масса машины, её габаритные размеры, ширина и максимальная толщина срезаемого грунта (рисунок 10.10), колесная база скрепера, рабочая и транспортная скорости, распределение силы тяжести по осям скрепера.

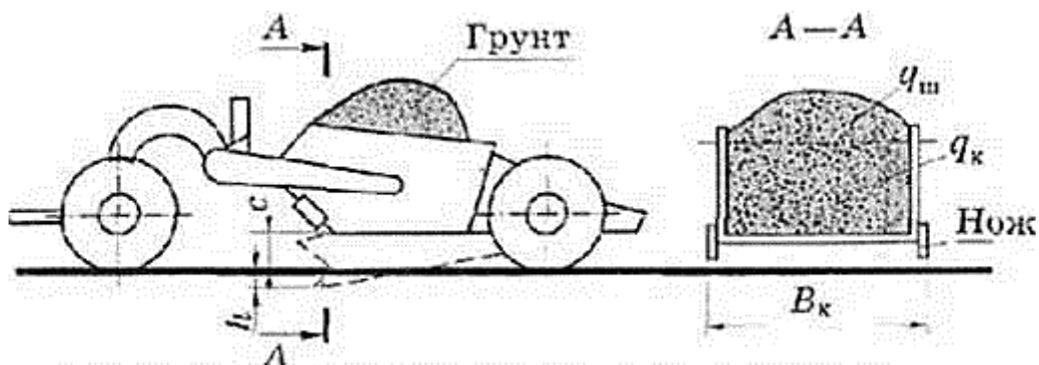
Сила тяжести самоходного скрепера складывается из сил тяжести тягача и скрепера. Для одноосного тягача

$$G_{т.о} = (40...45)N \quad (10.1)$$

где V - мощность тягача, кВт.

Распределение силы тяжести по осям для самоходного скрепера, %:

- порожнего - на переднюю ось – 70, на заднюю - 30.
- загруженного - на переднюю ось - 50, на заднюю - 50.



q_k - вместимость ковша геометрическая; B_k - ширина ковша; $q_{ш}$ - вместимость шапки; h - заглубление; $q = q_k + q_{ш}$; c - толщина срезаемого слоя

Рисунок 10.10 - Основные геометрические параметры скрепера

Габариты скрепера включают длину L , ширину H и высоту H . Для самоходных скреперов

$$L = 5,3\sqrt[3]{q_k}, \quad B = (1,44 \dots 1,52)\sqrt[3]{q_k}, \quad H = (1,44 \dots 1,50)\sqrt[3]{q_k}, \quad ..(10.2)$$

Продольная колесная база самоходных скреперов

$$L_6 = 3,3\sqrt[3]{q_k} \quad (10.3)$$

Поперечная колесная база - обычно такая же, как у тягачей. Если нет данных, тогда

$$B_6 = (0,32 \dots 0,34)\sqrt[3]{q_k} \quad (10.4)$$

Отметим, что во всех формулах, где есть диапазон коэффициентов, большие значения - для скреперов меньшей вместимости и мощности.

Как отмечалось, главный параметр ковша - его вместимость (q_k), а основные - L_k , B_k , H_k .

С уменьшением высоты и длины, увеличением ширины ковша сопротивление грунта снижается. Однако для скрепера с большой вместимостью ковша увеличивать B_k нельзя по транспортным соображениям. Поэтому для ковшей $10 < q_k < 25 \text{ м}^3$ наиболее приемлемыми являются следующие размеры (с учетом формул подобия)

$$L_k = (0,73 \dots 0,79)\sqrt[3]{q_k} \quad (10.11)$$

$$B_k = (1,20 \dots 1,30)\sqrt[3]{q_k} \quad (10.12)$$

$$H_k = (0,64 \dots 0,68)\sqrt[3]{q_k} \quad (10.13)$$

$$L_k = (1,4 \dots 1,8)H_k \quad H_k = (0,4 \dots 0,6)B_k \quad (10.14)$$

Обычно по условиям проходимости скрепера

$$B_k = K_{\text{тяг}} + B + 2\Delta b \quad (10.15)$$

где $K_{\text{тяг}}$ - коlea одноосного тягача, м;

B - ширина пневмошины, м;

Δb - зазор между наружным краем шины и поверхностью боковой стенки ковша ($\Delta b = 0,03...0,06$ м).

Привод. Для самоходных (и полуприцепных двухосных) скреперов используют четырехтактные дизельные двигатели мощностью до 405 кВт: ДЗ-87-1 - 121 кВт; ДЗ-11П - 158 кВт (тягач МоАЗ-546П); ДЗ-13Б - 265 кВт (БелАЗ-7422); ДЗ-115А - 265+265 кВт (БелАЗ-531); ДЗ-107 - 405+405 кВт; ДЗ-155-1 - 265 кВт (БелАЗ-7422).

Самоходные скреперы оборудованы гидромеханическими коробками передач (они приспособлены к введению автоматического переключения передач с помощью микропроцессорных систем управления). Применяемые гидротрансформаторы имеют высокий КПД (и прочие достоинства).

Тяговый расчет скрепера. Его следует производить для транспортного и рабочего режимов.

Для рабочего режима этот расчет выполняют при решении следующих задач:

- 1) по заданной q_k определяют требуемую силу тяги и по ней подбирают тягач;
- 2) по заданному типу тягача определяют q_k скрепера.

Возникающие при работе скрепера сопротивления связаны с процессом копания. Сила сопротивления развивается в процессе наполнения ковша грунтом и достигает максимальных значений в конце копания - на заключительной стадии заполнения ковша. Это положение и принимается за расчетное.

Тяговое усилие расходуется на преодоление ряда сопротивлений, возникающих при копании:

- 1) сопротивление грунта резанию (W_p);
- 2) сопротивление перемещению призмы волочения ($W_{\text{п}}$);

- 3) сопротивление заполнению ковша ($W_{\text{зап}}$);
- 4) сопротивление перемещению машины ($W_{\text{пер}}$).

Тогда

$$W = W_p + W_{\Pi} + W_{\text{зап}} + W_{\text{пер}} \quad (10.16)$$

В данной формуле:

- 1) W_p определяется по выражению

$$W_p = KB_{\text{к}}c \quad (10.17)$$

где K - удельное сопротивление грунта резанию (из таблицы 10.1).

Таблица 10.1 - Значения удельных сопротивлений грунта резанию

Грунт	K , МПа
Пески	0,05-0,07
Супеси и суглинки	0,08-0,10
Тяжелые суглинки и глины	0,10-0,12

Принимать $K > 0,12$ МПа не следует, в этом случае необходимо предварительно рыхлить грунт.

Ширина ковша скрепера $B_{\text{к}}$ определяется конструктивно

$$B = B_{\text{к}} \quad (10.18)$$

где B - длина ножа ковша скрепера, м.

Толщина срезаемого слоя c , м, определяется из таблицы 10.2.

Таблица 10.2 - Значения толщины срезаемого слоя ковшами разной вместимости

$q_k, \text{ м}^3$	6	10	15
	с, м		
Суглинки	0,04-0,06	0,08-0,10	0,12-0,14
Супеси	0.06-0.08	0.10-0,12	0,14-0.16

Эти данные верны для прямого ножа (т.е. для самой простой формы), для ступенчатого - формула немного сложнее;

2) W_{Π} - сопротивление перемещению призмы волочения определяют из формулы

$$W_{\Pi} = G_{\text{пр}} (f_1 \pm i) = q_{\text{пр}} \rho_{\text{г}} g (f_1 \pm i) \frac{1}{K_p} \quad (10.19)$$

где $G_{\text{пр}}$ - сила тяжести призмы волочения, Н;

$q_{\text{пр}}$ - объем призмы волочения, м^3 . $q_{\text{пр}}$ (в% от q_k) можно найти из таблицы 10.3;

$\rho_{\text{г}}$ - плотность грунта, $\text{кг}/\text{м}^3$;

f_1 - коэффициент трения грунта по грунту ($f_1 = 0.3 \dots 0.5$ - большие значения для песчаных грунтов);

i - уклон местности;

K_p - коэффициент разрыхления грунта.

Кроме того, W_{Π} можно найти, зная геометрические параметры грунта в ковше

$$W_{\Pi} = y B_k H_{\text{г}}^2 \rho_{\text{г}} (f_1 \pm i) \quad (10.20)$$

где y - коэффициент объема призмы волочения перед заслонкой и ножами ковша ($y = 0,5 \dots 0,7$; большие значения относятся к сыпучим грунтам);

B_k - ширина ковша, м;

$H_{\text{г}}$ - высота наполнения грунтом (высота грунта в ковше), м.

Таблица 10.3 - Значения объема призмы волочения при разных вместимостях ковша

Грунт	$q_{пр}$ (%) при вместимости ковша, м ³		
	6	10	15
Песок	26	28	32
Супесь	22	17	16
Суглинок	10	10	9
Глина	10	5	5

3) $W_{зап}$ - сопротивление заполнению ковша включает две составляющие:

а) сопротивление силы тяжести поднимаемого столба грунта, поступающего в ковш

$$W'_{зап} = g\rho_{г}B_{к}cH_{г} \quad (10.21)$$

$H_{г}$ можно найти из таблицы 10.4.

Таблица 10.4 - Значения высоты наполнения ковшей разной вместимости

$q_{к}, м^3$	2,25	6	10	15
$H_{г}, м$	1,00-1,13	1,25-1,5	1,8-2,0	2,3

б) сопротивление трению грунта в ковше, которое возникает в результате сил давления P боковых призм, располагающихся по обе стороны столба грунта, при его перемещении в вертикальном направлении внутри ковша

$$W''_{зап} = 2Pf_1 = xB_{к}H_{г}^2\rho_{г}g \quad (10.22)$$

где

$$x = \frac{tg\varphi_1}{1+tg^2\varphi_1} = \frac{1}{2}\sin 2\varphi_1 \quad (10.23)$$

где φ_1 - угол внутреннего трения грунта (из таблицы 10.5).

Таблица 10.5 - Значения углов внутреннего трения для разных видов грунтов

Грунт	μ_1 , град	α
Глина	14-19	0,24-0,31
Суглинок	24-30	0,37-0,44
Песок	35-45	0,46-0,50

Заполнение ковша происходит в три стадии:

- I - заполняется нижняя часть ковша;
- II - заполняется внутренний объём возле заслонки;
- III - заполняется верхняя часть ковша (грунт пробивается через уже находящийся в ковше грунт, преодолевая сопротивление сил внутреннего трения и силы собственной тяжести);

4) $W_{\text{пер}}$ - сопротивление перемещению скрепера.

$$W_{\text{пер}} = (G_c + G_r)(f \pm i) \quad (10.24)$$

где G_c - сила тяжести скрепера, Н;

f - коэффициент сопротивления передвижению (или качению колес):

$$f = \begin{cases} 0.15 \dots 0.20 & \text{— плотные грунты;} \\ 0.25 \dots 0.30 & \text{— пески;} \end{cases}$$

G_r - сила тяжести грунта в ковше

$$G_r = \frac{q_k \rho_r g K_n}{k_p} \quad (10.25)$$

где K_n - коэффициент наполнения (из таблицы 10.6);

k_p - коэффициент разрыхления (из таблицы 10.6).

Таблица 10.6 - Значения коэффициента наполнения для разных видов грунтов

Грунт	K_H	
	без толкача	с толкачом
Сухой песок	0,5-0,7	0,8-1,0
Супесь и средний суглинок	0,8-0,9	1,0-1,2
Тяжелый суглинок и глина	0,6-0,8	0,9-1

Коэффициент наполнения $K_H > 1$, т.к. $K_H = q/q_k$,

где q_k – геометрическая вместимость ковша, а наполнение возможно с «шапкой» грунта и $q > q_k$.

Таблица 10.7 - Значения коэффициента разрыхления для разных видов грунтов

Грунт	Влажность, %	P , г/см ³	K_p
Песок сухой	-	1,5-1,6	1,0-1,2
Песок влажный	12-15	1,6-1,7	1,1-1,2
Легкая супесь	7-10	1,5-1,7	1,1-1,2
Супесь и суглинок	4-6	1,6-1,8	1,2-1,4
Средний суглинок	15-18	1,6-1,8	1,2-1,3
Сухой пылевидный суглинок	8-12	1,6-1,8	1,3-1,4
Тяжелый суглинок	17-19	1,55-1,80	1,2-1,3
Сухая глина	-	1,7-1,8	1,2-1,3

Итак, все составляющие сопротивлений найдены.

Для работы полуприцепных и самоходных скреперов необходимо, чтобы

$$P_0 > W \quad (10.26)$$

где P_0 - максимальная окружная сила на шинах ведущих колес скрепера, Н.

Если мощности силовой установки скрепера недостаточно для преодоления сил сопротивления, тогда используют толкач (бульдозер со специальным коротким отвалом).

В этом случае уравнение (10.26) приобретает вид

$$P_0 + T_{\text{тол}}k_0 \geq W \quad (10.27)$$

где $T_{\text{тол}}$ - тяговое усилие толкача, Н;

k_0 - коэффициент одновременности работы скрепера и толкача, $k_0 = 0,85 \dots 0,90$.

Для работы прицепных скреперов необходимо, чтобы

$$T_{\text{max}} \geq W \quad (10.28)$$

где T_{max} - максимальное тяговое усилие на крюке тягача. Н. При транспортировании

$$T \geq W_{\text{пер}} \quad (10.29)$$

где $W_{\text{пер}}$ - сопротивление перемещению скрепера с грунтом (как повозки), Н.

Кроме того, необходимо произвести проверку возможности реализации тягового усилия по сцеплению:

$$G_{\text{сц}}\varphi_{\text{сц}} \geq P_0 = W - \text{для самоходных скреперов;} \quad (10.30)$$

$$G_{\text{сц}}\varphi_{\text{сц}} \geq T_{\text{max}} = W - \text{для прицепных.} \quad (10.31)$$

где $G_{\text{сц}}$ - сцепная сила тяжести самоходного скрепера или тягача, Н;

$\varphi_{\text{сц}}$ - коэффициент сцепления.

Если указанные силовые условия не выполняются, то предпринимают следующие меры:

- 1) изменяют толщину срезаемого грунта;
- 2) изменяют скорость движения при наборе грунта;
- 3) применяют толкач при наборе грунта.

Мощность двигателя тягача для самоходного скрепера определяют по выражению

$$N_{дв} = \frac{Wv}{\eta} \quad (10.32)$$

где v - рабочая скорость скрепера, м/с;

η - КПД передачи.

Для прицепного скрепера

$$N_{дв} = \frac{[G_T(f_0 \pm i) + W]v}{\eta} \quad (10.33)$$

где G_T - сила тяжести тягача. Н;

f_0 - коэффициент сопротивления качению тягача.

Если же известна мощность двигателя $N_{дв}$, то можно найти тяговое усилие

$$T_{max} = 0.9P_0 = 0.9 \frac{N_{дв}\eta}{v} \quad (10.34)$$

Производительность скреперов можно определить по формуле

$$\Pi = \frac{k_B k_H q_k}{k_p T_{ц}} \quad (10.35)$$

где k_B - коэффициент использования рабочего времени ($k_B = 0,85$);

k_H - коэффициент наполнения ($k_H = \frac{q_p}{q_k}$) $k_H = 0,6 \dots 1,25$

q_k - вместимость ковша, м,

k_p - коэффициент разрыхления грунта в ковше ($k_p = 1.1 \dots 1.4$);

$T_{\text{ц}}$ - продолжительность цикла, с.

$$T_{\text{ц}} = \frac{l_3}{v_3} + \frac{l_{\text{т}}}{v_{\text{т}}} + \frac{l_{\text{р}}}{v_{\text{р}}} + \frac{l_{\text{п}}}{v_{\text{п}}} + 2t_{\text{пов}} \quad (10.36)$$

l_3 - длина пути заполнения ковша, м;

v_3 - скорость движения на пути заполнения, м/с;

$l_{\text{т}}$ - длина пути транспортирования грунта, м;

$v_{\text{т}}$ - скорость транспортирования, м/с;

$l_{\text{р}}$ - длина пути разгрузки, м;

$v_{\text{р}}$ - скорость движения при разгрузке, м/с;

$l_{\text{п}}$ - длина пути порожнего скрепера, м;

$v_{\text{п}}$ - скорость движения порожнего скрепера, м/с;

$t_{\text{пов}}$ - время на поворот скрепера, $t_{\text{пов}} = 15 \dots 20$ с.

Скорости движения на различных стадиях:

1) при заполнении ковша

$$v_3 = (0,65 \dots 0,8)v_1 \quad (10.37)$$

где v_1 - скорость движения на первой передаче тягача, м/с;

2) при транспортировании грунта

$$v_{\text{т}} = \begin{cases} (0,55 \dots 0,75)v_{\text{max}} & \text{— на ровном участке,} \\ v_1 & \text{— на крутом подъёме.} \end{cases} \quad (10.38)$$

где v_{max} - скорость движения на высшей передаче, м/с;

3) при разгрузке ковша

$$v_1 \leq v_p \leq 0,75v_{max} \quad (10.39)$$

в зависимости от условий разгрузки;

4) при движении порожнего скрепера

$$v_{п} = \begin{cases} (0,75 \dots 0,85)v_{max} & \text{— на ровном участке,} \\ v_2 & \text{— на подъёмах.} \end{cases}$$

где v_2 - скорость движения на второй передаче, м/с.

Длину пути заполнения l_3 находят из выражения

$$l_3 = \frac{q_k k_n k_{п}}{0,7B_k c k_p} \quad (10.40)$$

где $k_{п}$ - коэффициент, учитывающий потери грунта при образовании призмы волочения и боковых валиков, $k_{п} = 1,2 \dots 1,6$.

Что касается длины пути разгрузки, то, по-видимому, можно использовать ту же формулу, что и для l_3 , но скорректировать толщину стружки.

Расчеты на прочность. Для определения внешних сил и расчета на прочность выбирают положения, при которых скрепер (его элементы) испытывают наибольшие нагрузки.

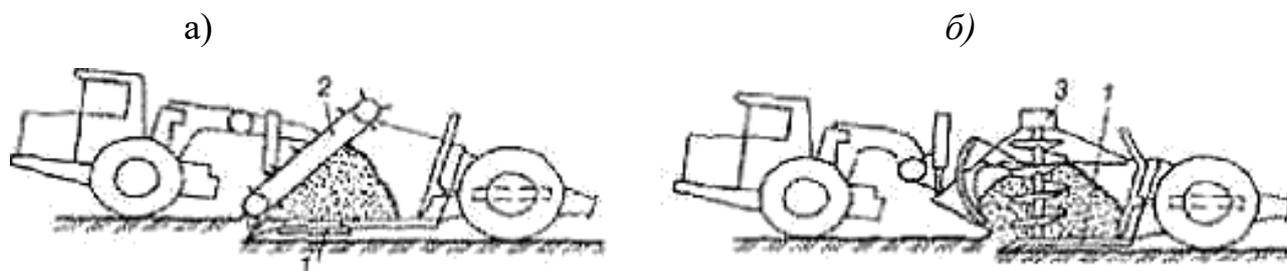
К активным силам, действующим на скрепер, относятся: сила тяжести скрепера с грунтом, сила тяги и толкающая сила толкача.

К реактивным силам относятся реакции грунта, действующие на рабочий орган, а также реакции грунта, действующие на колеса (вертикальные и горизонтальные).

Эти силы не постоянны. И сила тяжести, и сила тяги достигают максимальных значений в конце наполнения.

Силу тяги определяют либо по мощности двигателя тягача, либо по условию сцепления ходового движителя с грунтом.

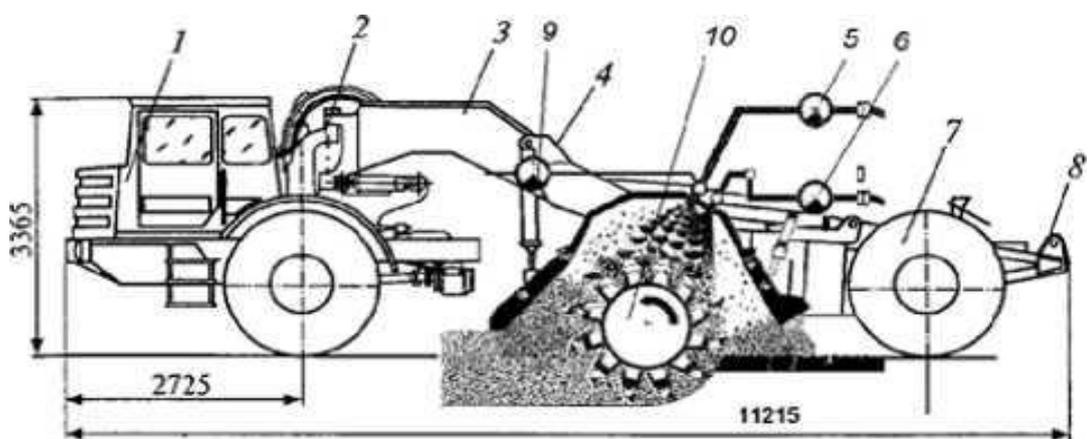
Помимо традиционных общетехнических направлений развития скреперов, таких как обеспечение комфортных и безопасных условий работы, управление машиной и контроль за работой всех основных агрегатов с помощью бортовых компьютеров и микропроцессорных систем, расширенное применение модульной компоновки основных узлов и др., имеются также направления модернизации, связанные с особенностями конструкции и эксплуатации скреперов. Во-первых, это повышение производительности и снижение энергоемкости за счет ускоренного наполнения ковша с использованием различных приспособлений, включая двухщелевую загрузку ковша, его телескопическую форму, принудительную загрузку с помощью элеваторов скребкового, шнекового или роторного типа (рис. 11.11), а также подвижные стенки ковша, обеспечивающие ускоренное продвижение грунта в ковш.



1 - днище ковша; 2 – элеватор; 3 – шнек.

Рисунок 10.11- Скреперы с принудительной загрузкой: а – элеваторной; б - шнековой

Для расширения технологических возможностей за счет применения скреперов для ремонта асфальтобетонных покрытий скреперное оборудование демонтируют, оснащая машину агрегатами для срезания старого и укладки нового дорожного покрытия (рисунок 10.12).



1 - одноосный тягач; 2 - седельно-сцепное устройство; 3 - тяговая рама; 4 - гидроцилиндр; 5 - насос подачи вяжущего (битумной эмульсии); 6 - насос подачи воды; 7 - заднее колесо; 8 - буфер; 9 - устройство подачи активирующей добавки; 10 фрезерный барабан.

Рисунок 10.12- Конструктивная схема рециклера на агрегатах скрепера МоАЗ-6014

10.2 Устройство скреперов на примере конкретных производителей

В России ЗАО «Челябинские строительные дорожные машины» выпускает несколько модификаций прицепного скрепера ДЗ-172.1 к базовому трактору тягового класса 10 тс. В Могилёве (Республика Беларусь) самоходные скреперы МоАЗ-6014 и МоАЗ-6007 выпускает Могилевский автомобильный завод. Технические параметры скреперов приведены в приложении.

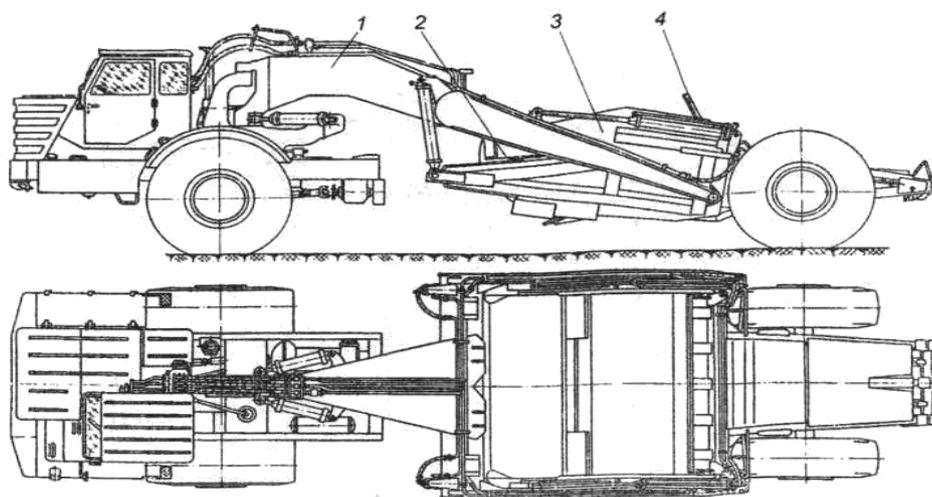
Самоходный скрепер МоАЗ-6014 производства Могилевского автомобильного завода (Республика Беларусь) имеет массу 20,4 т, вместимость ковша 8,3 м³. Скрепер состоит из одноосного тягача МоАЗ-6442 и полуприцепного скрепера, рис. 10.13.

Скрепер предназначен для послойной разработки грунтов I-II категорий, их транспортировки и отсыпки слоями заданной толщины в возводимые сооружения или отвалы. Допускается его применение для разработки грунтов III-IV категорий с обязательным предварительным рыхлением.

Набор грунта скрепером производится с помощью «толкача», оборудованного специальным устройством для толкания или усиленным отвалом бульдозера путем наварки на отвал листа толщиной 12... 16 мм. В качестве «толкача» рекомендуется применять гусеничные тракторы мощностью 100... 180 л. с. или колесные тракторы и тягачи мощностью 200.. .300 л. с.

Наиболее эффективным является использование самоходного скрепера при дальности транспортировки грунта от 0,5 до 5 км. При этом необходимо организовать работу так, чтобы не было простоев самоходных скреперов в ожидании «толкача» или простоев «толкача» в ожидании самоходных скреперов. Число самоходных скреперов на один «толкач» зависит от дальности транспортирования грунта и должно быть в количестве 3 - 8 штук.

Скрепер МоАЗ-6014 (см. рис. 10.13) является полуприцепным одноосным агрегатом к тягачу МоАЗ-6442 и состоит из следующих основных частей: рамы 1, заслонки 2, ковша 3, задней стенки 4, гидро- и пневмосистемы.

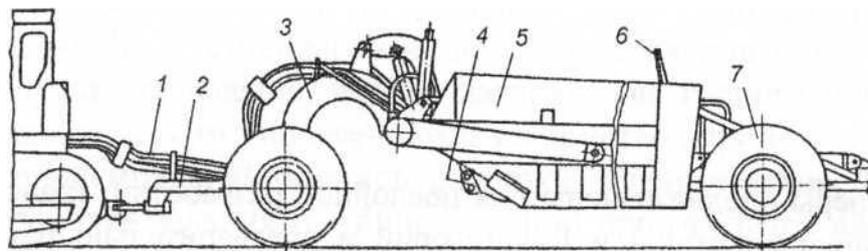


1 - рама; 2 - заслонка; 3 - ковш в сборе; 4 - задняя стенка.

Рисунок 10.13 - Самоходный скрепер МоАЗ-6014 с одноосным тягачом МоАЗ-6442

Прицепной скрепер ДЗ-172 производства ЗАО «ЧСДМ» (рис. 10.14) с геометрической вместимостью ковша 8,8 м³, номинальной – 11 м³ служит для послойной разработки грунтов I - III категорий и предварительно разрыхленных грунтов IV ка-

тегории. Скрепер предназначен для агрегатирования к следующим гусеничным тракторам: Т-170.01-2 - с бортовым редуктором с передаточным числом 14,79 с пусковым двигателем; Т- 170.41-2 – с бортовым редуктором с передаточным числом 14,79 с электростартерной системой пуска; Т-170.00-2 – с бортовым редуктором с передаточным числом 9,94 с пусковым двигателем; Т-170.40-2 - с бортовым редуктором с передаточным числом 9,94 с электростартерной системой пуска. Модификации скрепера даны в приложении.



1 - гидросистема скрепера; 2 - передняя ось; 3 - тяговая рама; 4 - заслонка; 5 - ковш; 6 - задняя стенка; 7 – колесо.

Рисунок 10.14 - Прицепной скрепер ДЗ-172.1 производства ЗАО «ЧСДМ».

Таблица 10.8 – Линейка скреперов ЗАО «ЧСДМ»

Обозначение	Наименование
ДЗ-172.1	Скрепер в комплекте с трактором
ДЗ-172.1-02	Скрепер в комплекте с трактором
ДЗ-172.1-03	Скрепер в комплекте с трактором
ДЗ-172.1-04	Скрепер в комплекте с трактором
ДЗ-172.5	Скрепер автоматизированный в комплекте с трактором
ДЗ-172.5-02	Скрепер автоматизированный в комплекте с трактором
ДЗ-172.5.03	Скрепер автоматизированный в комплекте с трактором
ДЗ-172.5-04	Скрепер автоматизированный в комплекте с трактором

Вопросы для самоконтроля

1. Приведите классификацию скреперов. Перечислите признаки классификации. Какое назначение машин различного класса?
2. Какие способы загрузки скреперных ковшей Вы знаете?
3. Приведите технологические схемы работы скрепера.

4. Какое усилие должно быть на органах управления двигателем?
5. На какой скорости проводятся испытания тормозной системы пневмоколесных скреперов?
6. Приведите пример карты смазки скрепера. Какое назначение технического обслуживания?
7. Перечислите основные технико-экономические параметры, характеризующие скрепер как объект производства и орудие труда.
8. Перечислите составляющие, входящие в структурную модель продолжительности рабочего цикла скрепера.
9. Напишите формулу по определению оптимальной массы скрепера при заданной скорости копания.
10. Напишите формулу по определению оптимальной массы скрепера при заданной производительности.
11. Назовите виды производительности землеройных машин. Дайте характеристики параметров, определяющих производительность.
12. Приведите формулу по определению эксплуатационной производительности скрепера.
13. Какой основной недостаток традиционного метода расчета производительности?
14. Как осуществляется выбор скрепера для заданных условий эксплуатации?
15. Сформулируйте цели и задачи тягового расчета скрепера. Дайте пример определения основных составляющих.
16. Изложите основы тягового расчета землеройно-транспортных машин для транспортного и рабочего режимов.
17. Приведите основные расчетные положения скреперов при расчете на устойчивость.
18. Назовите основные расчетные положения скрепера при расчете на прочность. Как определяется сила тяги при повороте скрепера на 90° ?
19. Как определяется сила тяги двухмоторного скрепера при работе с толкачом?

20. Назовите факторы, определяющие технико-эксплуатационные качества землеройных машин.

11 Автогрейдеры

11.1 Общие сведения, классификация, основы теории

Автогрейдер (от латинского grade - нивелировать) - это землеройно-транспортная машина с отвальным рабочим органом.

Исходя из конструктивных признаков *автогрейдером* называется самоходная колесная машина с регулируемым отвалом, расположенным между передней и задними осями. Машина может быть также оборудована передним отвалом или рыхлителем, установленным между передней и задними осями. Рыхлитель может быть установлен в задней части машины.

Он используется:

- 1) для планировочных работ;
- 2) профилирования земляного полотна железной дороги и автомобильных дорог;
- 3) возведения насыпей (до 1 м) из боковых резервов;
- 4) рытья и очистки канав и кюветов;
- 5) сооружения дорожных корыт;
- 6) смешения грунта, щебня или гравийных материалов с вяжущими веществами (битумом, цементом);
- 7) разрушения дорожного покрытия, очистки дорог и улиц от снега.

Их применяют также для возведения дорожных насыпей высотой до 1 м из боковых резервов и постройки грунтовых дорог с боковыми канавами, для сооружения дорожного корыта и распределения в нем каменных материалов основания дорожной одежды, для профилирования дорожных обочин, для сооружения и очистки оросительных и придорожных канав глубиной до 0,7 м трапецеидального и треугольного сечений, для зачистки и планирования откосов, насыпей, выемок, каналов, для разрушения (киркования) дорожных покрытий при ремонте, для

очистки дорог и аэродромов от снега и льда. Грейдеры используют на талых грунтах, а также на мелких каменных материалах (щебне, гравии).

Эффективность работы грейдеров обеспечивается при рабочих ходах протяженностью более 0,5 км, при меньших протяженностях увеличивается время на развороты машины и перестановку рабочего органа. При боковом возведении насыпей дальность перемещения грунта не должна превышать 30 м.

Основные операции, выполняемые автогрейдерами, – зарезание, перемещение, разравнивание и планировка грунта. Наличие шарнирно-сочлененной рамы расширяет технологические возможности использования автогрейдера при выполнении работ, требующих высокой маневренности автогрейдера в стесненных условиях.

Возведение насыпей. Как правило, высота возводимых автогрейдерами насыпей не превышает 0,6 м (возможна большая высота – до 1 м, но при этом существенно уменьшается производительность).

Основными и наиболее трудоемкими операциями при возведении насыпей являются резание грунта, его перемещение, укладка и разравнивание. При этом из 100 рабочих проходов на резание приходится примерно 20-30, на перемещение 60-75 и на отделку 5-10. Строящаяся дорога разбивается на участки (захватки) длиной не менее 400...500 м. Однако выбор длины захватки связан с необходимостью учета рельефа местности.

Рабочим органом служит поворотный либо неповоротный криволинейный отвал. Самоходный грейдер называется автогрейдером. Грейдер, оборудованный конвейером поперечного перемещения или погрузки грунта, называется грейдером-элеватором.

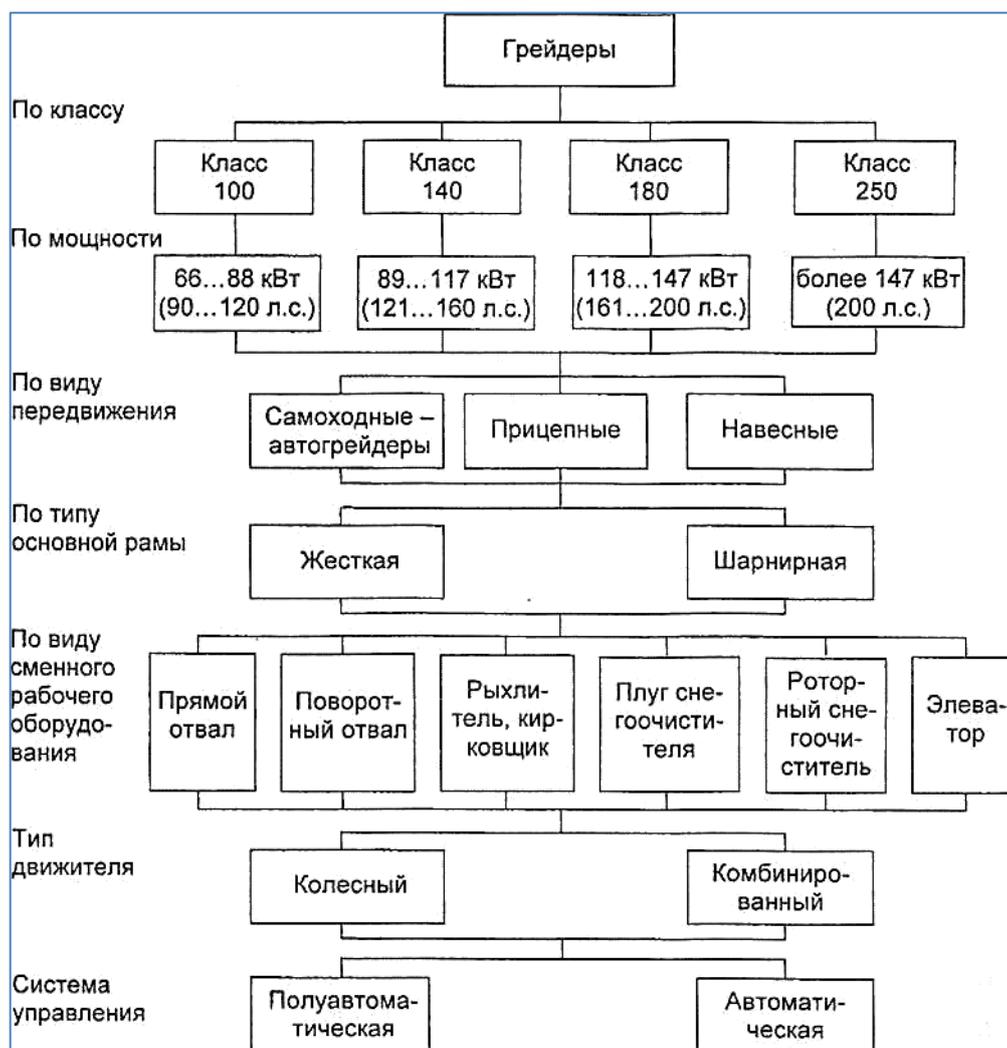


Рисунок 11.1 - Классификация грейдеров

Межгосударственный стандарт ГОСТ 11030 распространяется на автогрейдеры, предназначенные для землеройно-планировочных работ при строительстве, ремонте и содержании дорог, а также других видах строительства. В соответствии с этим стандартом главным параметром автогрейдера является эксплуатационная мощность двигателя. Машины изготавливают четырех классов, см. табл. 11.1.

Таблица 11.1 – Классы автогрейдеров

Класс автогрейдера	100	140	180	250
Эксплуатационная мощность двигателя, кВт (л.с.)	66,2...88,2 (90... 120)	88,9...117,6 (121...160)	118,4...147,0 (161...200)	147,8 и выше (201 и выше)

Основные рабочие операции автогрейдера представлены на рисунке 11.2.

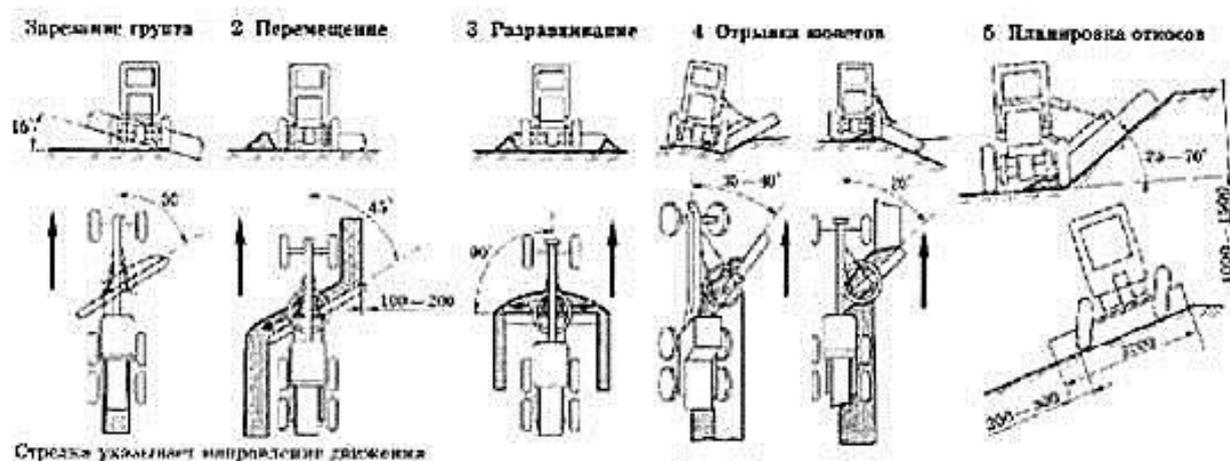


Рисунок 11.2 - Основные рабочие операции автогрейдеров

Автогрейдер состоит из силовой установки, трансмиссии, основной и тяговой рам, рабочих органов, ходовой части и механизмов управления (рисунок 11.3). Рабочим органом является отвал.

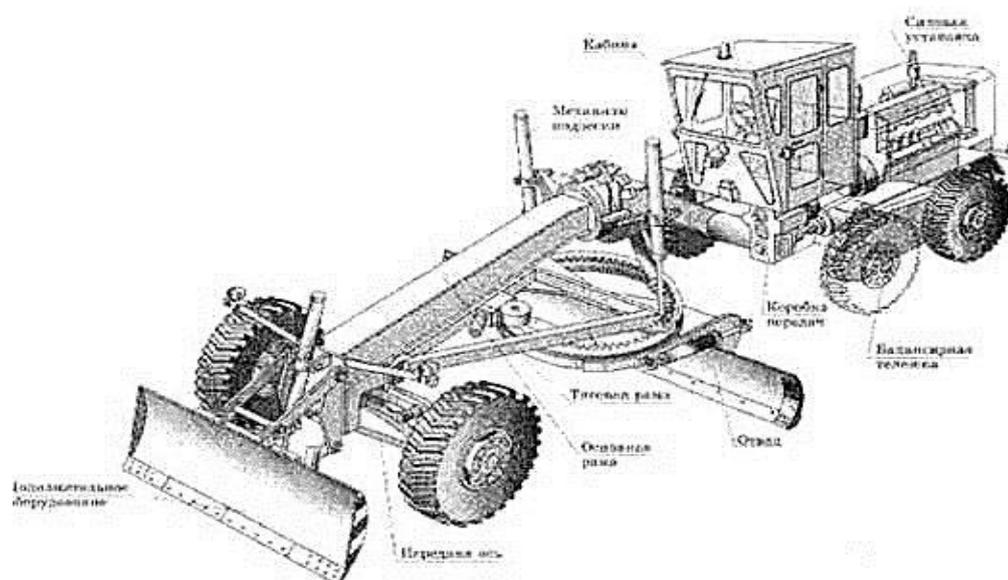


Рисунок 11.3-Автогрейдер

Автогрейдеры классифицируют по нескольким основным признакам:

- 1) по главному параметру - мощности двигателя и массе:
 - на легкие (45-50 кВт, масса - менее 10 т);
 - средние (65-75 кВт, масса - 10-13 т);

- тяжелые (120-130 кВт, масса - 14-19 т);
- сверхтяжёлые (270-320 кВт, масса - более 20 т).

Кроме этого, существует разделение на классы по мощности двигателя:

- класс 100 ($N = 90-120$ л.с.);
- класс 160 ($Y = 135-200$ л.с.);
- класс 250 ($N = 240-300$ л.с.).

У классов 100 и 160 ведущими являются задние колеса, а у класса 250 - все колеса ведущие:

2) *по типу привода:*

- гидравлический;
- механический;
- комбинированный (электрогидравлический, пневмогидравлический).

3) *по числу осей:* двух- и трехосные. Тип колесной схемы (колесная формула) имеет обозначение

$$A \times B \times B,$$

где A - число осей с управляемыми колесами;

B - число ведущих осей;

B - общее число осей.

Автогрейдер снабжают следующим сменным оборудованием:

- 1) удлинителем и откосником (для увеличения ширины захвата при отделке откосов насыпей);
- 2) кирковщиком (для разрушения покрытий и рыхления грунта);
- 3) бульдозерным отвалом;
- 4) плужным снегоочистителем.

Для выполнения автогрейдером различных работ можно управлять положением рабочего органа следующим образом:

- а) изменять положение отвала в горизонтальной плоскости вращением поворотного круга вокруг вертикальной оси на 360° ;

- б) изменять положение отвала в вертикальной плоскости подъемом или опусканием правого или левого конца тяговой рамы;
- в) выносить отвал в стороны (от продольной оси автогрейдера или за пределы его колеи) путем поворота тяговой рамы (в горизонтальной плоскости) вокруг вертикальной оси крепления ее передней точки (шарнира) или посредством поворота передней части рамы у автогрейдеров с шарнирно-сочлененной рамой;
- г) изменять угол резания отвала.

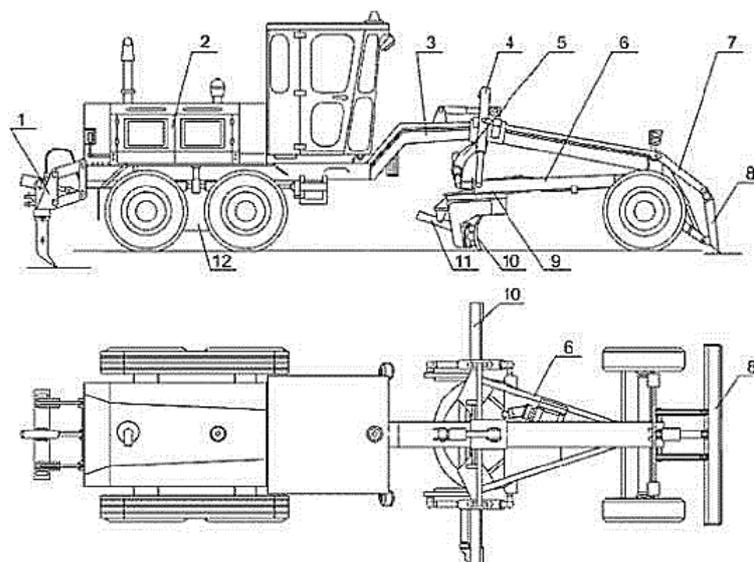
Таким образом, отвал можно установить горизонтально или под наклоном (в вертикальной плоскости), под любым углом наклона в плане; его можно расположить в полосе колес автогрейдера или вынести за ее пределы; его можно опустить или поднять относительно уровня обрабатываемой поверхности.

Рабочий процесс состоит в срезе и поперечном перемещении грунта вдоль отвала, который расположен под углом к направлению движения автогрейдера. Как правило, каждый срез сопровождается несколькими проходами по перемещению срезанного грунта на необходимое расстояние для его укладки в заданное место.

В отличие от бульдозера основной отвал автогрейдера расположен между передними и задними колесами по центру его базы, что обеспечивает большую точность планировки, поскольку продольная база Автогрейдера в несколько раз больше, чем у бульдозера, и при планировочных работах неровности грунта сказываются в меньшей степени.

Скорости автогрейдера для резания и перемещения грунта зависят от его мощности. Резание производят на первой передаче, перемещение - на второй и третьей.

Современные автогрейдеры изготавливают по единой принципиальной схеме в виде самоходных трехосных машин с полноповоротным отвалом и гидравлической системой управления рабочими органами (рис. 12.3).



1 - рыхлитель (кирковщик); 2 - силовая установка с трансмиссией; 3 - основная рама; 4 - гидроцилиндр подъёма-опускания отвала; 5 - гидроцилиндр выноса отвала (относительно продольной оси); 6 - тяговая рама; 7 – гидроцилиндр управления отвалом; 8 - бульдозерный отвал; 9 - поворотный круг; 10 - грейдерный отвал; 11 - гидроцилиндр изменения угла резания отвала; 12 - продольно-балансирная балка (подвеска).

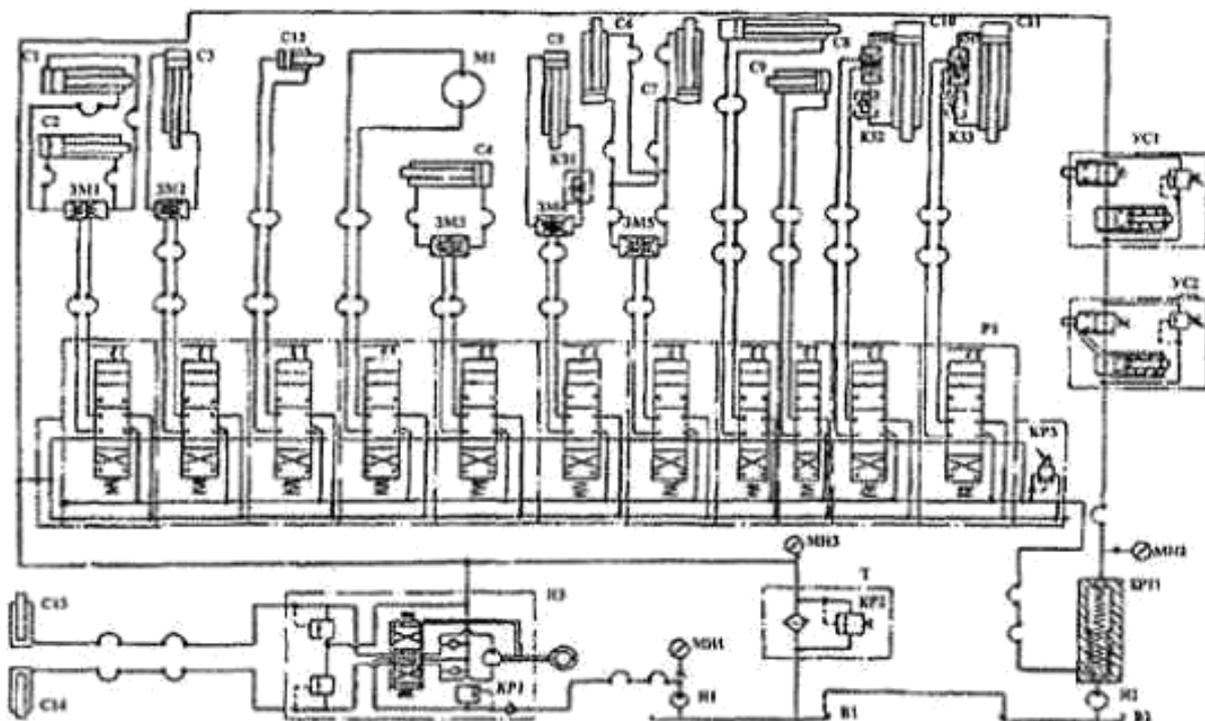
Рисунок 11.4 - Конструктивная схема автогрейдера

Силовой установкой автогрейдера, как правило, является дизельный двигатель. В узел трансмиссии входят многоступенчатая коробка перемены передач, раздаточная коробка, мультипликатор, главная передача и балансирные редукторы.

Имеются автогрейдеры с гидромеханической трансмиссией, а также автогрейдеры с гидромоторколёсами.

Механизмы управления приводятся в действие гидравлической системой, которая выполняется по раздельно-агрегатной схеме с использованием стандартных насосов и распределительных (трехпозиционных) устройств (рис. 11.5).

Для привода всех механизмов используются гидроцилиндры, для механизма поворота отвала - гидродвигатель вращательного действия (аксиально-поршневого типа).



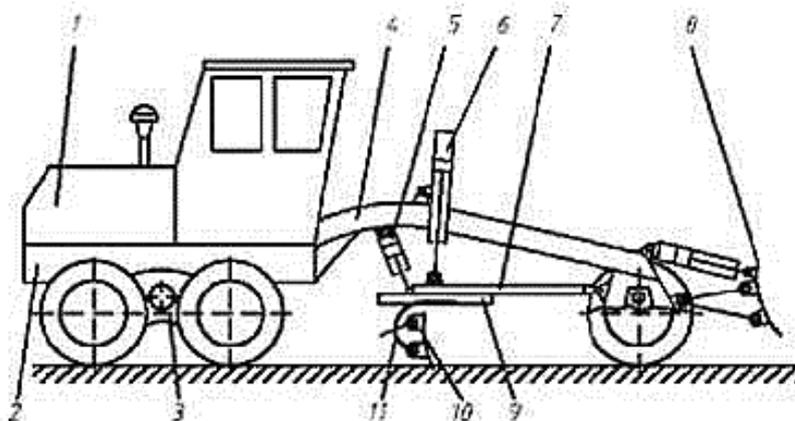
Н1, Н2 - насосы; МН1, МН2, МН3 - манометры; УС1, УС2 - гидроусилители; КР1...КР5 - предохранительные клапаны; В1, В2 – гидробаки; ЗМ1...ЗМ7 – гидрозамки; КЗ1, КЗ2, ЮЗ - заместительные клапаны; М1 - гидромотор; Т - фильтр; НЗ - гидророль; С 1...С 14 - гидроцилиндры; Р1 - гидрораспределитель; КРП1 - клапан потока

Рисунок 11.5 - Схема гидросистемы рабочего оборудования автогрейдера

Основная рама 4 (рис. 11.6) выполнена в виде хребтовой балки круглого или прямоугольного сечения. В своей задней части она переходит в подрамник 2 (подмоторную раму). На подрамнике установлены двигатель, механизмы управления, агрегаты трансмиссии и кабина.

Передней частью основная рама опирается на ось передних колёс при помощи цилиндрического шарнира. Такое соединение даст возможность оси колёс наклоняться относительно рамы в вертикальной плоскости. Задние ходовые колеса с каждой стороны попарно объединены балансирными балками 3 или продольно-балансирными подвесками. Подобная подвеска передних и задних колёс обеспечивает опору автогрейдера на вес колеса независимо от рельефа обрабатываемой поверхности. При необходимости изменения направления движения передние колеса

могут поворачиваться (в плане) с помощью рулевой трапеции (автомобильного типа). Кроме того, эти колеса могут отклоняться в боковом направлении.



1 - машина; 2 - подрамник; 3 - балансирующая балка; 4 - основная рама (хребтовая балка); 5 - гидроцилиндр механизма выноса тяговой рамы (относительно продольной оси); 6 - гидроцилиндр механизма подъема; 7 - тяговая рама; 8 - отвал бульдозера; 9 - поворотный круг; 10 - отвал автогрейдера; 11 - кронштейн крепления отвала.

Рисунок 11.6 - Принципиальная схема автогрейдера

Управляемая передняя ось представляет собой балку с колесами, шарнирно закрепленными на ее концах. Основной особенностью переднего управляемого моста автогрейдера является возможность одновременного наклона и поворота обоих колес (рисунок 11.7)

Балансирующая тележка представляет собой четырехколесный блок, в поперечной балке которого смонтирована главная передача. На концах балок в подшипниках скольжения укреплены балансиры, передачу внутри которых для привода колес выполняют как шестеренной, так и цепной. Колеса, установленные на концах балансиров, имеют колодочные тормоза с гидравлическим управлением (рисунок 11.8).

Отвал 10 фиксируется через поворотный круг 9 на тяговой раме 7 (см. рисунок 11.6). Тяговая и основная рамы связаны между собой: впереди - универсальным шарниром (№1 рисунке не показан), а сзади гидроцилиндрами 5 и 6.

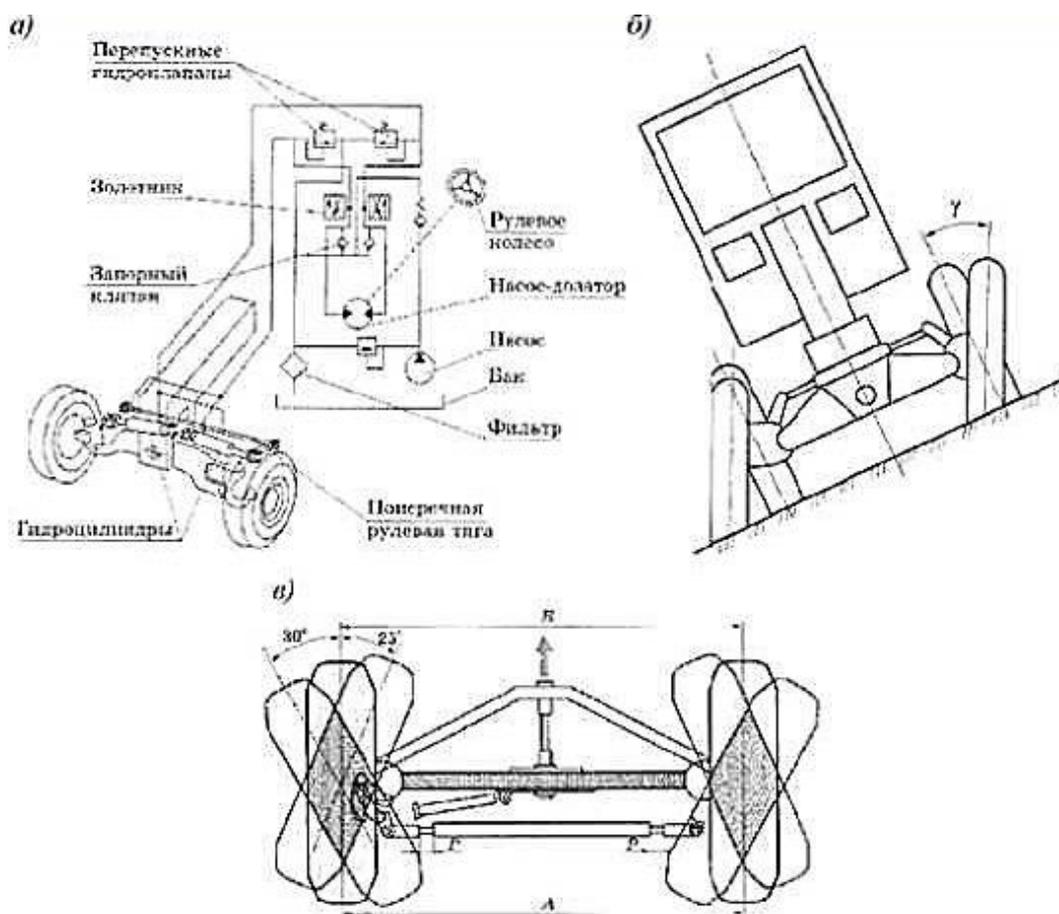


Рисунок 11.7 - Управление передними колесами автогрейдера: а) - схема гидравлического рулевого управления; б) - схема поперечного наклона; в) - схема поворота

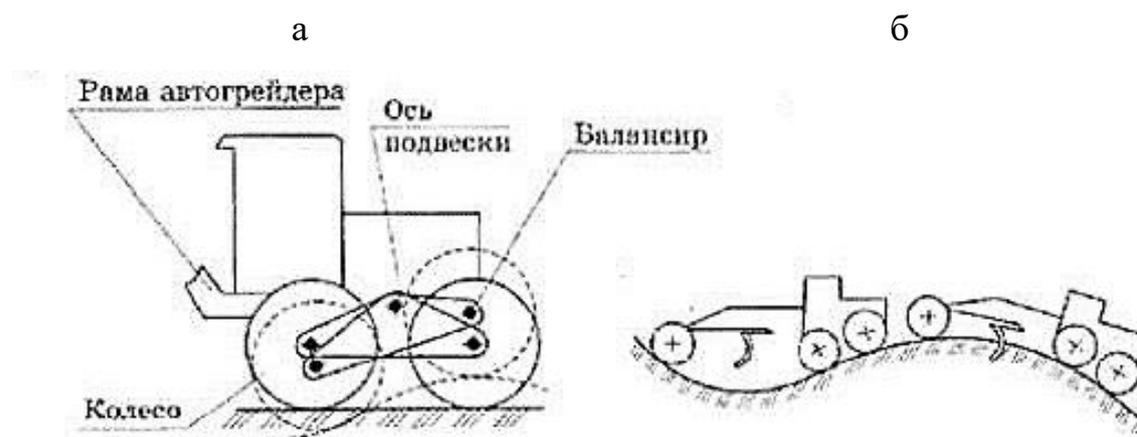


Рисунок 11.8 - Балансирная тележка: а - схема работы балансирной подвески; б - кинематическая схема;

Раздельное действие гидроцилиндров б механизма подъема обеспечивает поворот тяговой рамы вокруг продольной оси, а одновременное их действие -

подъем или опускание ее заднего конца. Гидроцилиндры 5 обеспечивают вынос отвала в сторону от продольной оси Автогрейдера (рисунок 11.9).

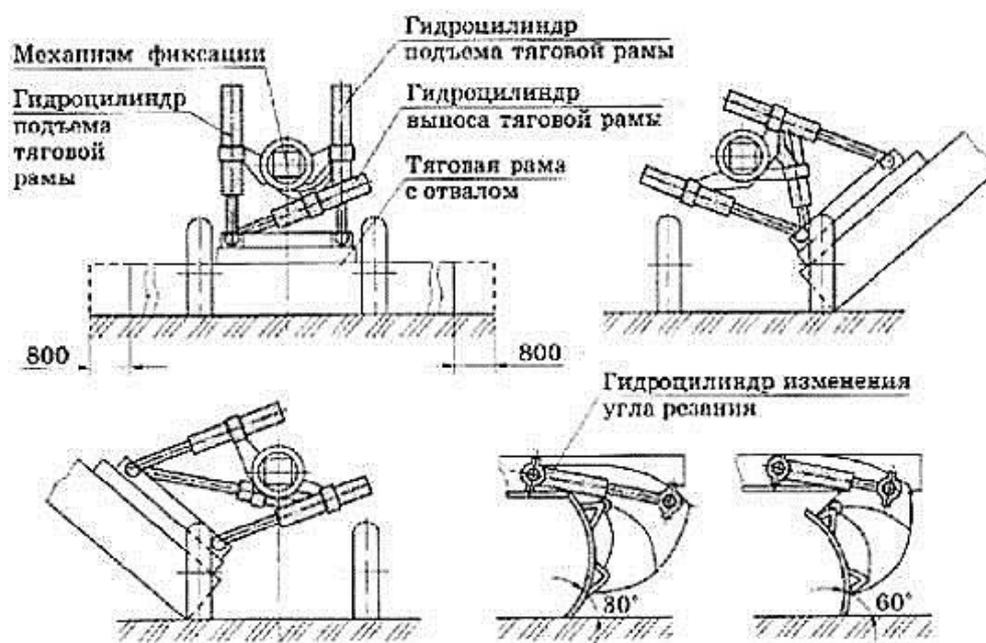


Рисунок 11.9 - Схема рычагов и гидроцилиндров при различных положениях отвала

Основным рабочим оборудованием является грейдерный отвал 10 с ножами. С помощью кронштейнов его крепят к установленному на тяговой раме поворотному кругу 9.

Тяговую раму выполняют треугольной или Т-образной коробчатого сечения. Её передняя часть соединена с основной рамой 7 шаровым шарниром, а задняя часть обычно заканчивается поперечиной с приваренными кронштейнами, имеющими сферические шарниры за которые тяговую раму подвешивают к основной с помощью гидроцилиндров.

На тяговой раме с помощью трех поддерживающих кронштейнов укрепляют поворотный круг с зубчатым венцом (внутреннего зацепления). Обычно применяют механизм поворота в виде червячного редуктора с цилиндрической шестерней на выходном валу, которая входит в зацепление с зубчатым венцом поворотного круга (рисунок 11.10).

Гидропривод рабочих органов включает в себя управление следующими ра-

бочими операциями: подъемом-опусканием отвала и рыхлителя (или бульдозера), боковым выносом отвала, поворотом отвала, наклоном передних колес, установкой угла резания.

Конструкция отвала представляет собой жёсткую балку коробчатого сечения, состоящую из изогнутого по радиусу основного листа, усиленного с задней стороны коробкой. Вдоль передней нижней кромки и по торцам к отвалу крепятся ножи, имеющие двухстороннюю заточку.

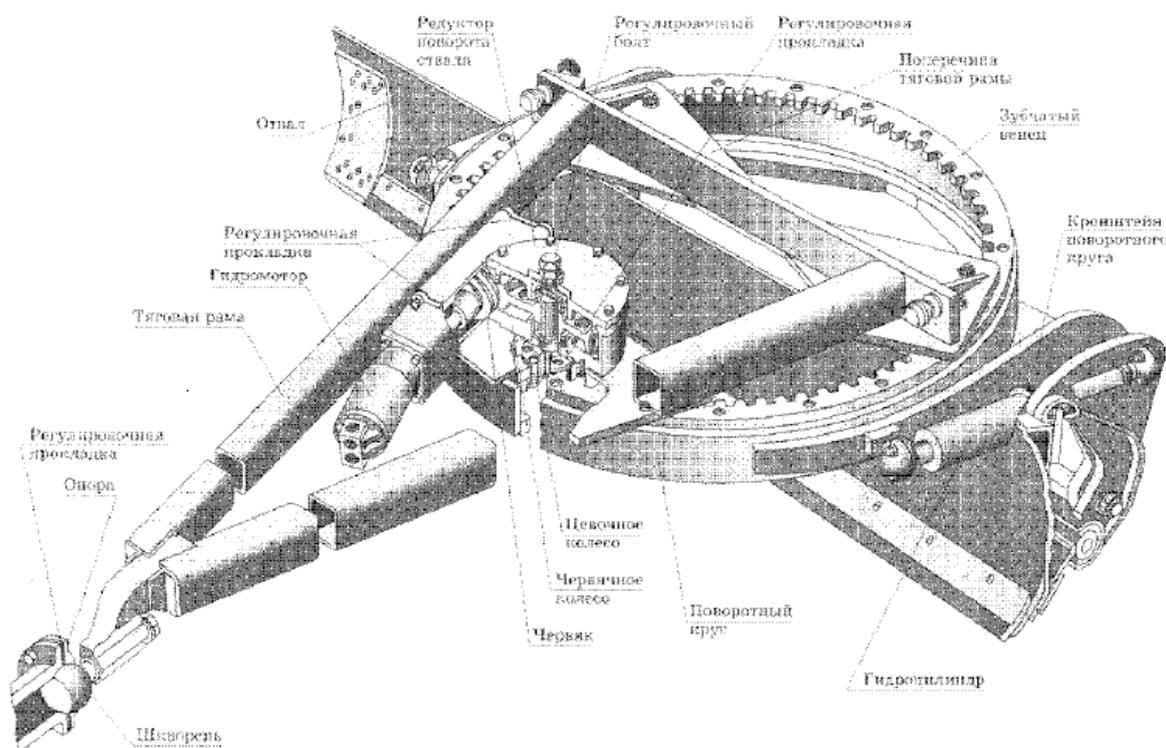


Рисунок 11.10 - Тяговая рама с отвалом

По торцам отвала предусмотрена возможность установки удлинителей и откосников. Кроме того, крепление отвала к поворотному кругу обеспечивает его перестановку для несимметричного расположения относительно продольной оси. К основным параметрам отвала (рисунок 11.11) относят его длину Z и высоту $H_{от}$. Длина должна обеспечивать вырезание стружки и её перемещение на необходимое расстояние, а высота - формирование валика грунта и его перемещение перед отвалом.

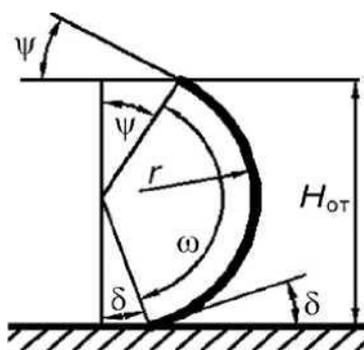
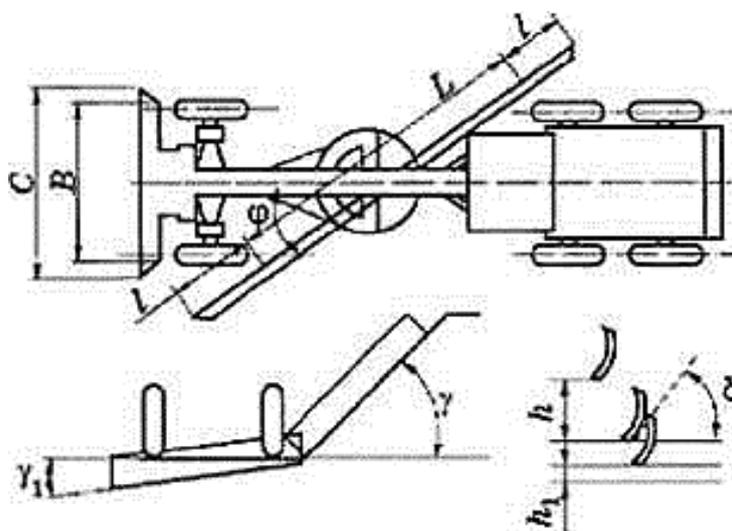


Рисунок 11.11- Параметры отвала

Они связаны с параметрами (рис. 11.12) и характеристиками автогрейдеров (таблица 11.1).



H_1 - дорожный просвет под отвалом, м; L - длина отвала, м; l -боковой вынос отвала, м; h - заглубление отвала, м; β - угол резания; γ_1 - угол срезания откосов; γ - угол наклона отвала; ϕ - угол захвата отвала; $L_{o'}$ - колесная база, м;

L_1 - база балансира, м; A, B, C, D - габариты автогрейдера. м

Рисунок 11.12 – Основные параметры автогрейдеров

Таблица 11.1 - Основные характеристики автогрейдеров

Тип автогрейдера	Масса, т	Мощность W , кВт	L , мм	$H_{от}$, мм
Легкий	9	45-55	< 3000	< 500
Средний	10-13	65-75	3000-3400	500
Тяжелый	14-19	120-130	3400-3700	500-600
Особо тяжелый	>20	270-320	3600-4300	600-700

Отвалы (см. рис. 11.11) изготавливают с радиусом постоянной кривизны, который связан с высотой отвала соотношением

$$r = \frac{H_{от}}{\cos\psi + \cos\delta} \quad (11.1)$$

где ψ - угол опрокидывания;

δ - угол резания.

Эти углы связаны между собой соотношением

$$\delta + \psi + \omega = \pi \quad (11.2)$$

где ω - угол дуги отвала.

Угол резания δ отвала в зависимости от вида работ изменяется в пределах 30-80°, но обычно принимают $\delta = 30...45^\circ$. Угол опрокидывания ψ принимают в пределах $\psi = 65...70^\circ$, чтобы исключить пересыпание грунта через отвал.

Кроме этих углов, важное значение имеет угол захвата грунта φ (в плане) (рисунок 11.13). Его значения зависят от вида выполняемых работ:

- при вырезании грунта - $\varphi = 30...40^\circ$;
- при перемещении грунта в сторону - $\varphi = 65...75^\circ$;
- при планировочных работах - $\varphi = 90^\circ$.

Размер базы L_0 . ширину колеи B_0 выбирают такими, чтобы машина имела условие полноповоротности отвала.

- Поэтому

$$L_0^{min} = D_k \sqrt{L^2 - B_0^2 + 2l_k} \quad (11.3)$$

- где l_k - минимальный зазор между колесом и отвалом ($l_k = 0,05$ м). Для трехосного автогрейдера

$$L_0^{min} = L_0^{min} + \frac{D_k}{2} + \frac{L_1}{2} \quad (11.4)$$

где L_l - расстояние между осями ведущих колес, м.

Обычно принимают $L_0^{min} = (1,4...1,7)L$.

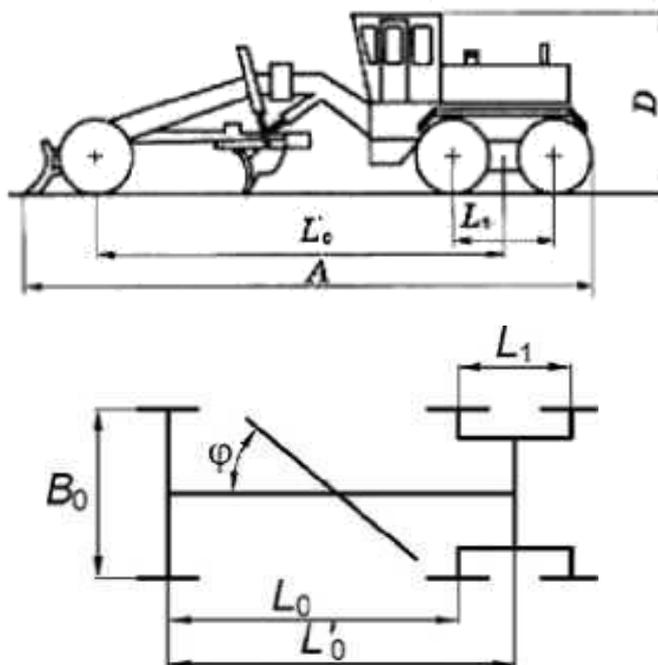


Рисунок 11.13 - Схема автогрейдера

Параметры автогрейдера. Главным параметром автогрейдера является его масса или сила тяжести G_a . К основным параметрам относятся сила тяги $T_{сц}$, мощность двигателя N , рабочая и транспортная скорости v_p и $v_{тр}$, параметры отвала ($L, H_{от}, r$), колея B_0 и база L_0 автогрейдера.

Сила тяги по сцеплению $T_{сц}$ может быть определена по сцепной силе тяжести $G_{сц}$

$$T_{сц} = \varphi_{сц} G_{сц} \quad (11.5)$$

где $\varphi_{сц}$ - коэффициент сцепления с грунтом (в зависимости от типа грунта $\varphi_{сц} = (0,6...0,9)$).

В свою очередь

$$G_{\text{сц}} = \zeta G_a \quad (11.6)$$

где ζ - коэффициент колесной схемы ($\zeta = 0,75; 1,0$).

С другой стороны, сила тяжести автогрейдера может быть определена по силе тяги T , которая используется для срезания грунта при профилировании кювета

$$T = K_p S_c \quad (11.7)$$

где K_p - удельное сопротивление грунта резанию ($K_p = 0,20 \dots 0,24$ МПа);

S_c - площадь поперечного сечения стружки. M^2 .

С учетом того, что кювет вырезают за n проходов среза стружки

$$n S_c = K_c \quad (12.8)$$

где K_c - коэффициент учета неравномерности сечения стружки ($K_c = 1,3$);

S - площадь сечения кювета, m^2 .

Отсюда

$$T = \frac{K_p K_c S}{n} \quad (11.9)$$

Так как $T = T_{\text{сц}}$. То

$$\xi \varphi_{\text{сц}} G_a = \frac{K_p K_c S}{n} \quad (11.10)$$

Из уравнения (11.10) получаем значение силы тяжести автогрейдера

$$G_a = \frac{K_p K_c S}{n \xi \varphi_{\text{сц}}} \quad (11.11)$$

Мощность двигателя N затрачивается на резание (полезная работа), буксование и передвижение автогрейдера:

$$N = \frac{G_a V_p}{K_H \eta} \left[\xi \varphi_{\text{сц}} + (\varphi_{\text{сц}} + f) \xi \frac{\delta}{1-\delta} + f \right] \quad (11.12)$$

где K_H - коэффициент уменьшения мощности из-за неустановившейся нагрузки;

$$\eta - \text{КПД привода, } \eta = \begin{cases} 0,83 \dots 0,86 - \text{ для механического,} \\ 0,73 \dots 0,76 - \text{ для гидродинамического;} \end{cases}$$

f - коэффициент сопротивления качению (передвижению) ($f = 0,07 \dots 0,10$);

δ - коэффициент буксования ($\delta = 0,18 \dots 0,22$)

Затем мощность N проверяют по транспортному режиму, т.е. определяют максимальную транспортную скорость

$$v_{\text{тр.макс}} = \frac{N \eta}{f G_a} \quad (11.13)$$

где $f = 0,04 \dots 0,05$ (твердое покрытие). Она не должна превышать предельно допустимой скорости $[v_{\text{тр}}] = 30 \dots 50$ км/ч.

Эксплуатационную производительность $\Pi_э$ автогрейдера определяют в зависимости от вида выполняемых земляных работ:

1) по объёму вырезанного и перемещенного грунта

$$\Pi_э = \frac{V}{T_{\text{ц}}} \quad (11.14)$$

где $T_{\text{ц}}$ - время цикла, с.

$$T_{\text{ц}} = T_{\text{рез}} + T_{\text{пер}} + 2t_{\text{пов}} \quad (11.15)$$

$T_{рез}$, - время резания грунта, с;

$T_{пер}$ - время перемещения грунта, с;

$t_{пов}$ - время, затрачиваемое на повороты, с.

2) по длине участка профилирования

$$P_{э} = K_B \frac{L_{п}}{T_{ц}} \quad (11.16)$$

$$T_{ц} = \frac{nL_{п}}{v} + t_{пов}(n - 1) \quad (11.17)$$

где $L_{п}$ - длина участка профилирования, м;

v - рабочая скорость автогрейдера, м/с;

n - число проходов, $n = 10... 16$.

Расчет рабочих механизмов проводится следующим образом:

- выбирается тип привода управления;
- составляется кинематическая схема;
- вычерчиваются в масштабе механизмы и приводы;
- определяются исполнительные скорости движения;
- определяются мощность и передаточные отношения каждого механизма;
- устанавливается общая мощность привода управления.

Расчеты на прочность элементов конструкции автогрейдера производят для двух случаев:

- 1) работа в типичных условиях;
- 2) встреча с труднопреодолимым препятствием.

При расчете сил сопротивления движению автогрейдера, как правило, исходят из наиболее сложных условий работы - копания и перемещения грунта. Возможность преодоления возникающих при этом сопротивлений определяют максимальным значением окружной силы на ведущих колесах $P_{o,max}$. величина которой ограничивается условием сцепления шин с грунтом.

$$\varphi_{\text{сц}} G_{\text{сц}} \geq P_{\text{o.max}} \geq W \quad (11.18)$$

где W - суммарное сопротивление движению при работе автогрейдера, Н.

В свою очередь, W при рабочем режиме автогрейдера включает следующие наиболее значимые силы сопротивления:

- 1) W_p - сопротивление грунта резанию

$$W_p = K_p F_c \quad (11.19)$$

В этом случае и K_p , и F_c зависят от вида работы: планировочные работы или резание;

- 2) $W_{\text{п}}$ - сопротивление перемещению призмы волочения

$$W_{\text{п}} = f_1 G_{\text{пр}} \sin \varphi \quad (11.20)$$

где f_1 - коэффициент трения грунта по грунту;

$G_{\text{пр}}$ - сила тяжести призмы волочения. Н.

$$G_{\text{пр}} = \rho_r L g \frac{(H_{\text{от}} - 0,25h)^2}{2K_p t g \varepsilon} \quad (11.21)$$

- 3) $W_{\text{пер}}$ - сопротивление перемещению автогрейдера как тележки.

$$W_{\text{пер}} = G_a (f \pm i) \quad (11.22)$$

где G_a - сила тяжести автогрейдера. Н;

f - коэффициент сопротивления качению (передвижению);

i - уклон;

- 4) $W_{\text{в}}$ - сопротивление грунта при движении вверх по отвалу

$$W_{\text{в}} = f_2 G_{\text{пр}} \cos^2 \delta \sin \varphi \quad (11.23)$$

где f_2 - коэффициент трения грунта по отвалу $f_2 = (0,5...0,6)$;

δ - угол резания;

5) $W_{вд}$ - сопротивление грунта при движении вдоль отвала (в сторону)

$$W_{вд} = f_1 f_2 G_{пр} \cos \varphi \quad (11.24)$$

где f_2 - коэффициент трения грунта по грунту $f_2 = 0,5... 1,0$).

Определение нагрузок на элементы конструкции автогрейдера.

Рассматриваются два расчетных положения:

1) работа в обычных условиях эксплуатации:

2) встреча с труднопреодолимым препятствием с учетом действия случайных нагрузок.

В обоих случаях учитывают действие инерционных сил.

Расчетным положением (рисунок 11.14) для Автогрейдера с колесной формулой 1х2х3 является работа с поперечным уклоном X при резании передним концом отвала, когда передний мост вывешен и упирается в край кювета, а задние колеса буксуют на месте.

В этом положении развиваются максимальные нагрузки.

Принимаются следующие допущения:

1) все реактивные силы (на задних колесах) приложены в точке O ; (проекция оси качания балансирной тележки на опорную поверхность);

2) реакции грунта на колеса равны и перенесены на осевые линии;

3) коэффициенты сопротивления передвижению (качению) на всех колесах одинаковы;

4) реакции грунта приложены в точке O ;

5) сила тяжести и инерционная сила находятся в центре тяжести автогрейдера.

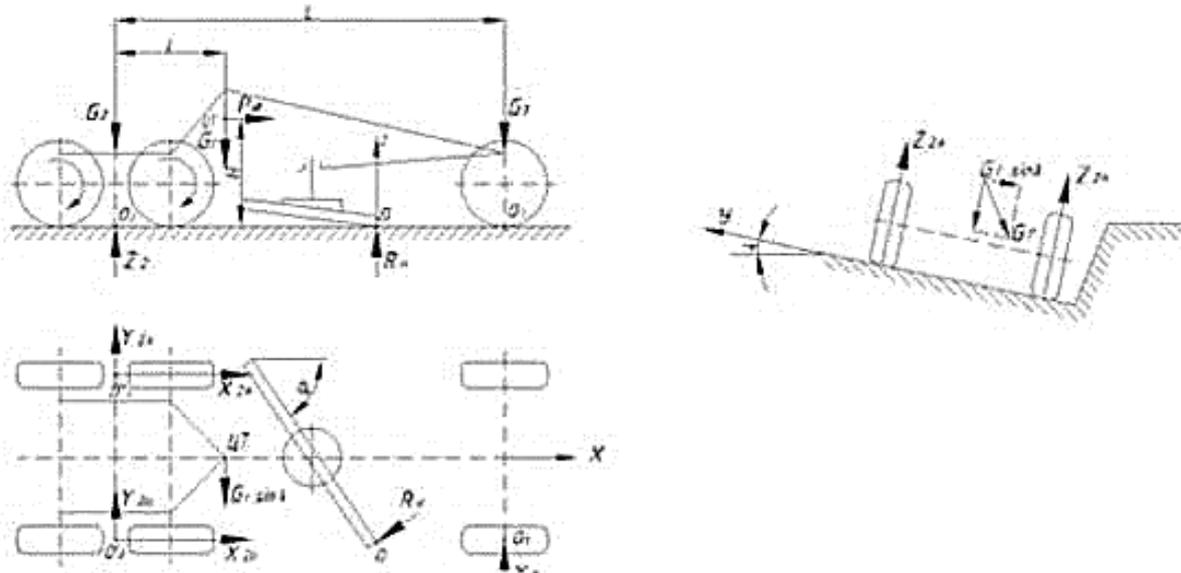


Рисунок 11.14 - Силы, действующие на автогрейдер

Таким образом, силы, действующие на автогрейдер:

$G_a = G_1 + G_2$ - сила тяжести автогрейдера;

P_n - сила инерции автогрейдера;

R_k, R_n - касательная и нормальная составляющие сопротивления грунта резанию.

Реакции грунта на колеса:

$Z_2 = Z_{2л} + Z_{2п}$ - нормальные реакции грунта на задние колеса;

$Y_2 = Y_{2л} + Y_{2п}$ - касательные реакции грунта на задние колеса;

Y_1 - реакция грунта на переднюю ось;

$X_2 = X_{2л} + X_{2п}$ - свободная сила тяги правых и левых задних колес.

Свободную силу тяги находят как разность между тяговым усилием T и сопротивлением передвижению (перекатыванию) колес

$$X_{2п} + X_{2л} = X_2 = T - G_a f \quad (11.25)$$

Координаты центра тяжести можно найти по зависимостям

$$H = r_c + 0,5m \quad (11.26)$$

$$L = (0,25 \dots 0,3)L \quad (12.27)$$

где r_c - силовой радиус колеса, м.

Силу инерции можно определить по формуле

$$P_{и} = (K_{д} - 1)\varphi_{\max}G_2 \quad (12.28)$$

где $K_{д}$, - коэффициент динамичности ($K_{д} = 1,16 \dots 1,20$);

φ_{\max} - максимальный коэффициент использования сцепной силы тяжести, $\varphi_{\max} = 0,85$.

Составляя и решая совместно уравнения равновесия системы, можно получить значения неизвестных величин R_k , Z_2 , Y_1 и Y_2), необходимых для дальнейших расчетов ($R_H = 0,5 R_k$)

$$\begin{cases} \int_{i=1}^n X_i = 0; & \int_{i=1}^n Y_i = 0; & \int_{i=1}^n Z_i = 0; \\ \int_{i=1}^n M_{Yi} = 0; & \int_{i=1}^n M_{Zi} = 0; \end{cases} \quad (12.29)$$

К основным направлениям развития автогрейдеров следует отнести, прежде всего, расширение типоразмерных рядов и создание автогрейдеров различной мощности, спроектированных по единой компоновочной схеме. В настоящее время появились машины большой и особо большой мощности, предназначенные для содержания карьерных дорог, а также миниавтогрейдеры мощностью 30-50 кВт для работ малого объема.

Наряду с расширением типоразмерных рядов автогрейдеров их совершенствование идет в следующих направлениях:

1) повышение комфортности условий труда оператора созданием новых шумоизолируемых кабин с установкой кондиционера, систем защиты оператора от падающих предметов и опрокидывания, улучшением обзорности;

- 2) создание систем микропроцессорного управления машиной, позволяющих взять полностью на себя диагностический контроль в процессе работы всех основных узлов, управлять загрузкой двигателя, вовремя переключать передачи для минимизации расхода топлива;
- 3) активизация (автоматическое подключение привода) передних колес Автогрейдера с микропроцессорным управлением их работой;
- 4) повышение надежности и долговечности автогрейдеров;
- 5) развитие модульного метода создания машин, позволяющего успешно применять агрегатный ремонт, упрощающий уход и обслуживание;
- 6) автоматизация управления положением отвала для обеспечения заданных продольной ровности и поперечного уклона профилируемой поверхности;
- 7) расширение технологических возможностей посредством замены отвала на агрегаты для фрезерования старого и укладки нового дорожного покрытия, а также агрегатирования различного сменного оборудования.

11.2 Устройство автогрейдеров на примере конкретных производителей

Автогрейдеры в РФ производят на ОАО «Брянский Арсенал», ЗАО «Челябинские строительно-дорожные машины», ЗАО «Дормаш» (г. Орел). Производство легких двухосных автогрейдеров, предназначенных для выполнения малых объемов работ, осуществляет ОАО «Брянский Арсенал» и холдинговая компания «Строительные Машины и Механизмы» (СММ - Холдинг, г. Брянск).

Автогрейдер А120 класса 140 производства ЗАО «ЧСДМ», рис. 11.15, с колесной формулой 1х2х3 используется для выполнения землеройных и профилирующих работ в дорожном строительстве на грунтах I, II, III, IV категорий. Автогрейдеры широко применяются в железнодорожном, аэродромном, мелиоративном, ирригационном и гидротехническом строительстве.

Автогрейдер изготавливается в двух исполнениях в зависимости от климатических условий: обычное исполнение – для эксплуатации в средних широтах

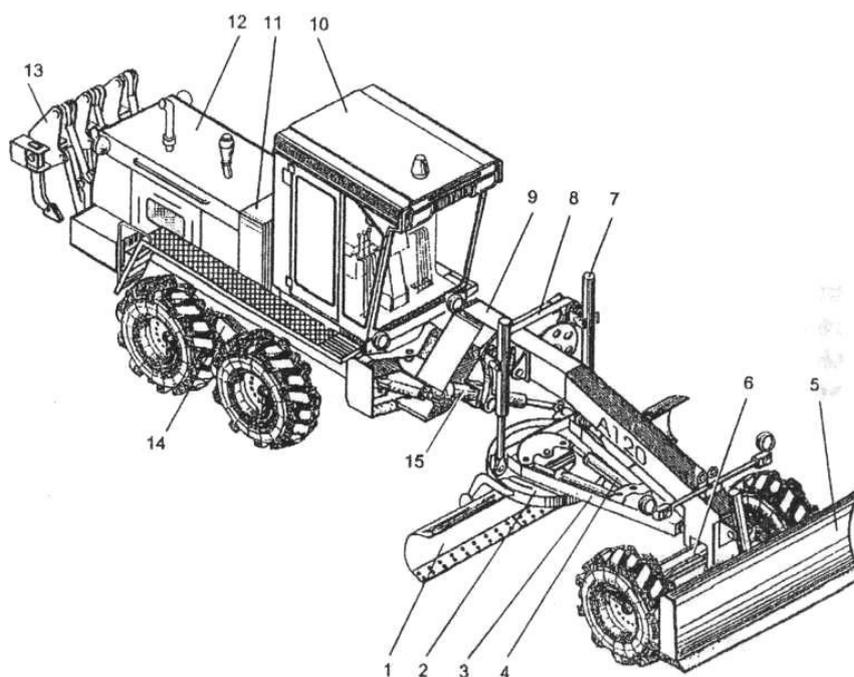
при температуре окружающей среды от минус 45 до плюс 40°C; тропическое исполнение – для эксплуатации в районах с тропическим влажным и сухим климатом. Техническая характеристика автогрейдера приведена в приложении. Модификации и комплектации автогрейдера приведены в табл. 11.2.

Таблица 11.2 - Отличительные индексы моделей автогрейдеров А120

Наименование	Двигатель		Дополнительное рабочее оборудование
	А-01МС-3	ЯМЗ-236М2	
Базовая модификация	А120.00000	А120.10000	-
Комплектации	А120.00010	А120.10010	С неповоротным отвалом и рыхлительным оборудованием
	А120.00020	А120.10020	С неповоротным отвалом
	А120.00030	А120.10030	С кирковщиком
	А120.00040	А120.10040	Снегоочистительное
	А120.00050	А120.10050	С поворотным отвалом

Автогрейдер А120 является самоходной колесной дорожно-строительной землеройной машиной. Основное рабочее оборудование автогрейдера – установленный на тяговой раме отвал 1 (рис. 11.15). Тяговая рама 3 с помощью подвески 8 и гидроцилиндров 7 и 15, а в передней части с помощью шарового шарнира крепится на раме 9 автогрейдера. Подвеска обеспечивает вынос тяговой рамы с отвалом по обе стороны автогрейдера до вертикального положения отвала.

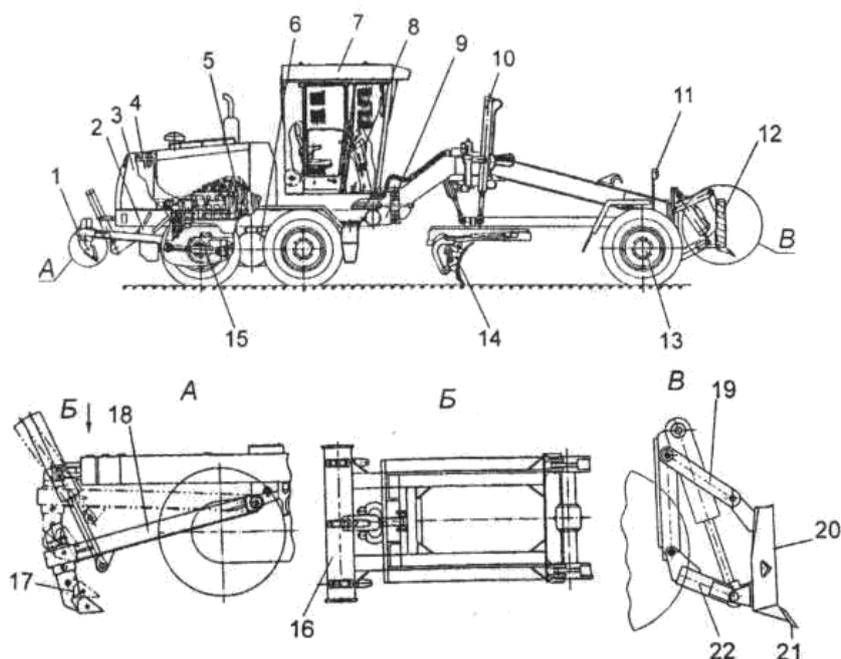
Поворот отвала в горизонтальной плоскости осуществляется гидроцилиндрами 4, которые вращают поворотный круг 2 с отвалом. Выдвижение отвала относительно тяговой рамы в обе стороны производится с помощью гидроцилиндра. На автогрейдере устанавливается дополнительное рабочее оборудование. Все модели автогрейдера максимально унифицированы и отличаются двигателем и (или) дополнительным рабочим оборудованием.



1 - отвал; 2 - поворотный круг; 3 - тяговая рама; 4 - гидроцилиндры поворота отвала; 5 - бульдозерное оборудование; 6 - передний мост; 7 - гидроцилиндр; 8 - подвеска тяговой рамы; 9 - рама автогрейдера; 10 - кабина; 11 - бак; 12 - капот; 13 - рыхлительное оборудование; 14 - балансирующая тележка (задние мосты); 15 – гидроцилиндр.

Рисунок 11.15 - Автогрейдер А120 производства ЗАО «ЧСДМ»

На автогрейдере устанавливаются 6-ти цилиндровый дизельный двигатель А-01МС-3 или ЯМЗ-236М2, которые располагаются в задней части основной рамы. Автогрейдер ДЗ-122Б класса 140 производства ЗАО «Дормаш» (г. Орел), с колесной формулой 1х2х3 используется для выполнения землеройных и профилирующих работ в дорожном, железнодорожном, аэродромном, мелиоративном, ирригационном и гидротехническом строительстве. Автогрейдеры широко применяются на работах по очистке дорог и территорий от снежных заносов; по ремонту и содержанию городских и автомобильных дорог.



1 - кирковщик; 2 - гидромеханическая передача; 3 - капот; 4 - топливный бак; 5 - двигатель; 6 - задняя тележка; 7 - кабина; 8 - рулевое управление; 9 - рама; 10 - гидросистема; 11 - электрооборудование; 12, 20 - бульдозерный отвал; 13 - мост передний; 14 - грейдерный отвал; 15 - карданная передача; 16 - корпус; 17 - кирка; 18, 22 - рама; 19 - серьга; 21 – нож.

Рисунок 11.16 - Автогрейдер ДЗ-122Б производства ЗАО «Дормаш»

Автогрейдер (рис. 11.16) имеет пневмоколенный движитель с тремя осями, из которых две ведущие и одна управляемая. Основным рабочим органом автогрейдера является отвал, который имеет универсальную установку в пространстве для производства работ, характерных для автогрейдера, дополнительными – бульдозерный отвал и кирковщик. В состав автогрейдера входят шарнирно-сочлененная рама 9 (для автогрейдера ДЗ- 122Б-6) или жесткая (для автогрейдера ДЗ-122Б-7), на которой установлены двигатель 5, гидромеханическая передача 2 (для автогрейдера ДЗ-122Б- 1) или механическая коробка передач (для автогрейдера ДЗ-122Б-6/7), карданная передача 15, задняя тележка 6, мост управляемый 13, рулевое управление 8, гидросистема 10, кабина 7, электрооборудование 11, грейдерный овал 14, бульдозерный отвал 12, кирковщик 1.

На автогрейдер ДЗ-122Б-1 установлен рядный четырехцилиндровый ди-

зельный двигатель фирмы «Deutz» BF04M1013EC. На двигателе установлен шестеренный насос для привода гидросистемы колесных тормозов. Гидромеханическая передача 13.9HR24651 фирмы «Dana» (Бельгия) обеспечивает автоматическое бесступенчатое изменение крутящего момента от двигателя к ведущему мосту автогрейдера с переключением передач под нагрузкой. На автогрейдере установлен сдвоенный шестеренный насос для привода гидросистемы рабочего оборудования и рулевого механизма с отбором мощности с носка коленчатого вала посредством карданного вала.

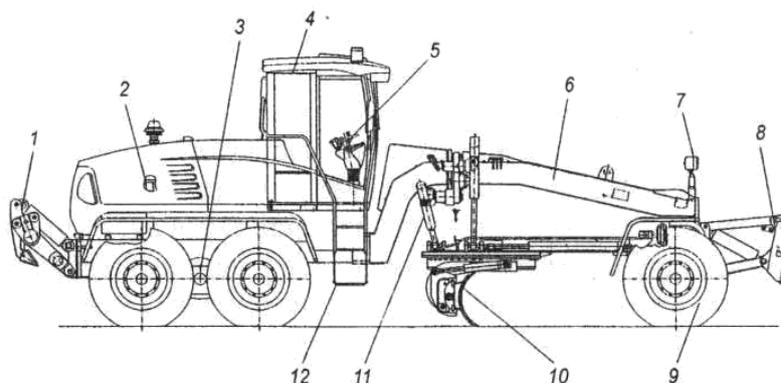
На автогрейдере ДЗ-122Б-6 (ДЗ-122Б-7) установлен V-образный шестицилиндровый дизельный двигатель ЯМЗ-236М2 производства ОАО «Автодизель». В трансмиссию автогрейдера входят муфта сцепления, карданная передача, коробка передач и задний мост. Муфта сцепления двухдисковая, постоянно замкнутого типа, с механическим приводом, в состав которого входит гидроусилитель. Карданная передача состоит из двух карданных валов. Верхний карданный вал передает вращение от коленчатого вала двигателя к первичному валу коробки передач, нижний – от выходного вала коробки передач к главной передаче заднего моста. Коробка передач – механическая, обеспечивающая автогрейдеру шесть передач вперед и две назад. Передача крутящего момента от двигателя к заднему мосту и, соответственно, к колесам осуществляется двумя карданными валами. Верхний карданный вал соединяет фланцы муфты сцепления и первичного вала коробки передач, нижний вал соединяет фланцы нижнего вала коробки передач и заднего моста.

Задний мост ведущий, представляет собой балансирную тележку, в состав которой входят главная передача с самоблокирующимся дифференциалом, два балансира и планетарные колесные редукторы.

На автогрейдере имеется сдвоенный шестеренный насос гидросистемы рабочего оборудования, рулевого управления и тормозов. Управление автогрейдером осуществляется гидравлическим рулевым управлением (насосом-дозатором).

Автогрейдер ГС-14.03 класса 140 производства ОАО «Брянский Арсенал» с колесной формулой 1х2х3 предназначен для выполнения землеройных и земле-

ройно-профилировочных работ в дорожном, аэродромном и городском строительстве, для ремонта и содержания дорог и снегоочистительных работ. Автогрейдер работает на грунтах I-III категорий без предварительного рыхления при температуре от -40 до +40°С в условиях умеренного климата.



1 - рыхлитель-кирковщик; 2 - силовая установка; 3 - тележка задняя; 4 - кабина; 5 - система управления; 6 - рама передняя; 7 - электрооборудование; 8 - бульдозерное оборудование; 9 - передний мост; 10 - рабочий орган-отвал; И - гидророборудование; 12-подножка.

Рисунок 11.17 - Автогрейдер ГС-14.03

Автогрейдер ГС-14.03 (рис. 11.17) включает: основную раму, силовую установку, коробку передач, задний мост, передний мост, органы управления, гидравлическую и электрическую системы. На автогрейдере установлен дизельный двигатель ЯМЗ-236-Г6 для модели 723 или дизель Deutz BF4M1013FC для модели 724. Автогрейдер имеет гидромеханическую коробку передач. Задний мост представляет собой балансирную двухосную тележку со всеми ведущими колесами. Передний мост шарнирно соединен с основной рамой автогрейдера продольной осью. Шарнирно-сочлененная рама имеет механизм поворота (складывания). Рулевое управление состоит из гидроруля и привода к нему. Колеса заднего моста оборудованы дисковыми тормозами. Стояночный тормоз дискового типа установлен на входном валу тандемной тележки.

Гидросистема автогрейдера состоит из двух контуров: системы рулевого управления (с гидронасосом НШ-10, установленным на двигателе) и системы

управления тормозом и основной гидросистемы (с аксиально-поршневым нерегулируемым насосом 310.2.28.03.05, установленным на коробке передач). Гидро-распределитель, состоящий из 6-ти секций, установлен на раме.

Рабочее оборудование включает: рабочий орган-отвал, рыхлитель-кирковщик и бульдозерный отвал. Основными рабочими органами автогрейдера являются: грейдерный отвал, который имеет универсальную установку в пространстве для производства работ, специфичных для автогрейдера, и неповоротный бульдозерный отвал. Дополнительные рабочие органы — поворотный передний бульдозерный отвал и рыхлитель.

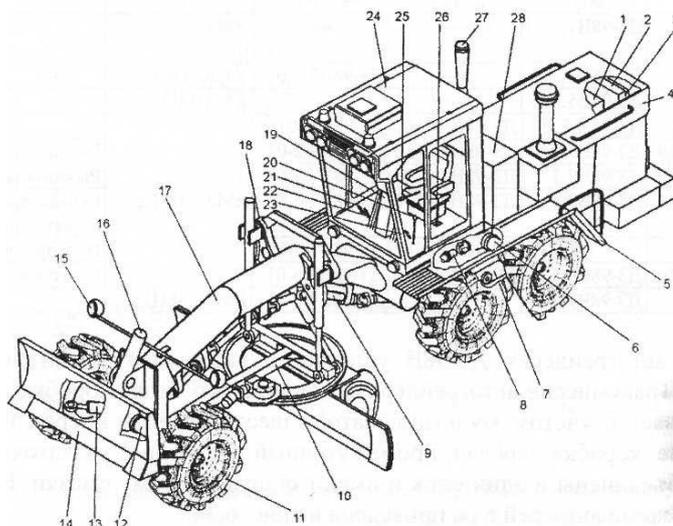
Основной рабочий орган грейдерный отвал состоит из тяговой рамы, поворотного круга, отвала и гидроцилиндров. С помощью переднего шарнира и гидроцилиндров тяговая рама соединяется с основной рамой. Снизу к тяговой раме крепится поворотный круг с двумя цапфами, на которых закреплены проушины штоков гидроцилиндров поворота круга.

Отвал закреплен в кронштейнах поворотного круга и с помощью гидроцилиндров может передвигаться по направляющим и поворачиваться, изменяя при этом угол резания. Поворотный круг с отвалом поворачивается в плане на 130° двумя гидроцилиндрами, соединенными последовательно. На отвале установлены четыре основных и два боковых ножа таким способом, что их рабочая поверхность совпадает с рабочей поверхностью отвала. Это способствует уменьшению сопротивления при резании и перемещении грунта. Подвеска гидроцилиндров позволяет устанавливать грейдерный отвал под углом 90° для срезания и планировки откосов.

Рыхлитель-кирковщик предназначен для рыхления асфальтовых покрытий, булыжных мостовых и тяжелых грунтов. Подъем и опускание рыхлителя осуществляется гидроцилиндрами.

Бульдозерный отвал неповоротный предназначен для продольного перемещения грунта и других материалов на расстояние до 10 м. Подвеска бульдозерного отвала параллелограммного типа. По заказу вместо неповоротного бульдозерного отвала может быть установлен поворотный бульдозерный отвал.

Автогрейдер ДЗ-98В класса 250 производства ЗАО «ЧСДМ», рис. 11.18, с колесной формулой 1х3х3 предназначен для выполнения землеройных и профилировочных работ в дорожном строительстве на грунтах I - IV категорий при строительстве и капитальном ремонте грунтовых и гравийных дорог, при очистке дорог и территорий от снежных заносов, в железнодорожном, аэродромном, мелиоративном, ирригационном и гидротехническом строительстве в условиях выполнения энергоемких земляных работ большого объема.



1 - силовая установка; 2 - система охлаждения и разогрева двигателя; 3 - система смазки двигателя; 4 - капот; 5 - установка крыльев; 6 - задний мост; 7 - задняя подвеска; 8 - карданный вал заднего моста; 9 - карданная передача; 10 - тяговая рама с отвалом; 11 - колесо; 12 - передний мост; 13 - рулевое управление; 14 - дополнительное рабочее оборудование; 15 - установка электрооборудования; 16 - гидросистема автогрейдера; 17 - рама; 18 - подвеска тяговой рамы; 19 - рулевая колонка; 20 - управление коробкой передач; 21 - управление всережимным регулятором; 22 - управление колесными тормозами; 23 - управление сцеплением; 24 - кабина; 25 - управление стояночным тормозом; 26 - пневматическая система; 27 - система всасывания и выхлопа; 28 - топливная система.

Рисунок 11.18 - Автогрейдер ДЗ-98В производства ЗАО «ЧСДМ»

Для работ на грунтах IV категории должны использоваться автогрейдеры с шинами 20.5-25 и с соответствующим типоразмером колеса. Автогрейдеры изго-

тавливаются в двух исполнениях: обычное исполнение – для эксплуатации в средних широтах при температуре окружающей среды от минус 45 до плюс 40° С; тропическое исполнение – для эксплуатации в районах с тропическим влажным и сухим климатом. Комплектации и модификации автогрейдера ДЗ-98 приведена в табл. 11.18.

Таблица 11.3 – Линейка автогрейдеров

Индекс модели				Двигатель	Дополнительное рабочее оборудование
с полноповоротным отвалом		с неполноповоротным отвалом			
с марта 2005 г.	до марта 2005 г.	с марта 2005 г.	до марта 2005 г.		
-	ДЗ-98В1...	-	-	ЯМЗ-8482.10-01	
-	ДЗ-98В3...	-	ДЗ-98В3...-01	У1Д6-ТК-С5	
-	ДЗ-98В5...	-	-	ЯМЗ-240Г	
ДЗ-98В.00000	ДЗ-98В.7	ДЗ-98В.00100	ДЗ-98В.7-01	ЯМЗ-238НДЗ	-
ДЗ-98В.00010	ДЗ-98В7.2	ДЗ-98В.00110	ДЗ-98В7.2-01		Бульдозерное
ДЗ-98В.00020	ДЗ-98В7.3	ДЗ-98В.00120	ДЗ-98В7.3-01		Рыхлительное
ДЗ-98В.00030	ДЗ-98В7.4	ДЗ-98В.00130	ДЗ-98В7.4-01		Бульдозерное, прилагается рыхлитель
-	-	ДЗ-98В.00140	ДЗ-98В7.5-01		Путепрокладочное
ДЗ-98В.00050	ДЗ-98В7.6	ДЗ-98В.00150	ДЗ-98В7.6-01		Снегоочистительное
-	ДЗ-98В9...	-	ДЗ-98В9...-01		ЯМЗ-238НД2

Автогрейдер имеет колесный движитель. Основным рабочим оборудованием автогрейдера является тяговая рама 10 с отвалом (рис.11.18). Тяговая рама 10 закреплена на передней и средней частях рамы 17 автогрейдера, соответственно с помощью шарового шарнира и подвески 18с гидроцилиндрами гидросистемы 16. Конструкция подвески 18 тяговой рамы обеспечивает установку отвала в вертикальное положение с обеих сторон автогрейдера. Тяговая рама имеет направляющие, по которым осуществляется боковой вынос отвала с помощью гидроцилин-

дра в обе стороны относительно тяговой рамы. Поворот отвала в горизонтальной плоскости, в зависимости от конструкции тяговой рамы, осуществляется гидромотором через редуктор поворота или гидроцилиндрами поворота отвала. Дополнительное рабочее оборудование устанавливается в зависимости от комплектации автогрейдера. Все модели унифицированы и отличаются рабочим оборудованием.

На автогрейдерах ДЗ-98В установлен дизельный двигатель ЯМЗ- 238НДЗ. Трансмиссия автогрейдера механического типа. Коробка передач обеспечивает с учетом мультипликатора шесть передач вперед и назад. Сцепление, коробка передач, промежуточный редуктор и раздаточный редуктор объединены в один блок и имеют общую систему смазки.

Вопросы для самоконтроля

1. Приведите классификацию грейдеров. Перечислите признаки классификации. Какое назначение машин различного класса?
2. Приведите и расшифруйте обозначение колесной формулы автогрейдеров.
3. Какое навесное оборудование может устанавливаться на автогрейдер?
4. Приведите технологические схемы работы автогрейдера.
5. Какое усилие должно быть на органах управления двигателем?
6. На какой скорости проводятся испытания тормозной системы автогрейдеров?
7. Для чего предназначена система сервоуправления?
8. Приведите принципиальную конструктивную схему гидротрансформатора, на каких землеройных машинах он применяется? Опишите принцип действия, а также укажите, какое влияние оказывает установка этого оборудования на работу землеройной машины.
9. Объясните работу гидромеханической трансмиссии автогрейдера.
10. Поясните работу гидромеханической коробки передач автогрейдера А120. Как переключаются передачи?
11. Приведите конструктивную схему грейдерного отвала.
12. Объясните работу гидравлической системы рабочего оборудования автогрейдера. Укажите назначение агрегатов.

13. Перечислите основные технико-экономические параметры, характеризующие автогрейдер как объект производства и орудие труда.

14. Перечислите составляющие, входящие в структурную модель продолжительности рабочего цикла автогрейдера.

15. Напишите формулу по определению оптимальной массы автогрейдера при заданной скорости копания.

16. Напишите формулу по определению оптимальной массы автогрейдера при заданной производительности.

17. Назовите виды производительности землеройных машин. Дайте характеристики параметров, определяющих производительность.

18. Приведите формулу по определению эксплуатационной производительности автогрейдера.

19. Как осуществляется выбор автогрейдера для заданных условий эксплуатации?

20. Сформулируйте цели и задачи тягового расчета автогрейдера. Дайте пример определения основных составляющих.

21. Назовите основные расчетные положения автогрейдера при расчете на прочность.

12 Экскаваторы. Общие сведения, классификация, устройство, основы теории

12.1 Одноковшовые экскаваторы

Одноковшовый экскаватор (от латинского *схсаво* - долбить) - это самоходная землеройная машина с рабочим органом в виде ковша, предназначенная для разработки грунтов и их перемещения в транспортное средство или в отвал.

Экскаватором называется самоходная машина на колесном, гусеничном или шагающем ходу, имеющая верхнюю часть, способную поворачиваться на 360°, со смонтированным рабочим оборудованием, предназначенная главным образом для копания с помощью ковша без перемещения ходовой части в течение всего рабочего цикла машины (ГОСТ Р ИСО 6165). В строительстве используют-

ся также мини-экскаваторы с эксплуатационной массой не более 6000 кг и экскаваторы-погрузчики (экскаваторы-бульдозеры), которые могут иметь неполноповоротную верхнюю часть.

Одноковшовый экскаватор является основной землеройной машиной в строительстве. Этими машинами выполняется около половины объемов земляных работ. Экскаваторы используют при строительстве промышленных и гражданских зданий и сооружений, автомобильных и железных дорог, аэродромов, гидротехнических систем и нефтепроводов, в карьерах при добыче строительных материалов и других полезных ископаемых. С их помощью отрывают котлованы, траншеи, каналы, а также разрабатывают выемки и насыпи и отделяют откосы и стенки.

Одноковшовые экскаваторы успешно работают в грунтах различной прочности. При разработке грунтов I-IV категорий они не нуждаются в предварительном рыхлении забоя. И только при работе в тяжелых мерзлых и скальных грунтах требуется проводить предварительное рыхление забоя взрывом или с помощью рыхлителей.

По назначению одноковшовые экскаваторы разделяют на строительные, строительно-карьерные, карьерные, вскрышные, для открытых горных и крупных гидротехнических работ, туннельные и шахтные. Строительные и строительно-карьерные экскаваторы имеют массу 2...250 т и оснащены ковшами вместимостью 0,1...6,0 м³. Они являются универсальными машинами. С их помощью выполняют большой комплекс строительных работ, в первую очередь, земляные работы в грунтах I-IV категорий.

Меняя вид рабочего оборудования, одноковшовыми экскаваторами можно разрабатывать грунт как выше, так и ниже уровня площадки их установки. Они могут оснащаться колесным, гусеничным или другим механизмом передвижения, иметь различный тип привода рабочего оборудования. Классификация одноковшовых экскаваторов приведена на рис. 3.1.

Одноковшовый экскаватор при наличии сменного рабочего оборудования (рис. 12.1) может производить планировочные, погрузочные, монтажные, уплот-

няющие и другие виды работ. Грейферы различной вместимости служат для рытья траншей, колодцев, котлованов и других работ, а также для разгрузки различных материалов. Пятичелюстные грейферы используют для погрузки несыпучих и сыпучих материалов, металлического лома, древесных материалов, шихты, отходов железобетона, для разборки завалов. Грейферы комплектуются ротатором с гидравлическим приводом. Для увеличения глубины захвата груза на грейфер может быть установлен удлинитель. Гидромолоты применяют для разрушения бетонных и железобетонных дорожных покрытий, сооружений из кирпича, неармированного и легкоармированного бетона и других работ, в том числе рыхления мерзлого и трамбования рыхлого грунта. Гидромолот имеет несколько видов сменного инструмента: клин для рыхления мерзлого грунта, взламывания дорожных покрытий, бетонных сооружений; пику; зубило для дробления негабаритов твердых и горных пород; трамбовку для уплотнения рыхлого грунта.

Рабочий процесс одноковшового экскаватора состоит из последовательно выполняемых операций:

- отделение грунта от массива;
- заполнение им ковша;
- транспортирование грунта в ковше к месту разгрузки;
- разгрузка грунта из ковша;
- возвращение ковша на исходную позицию.

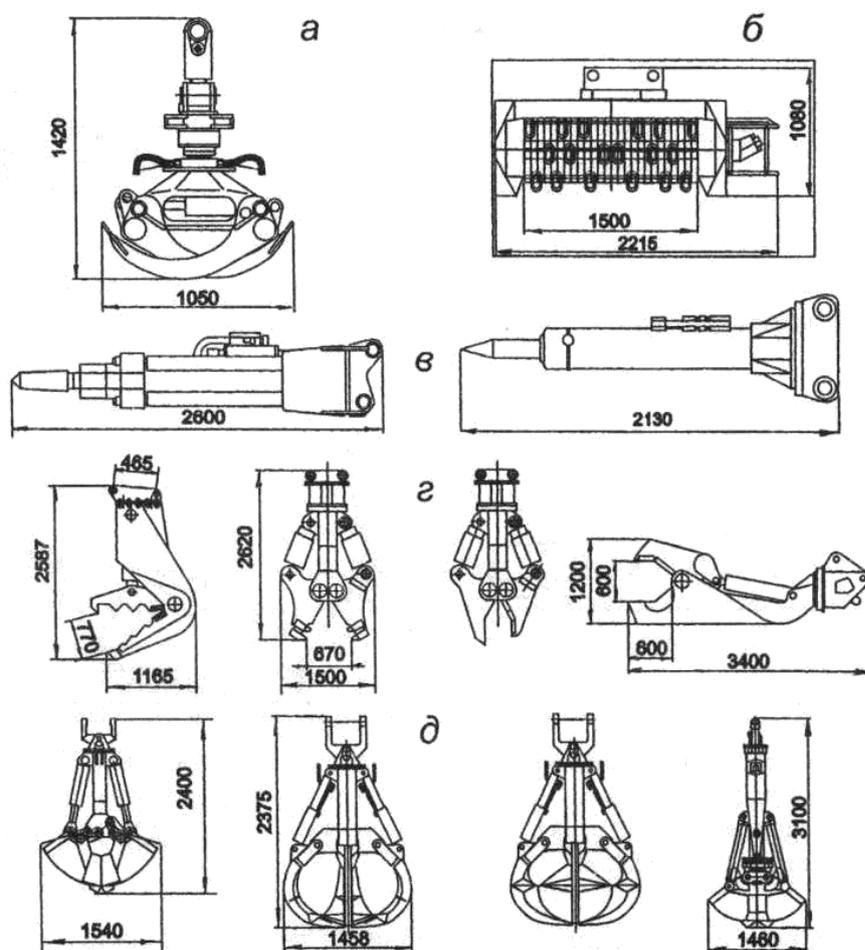
Совокупность этих операций составляет рабочий цикл одноковшового экскаватора (ОЭ), в результате чего выдаётся единица продукции – порция грунта, равная по объему вместимости ковша.

Одна из основных классификаций ОЭ различает их по следующим признакам:

1) по назначению:

- строительные - для выполнения земляных работ, погрузки и разгрузки сыпучих материалов;
- вскрышные - для снятия верхнего слоя грунта или горной породы перед карьерной разработкой;
- карьерные - для разработки карьеров строительных материалов и добычи полезных ископаемых открытым способом;

туннельные и шахтные - для работы под землей;



а - бревнозахват; *б* - кусторез; *в* - гидромолоты; *г* - гидр노жницы; *д* - грейферы для копания, скрапа и погрузки сыпучих грузов.

Рисунок 12.1 - Сменное рабочее оборудование экскаваторов

2) по ходовому оборудованию:

- гусеничные;
- пневмоколёсные;
- шагающие;
- рельсовые и др.;

3) по типу привода:

- одноприводные;
- многоприводные.

Строительные ОЭ имеют, как правило, одномоторную силовую установку с гидравлическим или комбинированным приводом, т.е. все механизмы приводятся от одного двигателя.

У карьерных и вскрышных экскаваторов, у шагающих драглайнов - много-моторная силовая установка;

4) по исполнению рабочего оборудования:

- с гибкой (канатной) подвеской;

- жесткой (гидравлической) подвеской;

- телескопическим рабочим оборудованием (для экскаваторов-планировщиков).

Обобщённая схема классификации одноковшовых экскаваторов представлена на рис. 12.2.

Наибольшее распространение имеют гидравлические ОЭ, производство которых составляет около 80 % от всех одноковшовых экскаваторов.

ОЭ - одна из немногих машин, индексация которой даст достаточно полное представление о машине. Эту индексацию, которая была разработана еще в советское время, до сих пор используют в странах СНГ. Она включает условные обозначения экскаватора (ЭО) и шесть индексов:

1) первая цифра после букв - это размерная группа, т.е. вместимость ковша (1 – 0,15-0,4 м³; 2 – 0,25-0,65 м³; 3 - 0,40-1,0 м³; 4 – 0,65-1,6 м³; 5 - 1,0-2,5 м³; 6 – 1,6-1,0 м³; 7 - 2,5-6,3 м³);

2) вторая цифра – ходовое устройство (1 – гусеничное, 2 - гусеничное уширенное, 3 – пневмоколесное, 4 - специальное шасси, 5 - автомобильное шасси, 6 - тракторное шасси);

3) третья цифра - рабочее оборудование (1 - с канатной подвеской. 2 - с гидравлической, 3 - телескопическое оборудование);

4) четвертая цифра - порядковый номер модели;

5) пятый индекс (буква А, Б, В и т. д.) - очередная модернизация;

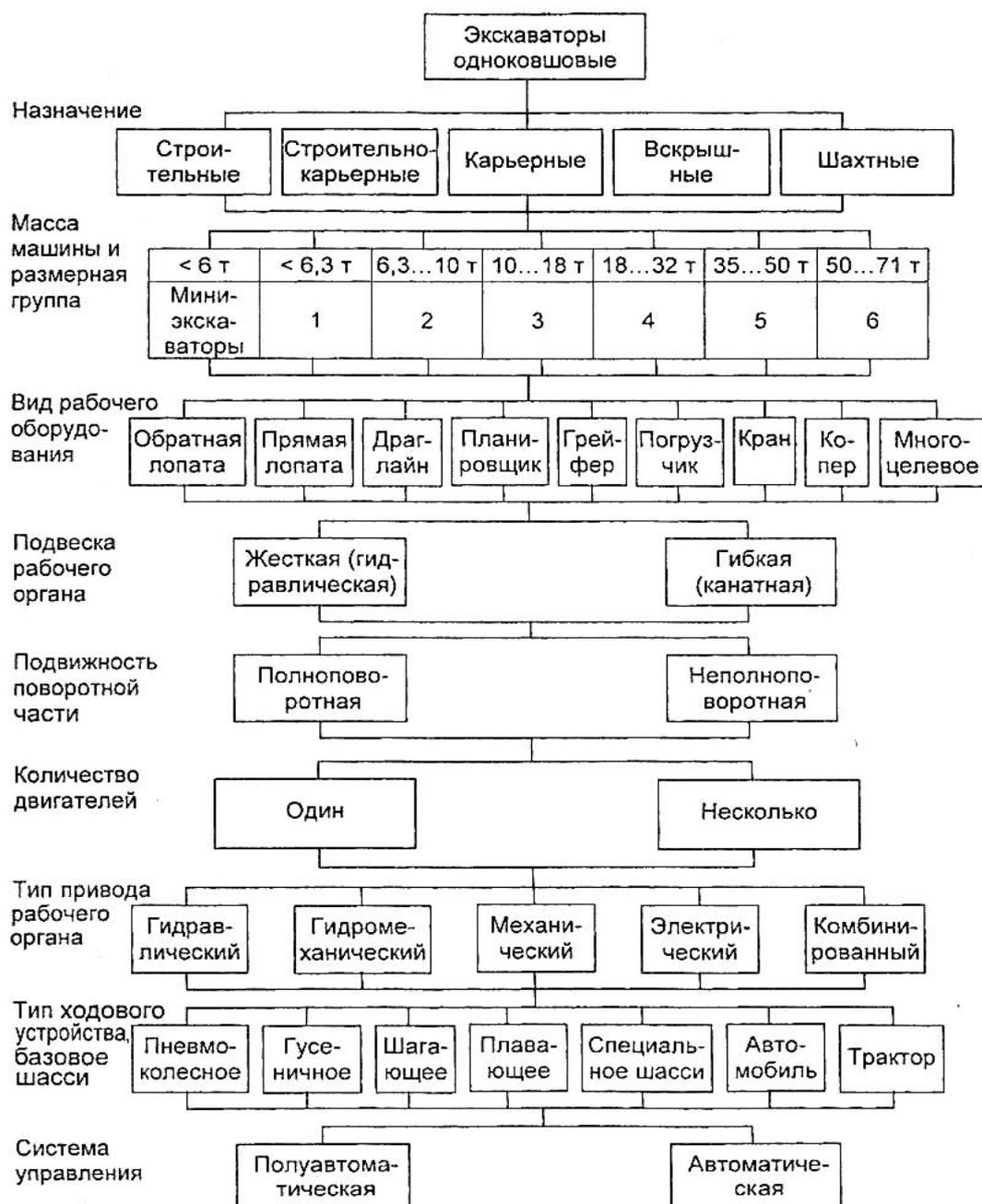


Рисунок 12.2 - Классификация одноковшовых экскаваторов

б) шестой индекс - климатическое исполнение (для районов с умеренным климатом обозначение отсутствует. ТВ - для тропического влажного климата, ТС - для тропического сухого, С - северное).

Например. ЭО-3112: одноковшовый экскаватор третьей размерной группы (0.40-1.0 м³), с гусеничным ходовым оборудованием, с канатной подвеской рабочих органов, вторая модель, для районов с умеренным климатом.

Одноковшовым экскаватором с гидравлическим приводом (рис. 12.3) назы-

вают экскаватор с жесткой подвеской рабочего оборудования, поскольку элементы рабочего оборудования соединены между собой и с базовой машиной жесткими шарнирными сочленениями.

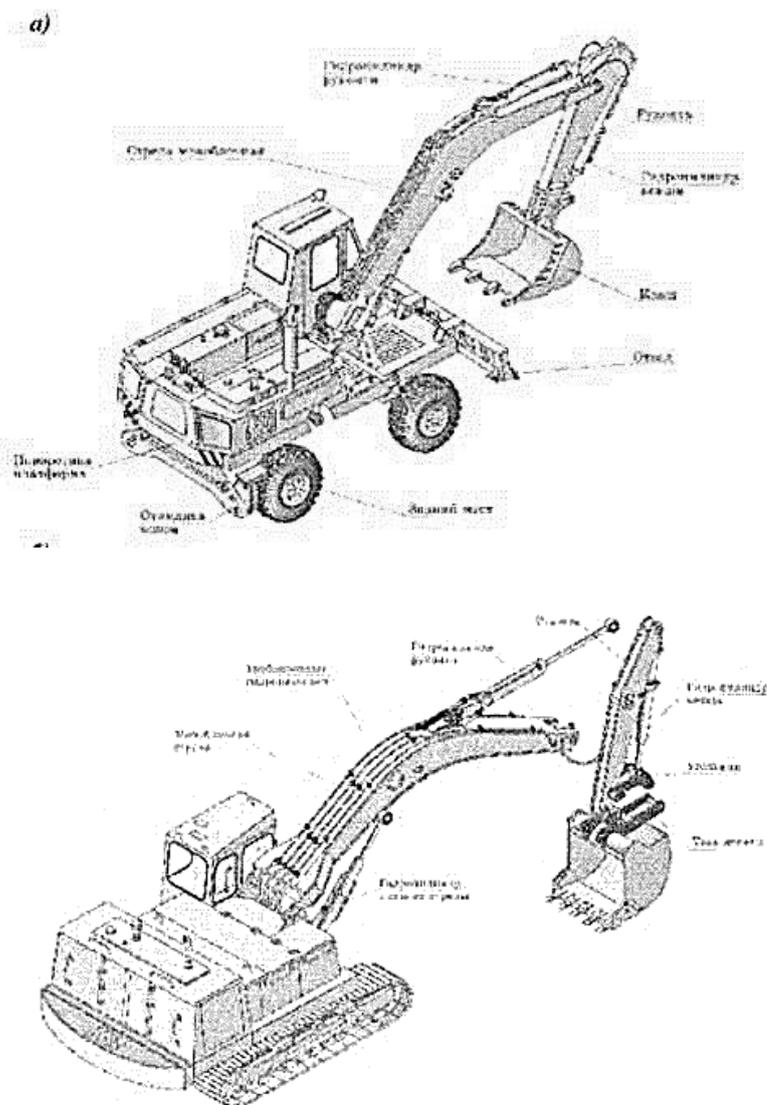
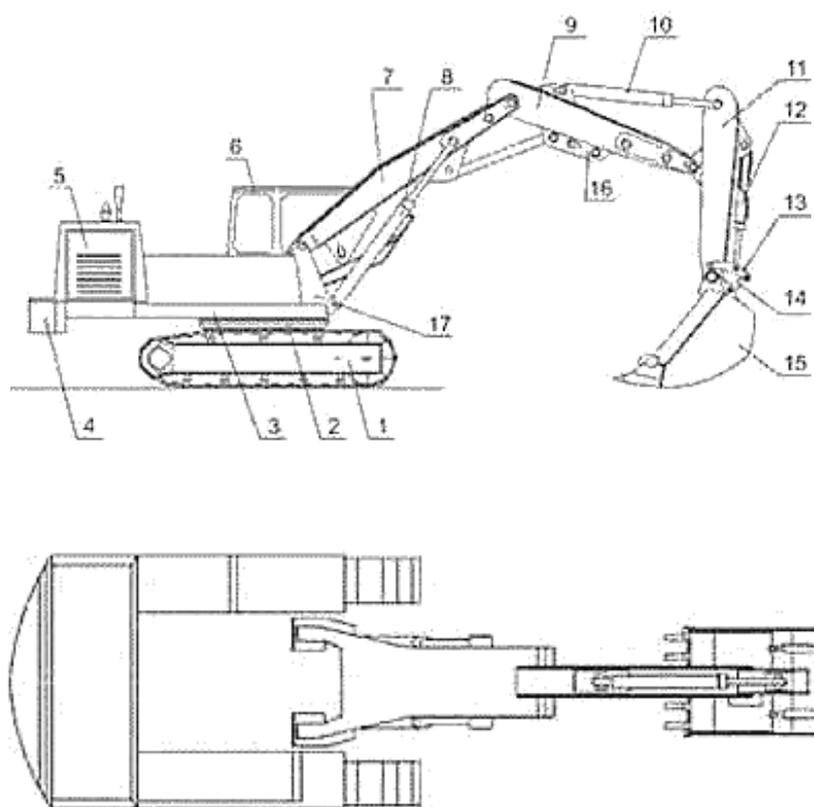


Рисунок 12.3 - Гидравлический полноповоротный одноковшовый экскаватор: *a* - на пневмоколёсном шасси; *б* - на гусеничном шасси

ГОЭ является машиной циклического действия и используется в основном для земляных и погрузочно-разгрузочных работ. Его привод включает двигатель внутреннего сгорания (как правило, дизельный), который располагают в задней части платформы, тем самым уменьшая массу противовеса (рисунок 12.4).



1 - ходовое устройство (гусеничное); 2 - опорно-поворотный круг; 3 - поворотная платформа; 4 - противовес; 5 - силовая установка; 6 - кабина; 7 - стрела (коренная секция); 8 - гидроцилиндры управления стрелой; 9 - стрела (удлиняющая секция); 10 - гидроцилиндр управления рукоятью; 11 - рукоять; 12 - гидроцилиндр управления ковшом; 13 - коромысло; 14 - тяга; 15 - ковш; 16 - перемычка; 17 – пилон.

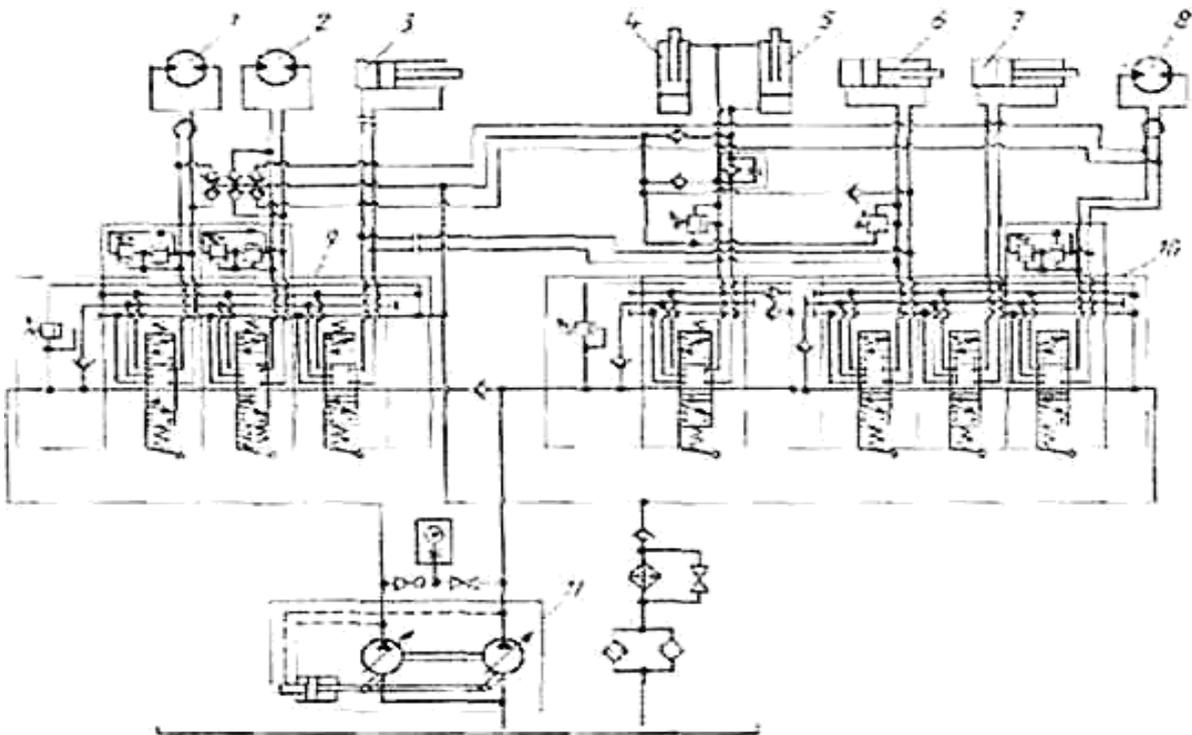
Рисунок 12.4 - Конструктивная схема ГОЭ

В гидравлическом одноковшовом экскаваторе привод рабочего и ходового оборудования, поворотного устройства и остальных механизмов осуществляется с помощью гидроцилиндров и гидромоторов.

Двигатель внутреннего сгорания приводит в действие гидронасосы, установленные на поворотной платформе. В свою очередь, насосы подают рабочую жидкость в гидроцилиндры рабочего оборудования и гидромоторы поворотного и ходового устройств. Кроме того, в состав гидравлической системы входят масляные баки, распределительная, регулирующая и контролирующая аппаратура (рисунок 12.5).

Воздействие привода на исполнительные механизмы рабочего оборудования экскаватора происходит через трубопроводы, подающие от насосов рабочую жидкость в исполнительные рабочие цилиндры, штоки которых воздействуют на рабочие органы через простые рычажные системы. Подвод трубопроводов к гидроцилиндрам осуществляется гибкими шлангами.

Рабочее давление в гидравлических одноковшовых экскаваторах составляет 20-35 МПа. Увеличение давления до 50 МПа позволяет уменьшить массу и габариты гидрооборудования.



1, 8 гидромоторы механизма передвижения; 2 - гидромотор поворота платформы; 3 гидроцилиндр поворота верхней секции стрелы; 4, 5 гидроцилиндры подъема-опускания стрелы; 6 - гидроцилиндр поворота рукояти; 7 - гидроцилиндр поворота ковша; 9, 10 - блоки гидрораспределителя; 11 - сдвоенный регулируемый насос

Рисунок 12.5 - Гидросистема универсального полноповоротного экскаватора на гусеничном ходу

Механические передачи (в основном, зубчатые) частично сохранились в исполнительных механизмах и некоторых рабочих органах: в механизме передвижения, механизме поворота, сверлах, бурах и другом сменном оборудовании.

ГОЭ имеют следующие конструктивные, технологические и эксплуатационные преимущества по сравнению с экскаваторами с гибкой подвеской (канатными);

1) повышение надежности за счет непосредственного воздействия привода на исполнительные органы (без применения сложных механических трансмиссий, снабженных муфтами, тормозами, коробками передач и т.д.);

2) снижение материалоемкости за счет рациональной компоновки агрегатов и отсутствия громоздких механических передач (масса ГОЭ в 1.5-2 раза меньше, чем масса канатного при одинаковой вместимости ковша);

3) повышение производительности за счет реализации значительно больших (в 2 - 4 раза) усилий на режущей кромке ковша (из-за более полного использования всей массы экскаватора);

4) расширение технологических возможностей:

а) за счет более высокой маневренности, большей точности изменения скорости и направления движения (например, при копании поворотом ковша);

б) путем использования большего числа сменного рабочего оборудования;

5) снижение энергоемкости процесса копания в 1,5 - 1,7 раза (на 1 м³ грунта) и реализация более высоких рабочих усилий (при одинаковой мощности).

Благодаря перечисленным достоинствам ГОЭ способны разрабатывать все грунты I-IV категорий, многие грунты V категории (в зависимости от вида рабочего оборудования) без рыхления и наименее крепкие грунты VI категории (уголь, известняк, ракушечник, мел, глина, мерзлые грунты).

Специфика конструкции и расширенные возможности обуславливают:

а) повышенные требования к материалам и конструкциям;

б) надежность уплотнений;

в) повышенную точность изготовления деталей гидрооборудования.

Основной металлоконструкцией ГОЭ является поворотная платформа, на

которой установлены рабочее оборудование, силовая установка, кабина с системой управления и механизм поворота (рисунок 12.6).

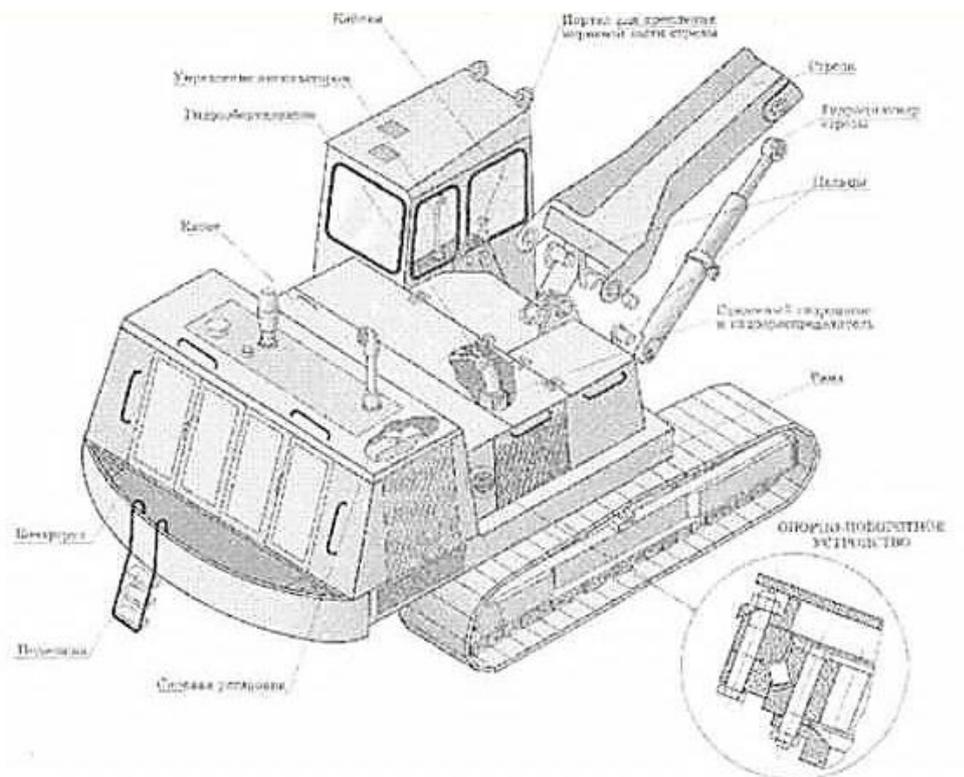


Рисунок 12.6 - Размещение механизмов и оборудования на поворотной платформе

По исполнению опорно-поворотных устройств гидравлические одноковшовые экскаваторы подразделяют на два вида: полноповоротные и не полноповоротные (навесные).

Полноповоротные ГОЭ выпускают в различных странах, в том числе в России, где налажен серийный выпуск строительных экскаваторов II-VIII размерных групп с ковшами вместимостью 0.25-1.0 м³ на базе единых конструктивных схем с широкой унификацией сборочных единиц и гидроаппаратуры.

Неполноповоротные гидравлические одноковшовые экскаваторы выпускают как навесное оборудование на серийно выпускаемые пневмоколёсные тракторы, в том числе на МТЗ в Республике Беларусь.

Независимо от вида рабочего оборудования все одноковшовые экскаваторы (за исключением экскаваторов на базе пневмоколёсных тракторов) имеют одина-

ковую базовую часть, состоящую из нижней рамы с ходовым устройством и упомянутой поворотной платформой. Поворотная платформа опирается на нижнюю раму и поворачивается на ней с помощью опорно-поворотного устройства.

Механизм поворота должен обеспечить прямое и обратное вращения поворотной платформы. В режиме копания платформа должна быть зафиксирована тормозом.

На современных экскаваторах используют, как правило, внутреннее зацепление ведущей шестерни с зубчатым венцом.

Механизм поворота платформы приводится в действие высокомоментным или низкомоментным гидромотором с зубчатыми передачами.

Высокомоментный гидромотор обеспечивает достаточно большой крутящий момент на своем выходном валу. Поэтому используют только одну зубчатую передачу: шестерня-венец.

Низкомоментный гидромотор не может обеспечить достаточный крутящий момент, поэтому для его увеличения необходимо использовать редуктор между валом гидромотора и обегавшей шестерней (как правило, трехступенчатый цилиндрический или двухступенчатый планетарный).

Ходовое устройство используют для маневрирования и перемещения. Кроме того, через него на опорную поверхность передаются сила тяжести экскаватора и силы взаимодействия рабочего органа с грунтом. Ходовое устройство включает раму, гусеничный или колесный движитель, механизм их привода и торможения.

Механизм передвижения имеет следующие особенности:

- для гусеничного ходового оборудования привод каждой гусеницы индивидуален. В этом случае ходовая тележка имеет два гидромотора (низкомоментных) и два трёхступенчатых цилиндрических редуктора:

- для пневмоколесного ходового оборудования имеется два варианта:

- привод ходового оборудования включает один гидромотор, который через двухступенчатую коробку передач передаст движение переднему и заднему мостам ходового устройства. Выходной вал коробки передач одним концом соединен с передним мостом, а другим концом - с задним мостом (рисунок 12.7)

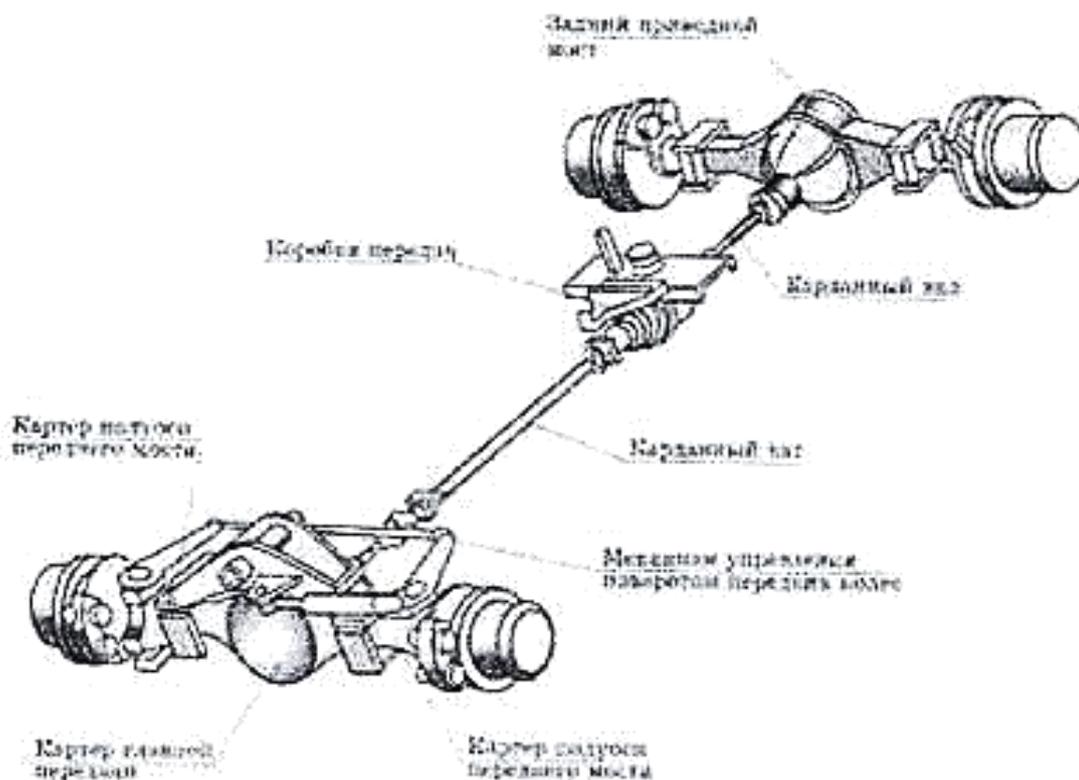


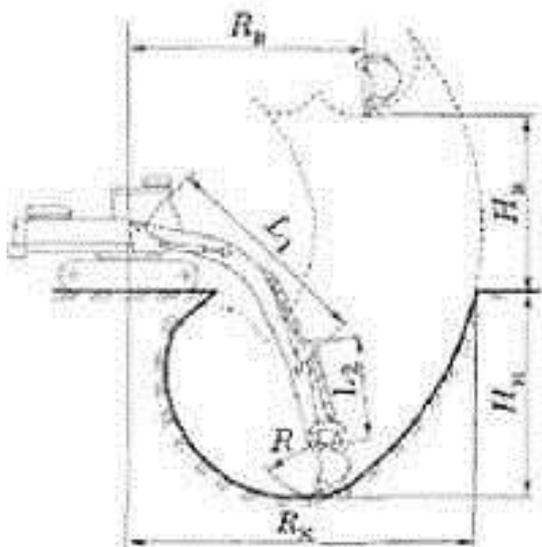
Рисунок 12.7 - Схема привода мостов механизма передвижения ГОЭ

2) индивидуальный привод ходового оборудования, т.е. привод колес осуществляется по схеме «мотор-колесо», что исключает громоздкие промежуточные звенья механического привода, а мощность гидромотора реализуется непосредственно на колесе через ступичный планетарный редуктор.

Рабочее оборудование ГОЭ включает: стрелу (коренную и удлиняющие секции), рукоять, гидроцилиндры подъема стрелы, рукояти и ковша. Эти основные элементы сочетают со сменными рабочими органами: ковшами обратной, прямой и погрузочной лопаты, грейферами и др. (рисунок 12.8).

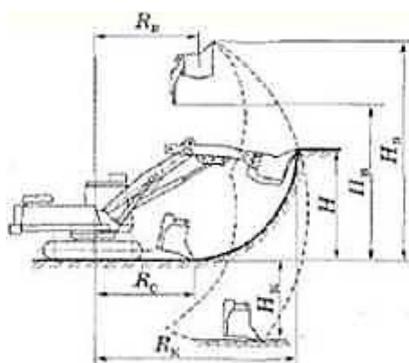
Рабочий процесс обратной лопаты (расчетного рабочего оборудования) обеспечивается передачей движения ковшу с помощью гидроцилиндров. Характер движения ковша зависит от конкретных условий. Наполнение ковша можно производить поворотом ковша, поворотом рукояти и подъемом стрелы или совмещая все эти движения.

а)



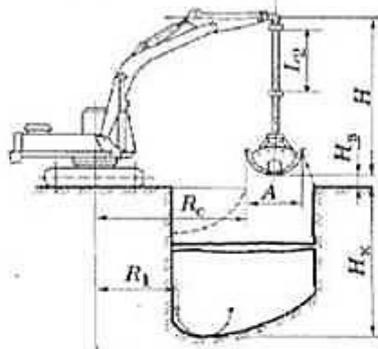
R_B - радиус выгрузки; H_B - высота выгрузки; H_K - глубина копания; R_K - радиус копания; L_1 - длина стрелы; L_2 - длина рукояти; R - радиус поворота ковша.

б)



R_a - радиус выгрузки; R_t - радиус копания на уровне стоянки; R_K - радиус копания; H_3 - наибольшая высота копания.

в)



R_t - радиус копания на максимальной глубине; R_c - радиус копания на уровне стоянки; H_K - глубина копания; H - высота грейфера с удлинителем; L_2 - длина рукояти; A - ширина ковша (ширина копания); H_B - просвет ковша.

Рисунок 12.8 - Сменное рабочее оборудование ГОЭ: а) - обратная лопата; б) - прямая лопата; в) - грейфер.

Однако наиболее распространено совмещенное копание: на начальном этапе используют движение рукояти, а в конце поворачивают ковш, обеспечивая его заполнение. Как правило, стрелу используют только для установки ковша в ис-

ходное положение, а также для его перевода в транспортное положение. При разгрузке также используют повороты рукояти и ковша.

Стрела выполняется как моноблочной, так и сочлененной. Её конструкция и габариты должны отвечать ряду требований:

- 1) возможность опускания ниже горизонта на угол 30° ;
- 2) стрела не должна задевать гусеницы: зазор - не менее 200-250 мм;
- 3) сочлененная стрела имеет угол $120-130^\circ$ между коренной и удлиняющей секциями.

Как известно, стрелы ГОЭ испытывают переменные нагрузки от сжатия, изгиба и кручения. Поэтому они имеют коробчатое сечение, которое выполняют из гнутых профилей или сварными (из листовой стали), что обеспечивает их относительно высокую усталостную прочность (рисунок 12.9).

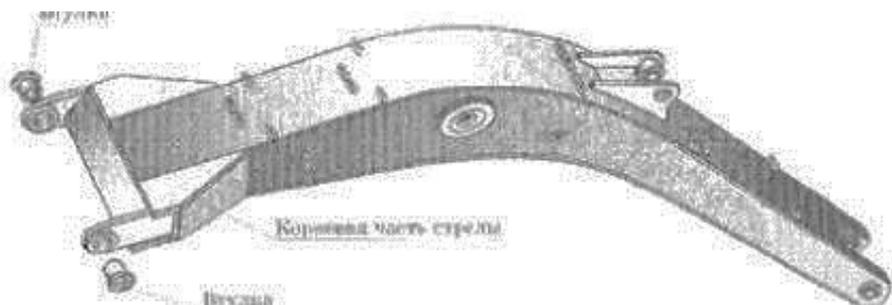


Рисунок 12.9 - Моноблочная стрела ГОЭ

Рукоять также имеет коробчатое сечение (рисунок 12.10). Из-за больших динамических нагрузок, возникающих при повороте, ширину рукояти принимают больше ее высоты. Высота поперечного сечения балок рукояти не является постоянной по длине: со стороны стрелы она больше, чем со стороны ковша в 1.6-1.8 раза. У длинных рукоятей высота балок увеличивается на 20-30 % по сравнению с обычными. Как правило, рукоять крепится между боковыми стенками коробчатой балки стрелы. Гидроцилиндры закрепляют так, чтобы шток гидроцилиндра поворота рукояти был снизу, а гидроцилиндра поворота ковша - сверху рукояти, Количество рукоятей зависит от типоразмера экскаватора и составляет:

- 4 - 8 для экскаватора массой менее 30 т;

3 - 4 для экскаватора массой более 30 т.



Рисунок 12.10 - Рукоять ГОЭ

Как правило, гидравлические одноковшовые экскаваторы имеют 3-4 рукояти обратной лопаты различной длины, включая длинные - для подводных работ и мелиорации.

Ковш является основным рабочим органом. К нему предъявляются требования, обусловленные его технологическими функциями:

- 1) высокая прочность элементов ковша;
- 2) рациональная конструкция, обеспечивающая минимальную энергоемкость копания и оперативную смену оборудования.

Для обратной лопаты этим требованиям отвечает ковш в виде призматической емкости, открытой спереди (рисунок 12.11, а). Ковш выполняют суживающимся к задней стенке и вниз под углом 4-5°. Он состоит из сварного корпуса и литого (сварного) козырька с зубьями. Его также оснащают боковыми зубьями для предотвращения заклинивания при отрывке траншей. Их крепят пальцами и тягами на рукояти с отверстиями для изменения угла установки ковша. Разгрузка ковша производится при его повороте и выносе рукояти через открытую переднюю часть ковша. Ковши прямых лопат (рисунок 12.11, б) имеют открывающееся днище, через которое выгружается грунт.

Козырек имеет сплошную режущую кромку или его оснащают зубьями.

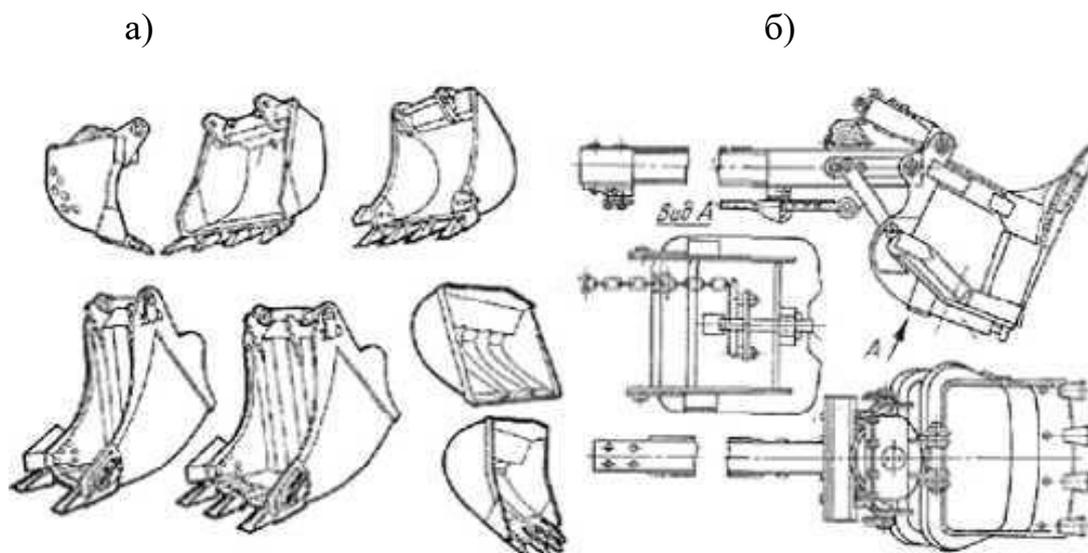


Рисунок 12.11 - Ковши: а) - обратной лопаты; б - прямой лопаты

Форму зубьев и профиля режущей кромки ковшей выбирают в зависимости от категории грунта. Наличие зубьев, разрыхляющих грунт, позволяет реализовать менее энергоемкие режимы резания: полублокированный и свободный (зуб осуществляет блокированное резание, а затем режущая кромка работает в условиях практически свободного резания).

Зубья имеют, в основном, лопаточный, трапециевидный и когтевидный профили (рисунок 12.12).



Рисунок 12.12 -Профили зубьев

Затупление зубьев и режущей кромки вызывает значительное увеличение энергоемкости процесса копания из-за роста сопротивления резанию. (Пример: износ режущей кромки на 1,5-3,0 см увеличивает P_k в 1,5 - 2 раза, P_n - в 8 раз).

Для управления ковшом используют две схемы расположения гидроцилиндров над рукоятью: двухзвенная и четырехзвенная.

Элементы рабочего оборудования соединяют с помощью шарниров по схеме «палец - втулка». Втулку устанавливают в охватываемом элементе. Для присоединения гидроцилиндров используют сферические шарниры, что предохраняет их от действия изгибающих моментов.

Унификация гидравлических одноковшовых экскаваторов осуществляется с учетом анализа известных размерных групп и типовых рядов отечественных и зарубежных машин. Уровень (степень) унификации зависит от детали, узла или конструкции.

Для двигателей (электрических, гидравлических, внутреннего сгорания), узлов управления, гидроаппаратуры, а также отдельных видов рабочего оборудования унификация проводится в пределах нескольких типоразмеров машин.

Для некоторых узлов экскаваторов унификация охватывает большую часть размерных групп. Например, количество типоразмеров насосов, гидроцилиндров, колес, двигателей внутреннего сгорания, кабин машинистов составляет всего 4-5 для всего ряда машин.

С другой стороны, ГОЭ обладают достаточно высокой степенью универсальности, что достигается значительным количеством сменных рабочих органов, ковшей, рукоятей, наголовников, стрел, сменного ходового и силового оборудования. В результате заводы изготавливают унифицированные ряды экскаваторов, причем на 10-12 базовых унифицированных моделей приходится более 80 модификаций машин различного назначения. В результате унификации количество деталей (необходимых для выпуска 60 моделей ГОЭ) сокращено в 6-7 раз по сравнению с количеством деталей в индивидуальном производстве.

ГОЭ снабжают разнообразным сменным рабочим оборудованием, благодаря чему он является наиболее универсальной машиной:

- 1) ковшами погрузчика, прямой и обратной лопатой, которые обеспечивают разработку узких траншей, планировку откосов, разработку канав шириной от 0,23 до 5 м с зубьями (до 10 штук) и без них;
- 2) сменными рукоятями и стрелами;

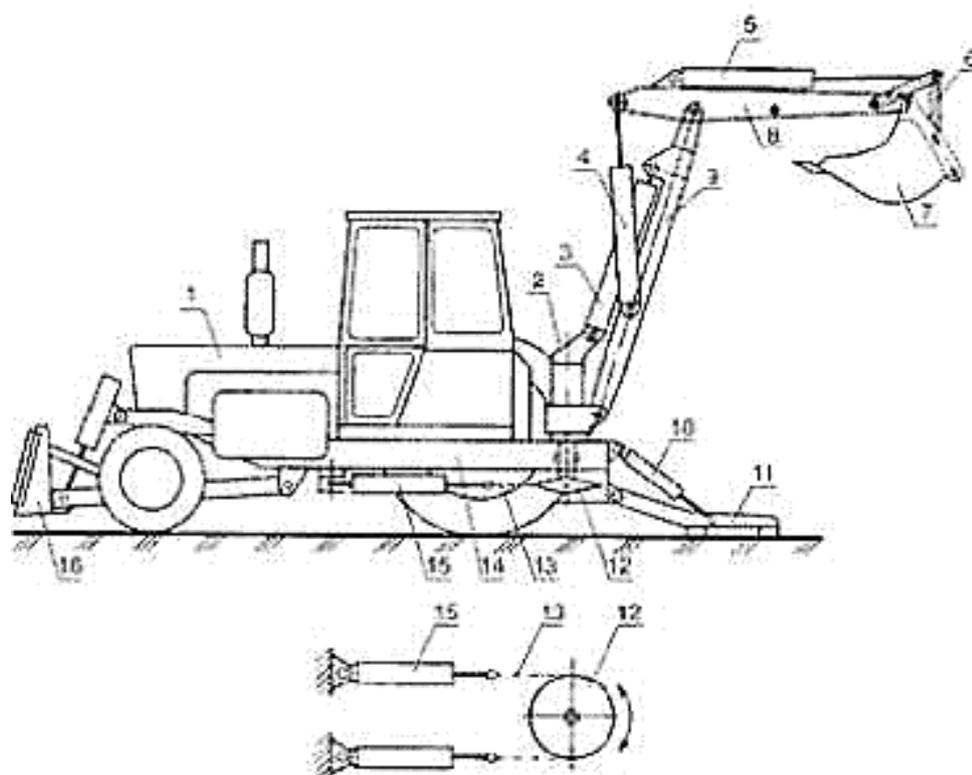
- 3) грейферами (двух- и многочелюстными, с круглыми захватами, с зубьями и без них, с накопителями);
- 4) молотами (пневмо- и гидро-) со сменными рабочими инструментами (зубьями, клиньями, ломами, трамбовками, бурами, сверлами и др.);
- 5) пилами, крановыми подвесками, бульдозерными отвалами и др.;
- 6) оборудованием (вставками) со смещенной осью копания.

Как отмечалось, полноповоротные ГОЭ имеют одинаковую базовую часть, которую оснащают различными механизмами и сменным рабочим оборудованием. Совершенно другую конструкцию имеют неполноповоротные ГОЭ. Их производят как навесное оборудование к серийно выпускаемым пневмоколёсным тракторам. В Беларуси налажен массовый выпуск неполно-поворотных навесных ГОЭ второй размерной группы на базе тракторов Беларусь. Их используют для выполнения небольших объемов земляных работ. Неполноповоротные ГОЭ имеют основное рабочее оборудование (ковши прямой и обратной лопаты), а также сменное (дополнительное) оборудование.

В неполноповоротных экскаваторах имеются две гидросистемы с одним общим баком рабочей жидкости. Одна устанавливается на тракторе и служит для привода механизма поворота, управления выносными опорами и отвалом бульдозера. Другая гидросистема смонтирована на экскаваторе и служит для привода рабочего оборудования. Гидроцилиндр стрелы может питаться от каждой гидросистемы отдельно или суммарным потоком от обеих систем.

На тракторе (рисунок 12.13) устанавливают поворотную колонну 2, которую монтируют на полый цапфе в задней части несущей рамы 14.

Поворотные движения колонны обеспечивают гидроцилиндры 15 через цепь и звездочку 12. Отвал бульдозера 16 смонтирован на дышле, которое шарнирно соединено с несущей рамой 14. Для обеспечения устойчивости в рабочем режиме предусмотрена возможность установления выносных опор 11, управляемых гидроцилиндрами 10, по обе стороны от несущей рамы.

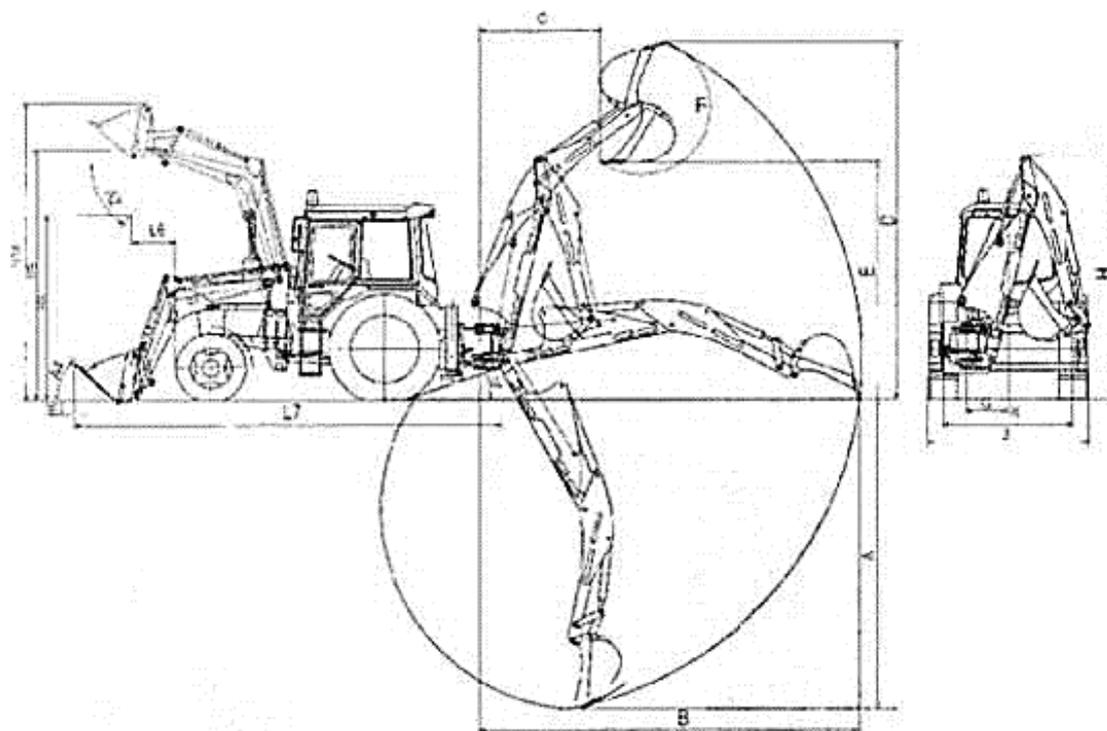


1 - трактор; 2 - поворотная колонна; 3 - гидроцилиндр подъема стрелы; 4 гидроцилиндр поворота рукояти; 5 - гидроцилиндр поворота ковша; 6 - подвеска ковша; 7 - ковш; 8 - рукоять; 9 стрела; 10 гидроцилиндр установки опор; 11 - опора; 12 - звездочка поворота колонны; 13 цепь; 14 - несущая рама; 15 - гидроцилиндр поворота колонны; 16 - отвал бульдозера.

Рисунок 12.13 - Конструктивная схема неповоротного одноковшового экскаватора

С колонной шарнирно соединена стрела 9, подъем которой осуществляют гидроцилиндры 3. На стреле устанавливают рукоять 8 и гидроцилиндры поворота рукояти 4. С рукоятью шарнирно соединен ковш 7, который поворачивается с помощью гидроцилиндра 5. Колонна обеспечивает поворот стрелы на 120° в каждую сторону.

В настоящее время получили распространение неполноповоротные одноковшовые экскаваторы со смещаемой осью копания, поворотная колонна у которых может быть установлена как на оси, так и в углах несущей рамы, что позволяет увеличить угол поворота стрелы (рис. 12.14).



A2 - угол разгрузки, A4 - максимальный угол запрокидывания ковша на уровне стоянки, H6 - глубина копания, H8 - высота разгрузки, H9 - высота шарнира максимально поднятого ковша, H10 - габаритная рабочая высота с максимально поднятым ковшом, L6 - вылет кромки ковша при разгрузке, L7 - габаритная длина, A - максимальная глубина копания, B - вылет на уровне земли, C - вылет для погрузки, D - максимальная высота копания, E - максимальная высота погрузки, F - угол поворота ковша, G - боковое смещение колонны, H - габаритная высота, J - ширина по опорным лапам, K - колея задних колес.

Рисунок 12.14 - Неполноповоротный ГОЭ со смещаемой осью копания

Наиболее распространенный способ копания состоит в следующем. Поворотом ковш врежется в грунт, а затем ковш заполняется, срезая стружку поворотом рукояти. После выхода из забоя наполненного ковша стрела поднимается, а поворотная колонна с рабочим оборудованием поворачивается к месту выгрузки. Выгрузку осуществляют также поворотом ковша, после чего колонка возвращается в исходное положение, а ковш опускается в забой.

Одна из основных задач проектирования ГОЭ - определение максимальных усилий, развиваемых на зубьях ковша. Эти усилия определяются:

- 1) силой тяжести ковша:
- 2) положением центра тяжести всей базы одноковшового экскаватора:
- 3) размерами стрелы и углом ее наклона (для лопаты 45 - 47°);
- 4) расстоянием от оси стрелы до оси вращения экскаватора.

Рекомендуемые усилия на зубьях при пустом ковше должны составлять 1/2 силы тяжести экскаватора (с учетом массы стрелы, рукоятки и ковша).

На базе анализа статистических данных по взаимосвязи масс, размеров и усилий разработаны эмпирические зависимости, связывающие основные параметры гидравлического одноковшового экскаватора.

Максимальные усилия связаны с параметрами экскаватора соотношением

$$P_{imax} = K\sqrt[3]{m^2} \quad (12.1)$$

где K - коэффициент пропорциональности. $K = 14...30$ (в зависимости от массы экскаватора);

m - масса экскаватора, кг.

Значения основных параметров определяют по формуле

$$P_i = K_i\sqrt[3]{m} \quad (12.2)$$

где K_i - коэффициент пропорциональности.

Значения K_i сведены в таблицы. Более того, временные характеристики, т.е. продолжительность операций и всего цикла, также связаны с m .

$$t_i = K_i\sqrt[3]{m} \quad (12.3)$$

Соотношение времен t_i отдельных операций для различных по массе экскаваторов (табл. 12.1) составляет

Таблица 12.1 - Соотношение времен t_i , отдельных операций для различных по массе экскаваторов, в с.

	<i>тяжелые</i>	<i>легкие</i>
копание	25	27
поворот на выгрузку	24	25
выгрузка	27	29
поворот в забой	24	19

Выбор расчетных положений рабочего оборудования не представляет значительных трудностей. Все элементы работают в условиях консольных нагрузок. Поэтому опасные сечения - это шарнирные соединения, а опасные положения - условия, при которых максимальные нагрузки прилагаются к рассчитываемому элементу под углом около 90° .

Расчет рабочего оборудования ГОЭ осуществляют в следующем порядке. Во-первых, определяют (по заданной вместимости ковша) массу экскаватора, а также его габаритные характеристики. Для этого используют метод подобия: для машин одинакового функционального назначения, имеющих идентичные структурную и кинематическую схемы, выполняется ряд соотношений их основных параметров

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{q_1}{q_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{A_1^3}{A_2^3} \quad (12.4)$$

где m - масса экскаватора, кг;

q_i - вместимость ковша, м^3 ;

N_i - мощность силовой установки, кВт;

A_i - линейный размер элемента экскаватора, м.

Во-вторых, по рассчитанной мощности и заданному давлению в гидросистеме подбирают гидронасос, а также параметры элементов гидросистемы.

Далее, исходя из предварительно выбранных размеров элементов рабочего оборудования, гидроцилиндров, гидродвигателей и гидронасосов, проводят уточненный проверочный расчет.

Основное расчетное оборудование гидравлического одноковшового экскаватора - это обратная лопата. С её помощью копают грунт:

- поворотом ковша;
- поворотом рукояти;
- совмещенными движениями.

В расчетах рабочих механизмов гидравлического одноковшового экскаватора определяют усилия, возникающие в гидроцилиндрах ковша, рукояти и стрелы ($P_{ц.к.}$, $P_{с.р.}$ и $P_{ц.с.}$).

Для этого используют схему рабочего оборудования, представленную на рисунке 12.15.

В общем случае известны силы тяжести стрелы, рукояти и ковша с грунтом G_c , G_p и $G_{к+г}$ а также силы сопротивления грунта копанию P_k и P_n . Следует найти усилия в гидроцилиндрах $P_{ц.к.}$, $P_{с.р.}$ и $P_{ц.с.}$. Точки А, В и С - это места крепления пяты стрелы, рукояти и ковша соответственно.

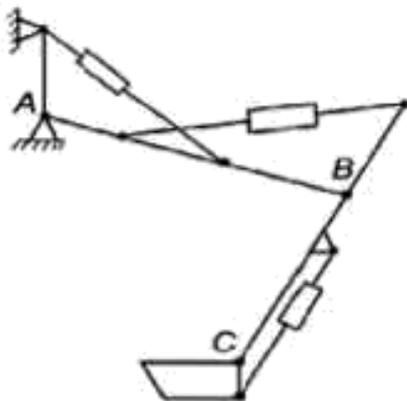


Рисунок 12.15- Схема рабочего оборудования одноковшового экскаватора

Усилия в гидроцилиндрах определяют, разделяя общую схему следующим образом:

1) Для определения усилий в гидроцилиндр, ковша (рисунок 12.16) составляют уравнение моментов относительно точки С: $\sum M_c = 0$. Зная P_k , P_n , $G_{к+г}$, можно

определить $P_{цк}$. Кроме того, эти усилия можно оценить, используя силовой многоугольник (вместо уравнения моментов).

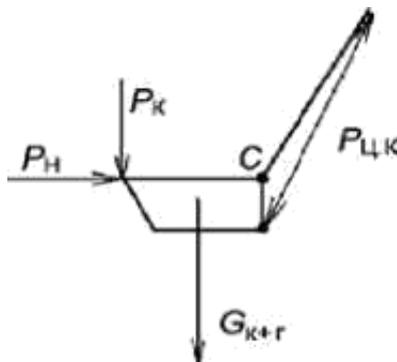


Рисунок 12.16 - Расчетная схема для определения усилий в гидроцилиндре ковша

2) Для определения усилий в гидроцилиндре рукояти (рис. 12.17) составляют уравнение моментов относительно точки В: $\sum M_B = 0$. Зная P_K , P_H , $G_{к+г}$, можно получить $P_{цр}$.

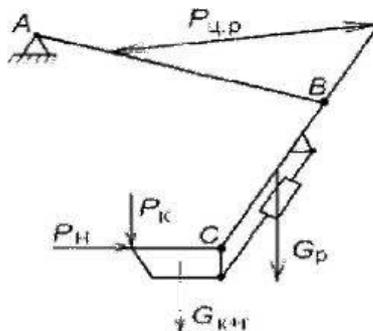


Рисунок 12.17 - Расчетная схема для определения усилий в гидроцилиндрах рукояти

3) Для определения усилий в гидроцилиндре стрелы (рисунок 12.18) составляют уравнение моментов относительно точки А: $\sum M_A = 0$. Имея P_K , P_H , $G_{к+г}$, G_p , G_c отсюда определяют $P_{цс}$.

Отметим, что при определении усилий в гидроцилиндрах рабочего оборудования траекторию копания (поворотом ковша, рукояти) разбивают на 8-10 по-

ложений. Затем рассчитывают максимальные усилия, по которым подбирают гидроцилиндры.

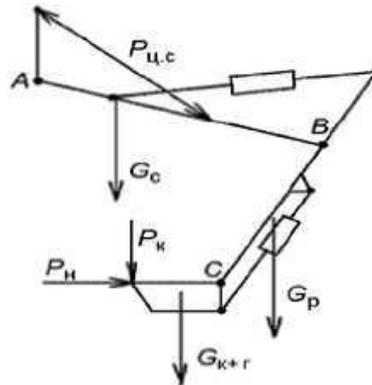


Рисунок 12.18 - Расчетная схема для определения усилий в гидроцилиндрах стрелы

Имеются ограничения на выбор параметров из-за реактивных усилий в элементах гидросистемы. Поэтому необходимо рассчитать реактивные (пассивные) давления в запертых полостях гидроцилиндра стрелы и рукояти при работе гидроцилиндра ковша и т.д.

Расчеты ведут, полагая, что в соответствующий гидроцилиндр жидкость поступает при максимальном давлении ($p_{реакт} < 1,5p_n$).

Усилию в любом гидроцилиндре $P_{ц.i}$ будет соответствовать реактивное давление в нем

$$P_{ц.i} = \frac{4p_{ц.i}}{\pi D_{ц}^2} \quad (12.5)$$

Причем

$$p_{ц.i} \leq [p_{ц.}] = (1,5 \dots 2,0) p_n \quad (12.6)$$

где P_n - номинальное давление гидронасоса, МПа.

Если $p_{ц.i} > [p_{ц.}]$, то необходимо пересмотреть схему рабочего оборудования и ограничить рабочее усилие P_k .

Зная усилия в гидроцилиндрах рабочего оборудования и скорости перемещения их штоков, можно определить мощность, необходимую для осуществления рабочей процессу. Скорости штоков гидроцилиндра ковша, рукояти и стрелы должны соответствовать скорости копания и длительности рабочего цикла экскаватора.

Мощность, затрачиваемая на копание одновременным действием гидроцилиндров стрелы и рукояти, является наибольшей при осуществлении рабочего процесса

$$N_{\text{коп}} = \frac{P_{\text{ц.р}} v_{\text{цр}}}{\eta_{\text{ц.р}}} + \frac{P_{\text{ц.с}} v_{\text{цс}}}{\eta_{\text{ц.с}}} \quad (12.7)$$

где $\eta_{\text{ц.р}}$ и $\eta_{\text{ц.с}}$ - КПД гидроцилиндров рукояти и стрелы;

$P_{\text{ц.р}}$ и $P_{\text{ц.с}}$ - усилия в гидроцилиндрах рукояти и стрелы, Н;

$v_{\text{цр}}$ и $v_{\text{цс}}$ - скорости штоков гидроцилиндров рукояти и стрелы, м/с.

Расчеты на устойчивость гидравлического экскаватора, оборудованного обратной лопатой, производят для двух рабочих и двух транспортных положений.

В первом рабочем положении (рис. 12.19) машина находится на горизонтальной площадке, подъем полного ковша и его отрыв от грунта (у самой бровки забоя, ближайшей к гусенице или колесам) осуществляют под действием максимальных усилий в гидроцилиндре подъема стрелы. При этом рабочее оборудование перпендикулярно продольной оси машины (т. е. продольная ось рабочего оборудования перпендикулярна продольной оси экскаватора).

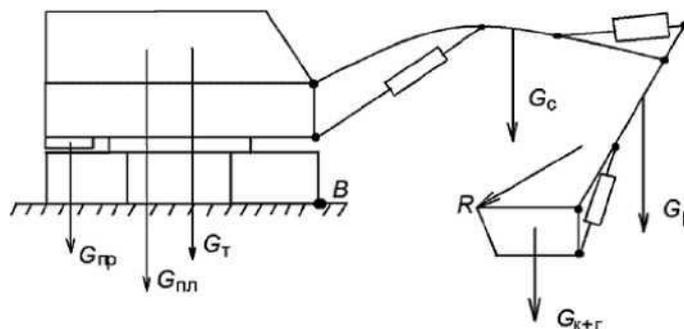


Рисунок 12.19 - Схема для определения устойчивости экскаватора в первом рабочем положении

Направление силы реакции грунта R перпендикулярно линии, соединяющей центр поворота стрелы (пяты стрелы) и режущую кромку ковша (рисунок 12.20).

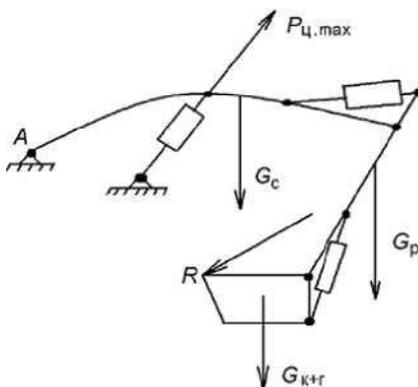


Рисунок 12.20 - Силовая схема для оценки устойчивости экскаватора

Составляется уравнение моментов относительно точки А: $\sum M_A = 0$, откуда находят силу R (имеются G_c , G_p , $G_{к+г}$ и $P_{ц.мах}$ - усилие, развиваемое в гидроцилиндре управления стрелой при предельном давлении в гидросистеме).

Далее находят коэффициент запаса устойчивости

$$K_y = \frac{M_y}{M_{опр}} \quad (12.8)$$

где M_y – момент удерживающих сил относительно ребра опрокидывания В, Нм;

$M_{опр}$ - момент опрокидывающих сил относительно того же ребра. Н м.

В числитель входят моменты сил тяжести противовеса $G_{пр}$, поворотной платформы $G_{пл}$, тележки ходовой G_T , в знаменатель - моменты сил G_c , G_p , $G_{к+г}$, R .

Коэффициент устойчивости должен быть $K_y \geq 1,15$.

Во *втором рабочем положении* (рисунок 12.21) экскаватор находится на площадке (под углом 12° к горизонту): производится выгрузка вязкого грунта на максимальном вылете ковша, при этом продольная ось рабочего оборудования перпендикулярна продольной оси экскаватора (т.е. силы сопротивления копанью отсутствуют). В этом положении рассматривается устойчивость экскаватора относительно ребра В по той же формуле (12.8).

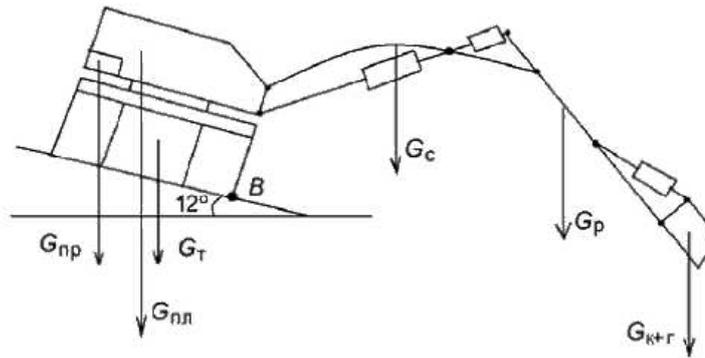


Рисунок 12.21 – Схема устойчивости экскаватора во втором рабочем положении

Для транспортных положений приняты следующие соображения:

1) В первом транспортном положении (рис. 12.22, а) экскаватор движется на подъём: рабочее оборудование закреплено в транспортном положении: опрокидыванию способствует ветер ($P_{уд} = 250$ Па). Расчет ведут для максимального наклона опорной поверхности движения.

Максимальный угол подъема (уклона) находят по условию реализации максимального тягового усилия или сцепления движителя с дорогой

$$\arctg \varphi \geq \alpha_{max} \leq \alpha_N \quad (12.9)$$

где φ - коэффициент сцепления движителя с дорогой;

α_N - предельный угол подъема (уклона), который определяют тяговым расчетом.

$$\sin \alpha_N = \frac{N\eta}{G_3 v_{min}(1+f^2)} - f \sqrt{\frac{1}{1+f^2} - \left[\frac{N\eta}{G_3 v_{min}(1+f^2)} \right]} \quad (12.10)$$

V - мощность силовой установки. Вт;

η - КПД трансмиссии;

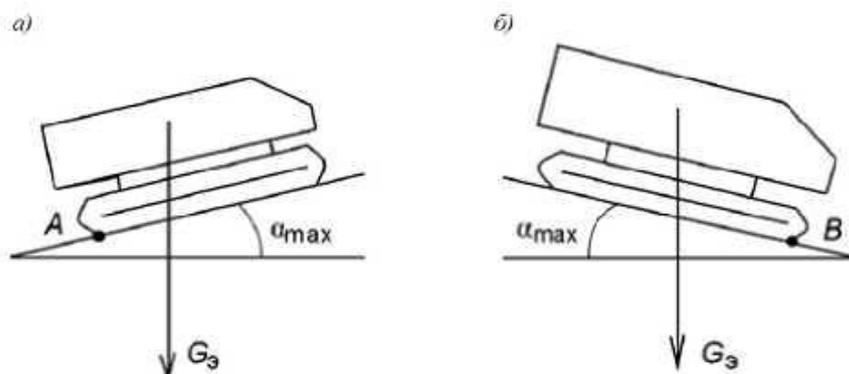
v_{min} - минимальная скорость передвижения, м/с;

f - коэффициент сопротивления перемещению;

G_3 - сила тяжести экскаватора. Н.

2) Во втором транспортном положении (рисунок 12.22, б) экскаватор движется под уклон; рабочее оборудование закреплено в транспортном положении; ветер ($p_{уд} = 250 \text{ Па}$) направлен против движения.

Вычисляется наибольший угол уклона (по тем же формулам, что и в первом положении).



а - в первом; б - во втором транспортном положении

Рисунок 12.22 - Схемы для определения устойчивости экскаватора

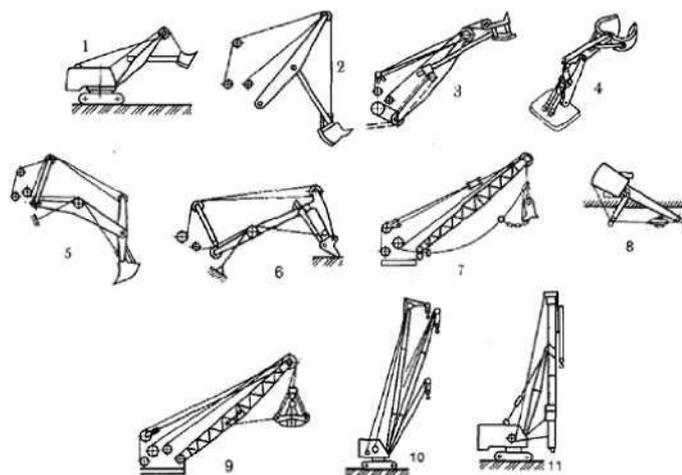
Опрокидывание определяется относительно точки ребра А или В

$$K_y = \frac{M_y}{M_{опр}} \quad (12.11)$$

12.2 Одноковшовые экскаваторы с гибкой подвеской

Экскаваторы с гибкой подвеской рабочего оборудования представляют собой полноповоротные машины с однодвигательным и многодвигательным (дизель-электрическим) приводом. Однодвигательный привод имеют экскаваторы 3-5-й размерных групп, многодвигательный - 6-й размерной группы.

Основными видами сменного рабочего оборудования являются прямая и обратная лопаты, драглайн, грейфер и кран (рис. 12.23). Кроме того, экскаваторы оснащают оборудованием для погружения свай, планировки и зачистки площадок, засыпки траншей, корчевания пней, рыхления мерзлых и скальных грунтов, разрушения дорожных покрытий и др.

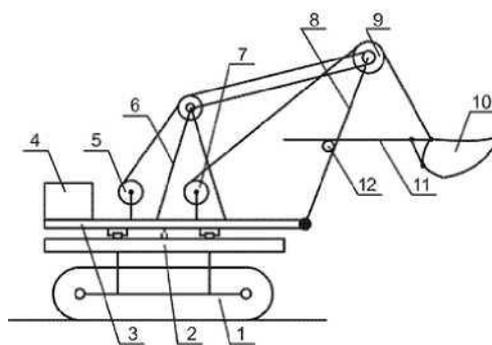


1 - прямая лопата; 2 - маятниковая прямая лопата; 3 - запорная прямая лопата; 4 - прямая лопата со створчатым ковшом; 5 - обратная лопата; 6 - планировочное оборудование; 7 – драглайн; 8 - боковой драглайн; 9 - канатный грейфер; 10 - крановое оборудование; 11 – копер.

Рисунок 12.23 - Основные виды и исполнения сменного рабочего оборудования канатных экскаваторов

Главная часть одноковшового экскаватора с гибкой подвеской (рисунок 12.24) - это рабочее оборудование, включающее стрелу 8, рукоятку 11 и ковш 10 В нашем случае рассматривается расчетное рабочее оборудование - прямая лопата. Стрела своей пятой (в нижней части) соединена цилиндрическим шарниром с поворотной платформой 3. а головной верхней частью подвешена канатом грузоподъемного механизма 5 к двуногой стойке 6. Канат (его называют стреловым), проходя через блоки на двуногой стойке, запасован на барабане лебедки грузоподъемного механизма. Двуногая стойка служит для увеличения угла между стреловым канатом и стрелой, что уменьшает усилия подъема рабочего оборудования. С помощью лебедки механизма 5 изменяют угол наклона стрелы (к плоскости опорной поверхности) в интервале $45-60^{\circ}$.

Ковш закреплен на рукояти и подвешен подъемным канатом на стреле через головной блок 9 и барабан лебедки подъемного механизма 7 (т. е. через полиспаст подъемного механизма).



1 - ходовое устройство; 2 нижняя рама; 3 - поворотная платформа; 4 - силовая установка; 5 - лебедка стрелоподъемного механизма; 6 - двуногая стойка; 7 - лебедка механизма подъема ковша; 8 - стрела; 9 - головной блок; 10 - ковш; 11 - рукоять; 12 - узел напорного механизма (его привод не показан).

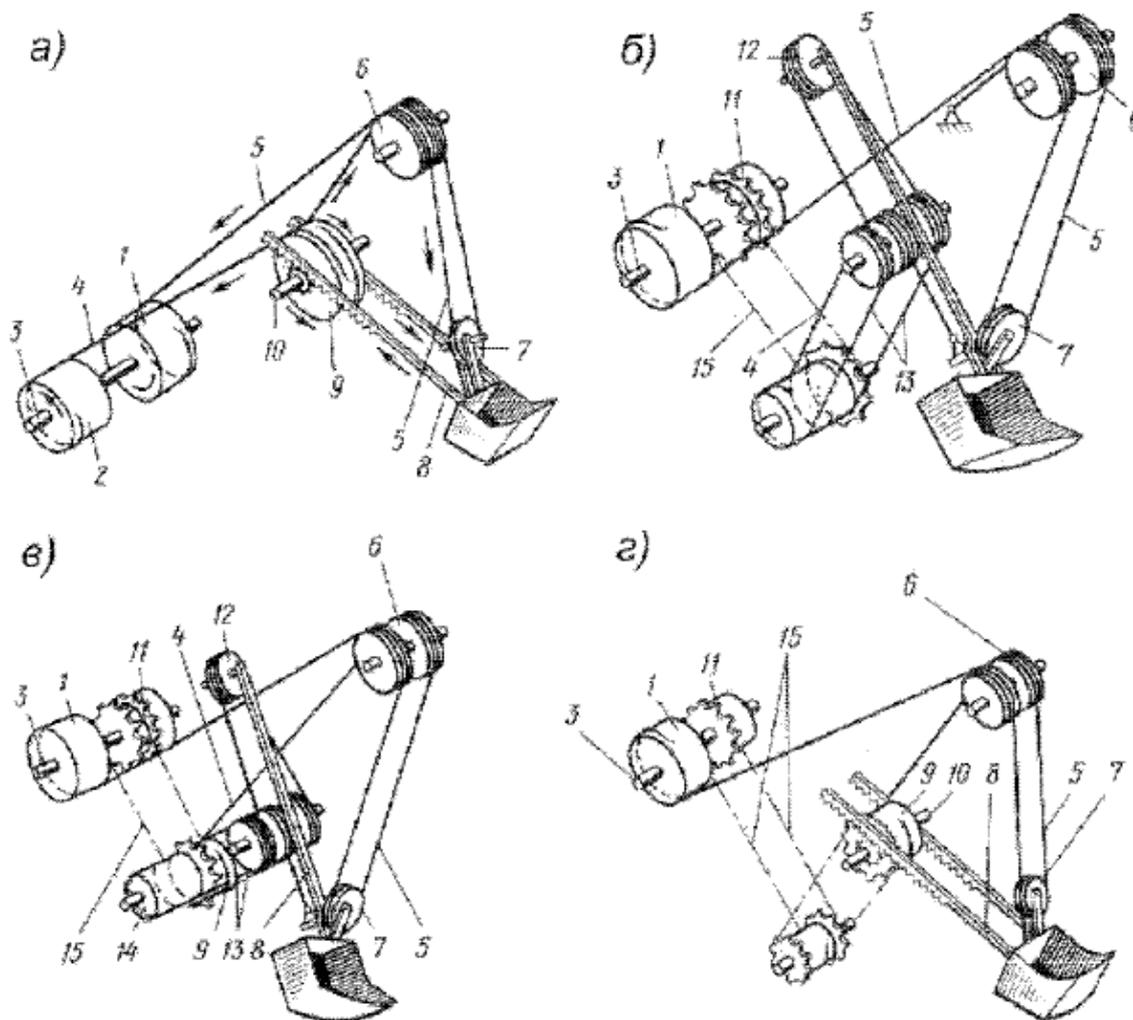
Рисунок 12.24 - Схема управления рабочим оборудованием экскаватора с гибкой подвеской

При работе прямой лопаты возникает необходимость совмещения подъема ковша с поступательным движением рукояти. Эту работу выполняет напорный механизм.

Напорные механизмы одноковшовых универсальных экскаваторов бывают по приводу рукояти канатные и зубчато-реечные (кремальерные), по принципу действия - зависимые, независимые и комбинированные (рисунок 12.25).

Канатный напорный механизм чаще всего применяют при однобалочной (внутренней) рукояти. При двухбалочной рукояти устанавливают зубчато-реечный напорный механизм.

При зависимом напорном механизме поступательное движение рукояти связано с натяжением каната подъема ковша. При таком механизме можно только уменьшать напорное усилие. При независимом напорном механизме поступательное движение рукояти не зависит от подъема ковша. При совмещении зависимости и независимости напорных механизмов (комбинированном напорном механизме) напорное усилие зависит от силы натяжения каната.



а) зависимый реечно-зубчатый; б) - независимый канатный; в) - комбинированный канатный; г) - комбинированный зубчато-реечный; 1 - подъемный барабан; 2 - возвратный барабан; 3 - вал глазной лебедки; 4 - возвратный канат; 5 - подъёмный канат; 6 - головные блоки; 7 - блок ковша; 8 - рукоятка ковша; 9 - дополнительный барабан; 10 - напорный вал; 11 - звездочка напорного механизма; 12 - уравнительный блок; 13 - напорный канат; 14 - напорный барабан; 15 - напорная цепь.

Рисунок 12.25 - Схемы напорных механизмов экскаваторов с гибкой подвеской прямой лопаты

Наиболее распространен комбинированный механизм напора (см. рис. 12.25, в) и г). При меньшей нагрузке двигателя он обеспечивает плавную работу и почти автоматическое выдвигание ковша, что создаст условия для его лучшего наполнения.

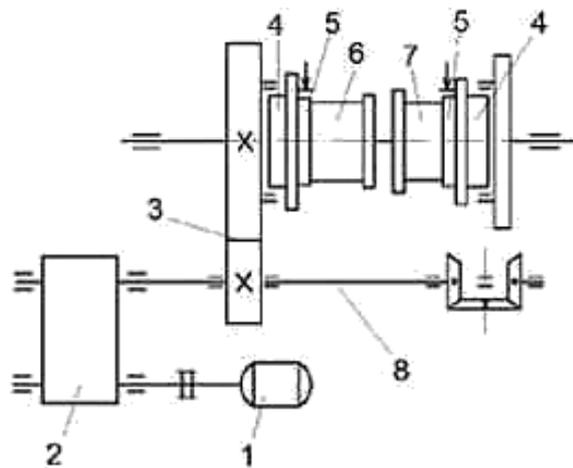
Рабочие движения одноковшового экскаватора обеспечиваются механизмами подъема ковша, напора, поворота и открывания днища ковша.

Как уже отмечалось, строительные одноковшовые экскаваторы с гибкой подвеской имеют однодвигательный привод (исключая одноковшовые экскаваторы с предельными типоразмерами). Каждый исполнительный механизм имеет самостоятельную связь с двигателем и поэтому должен независимо к нему подключаться. Передача движения осуществляется зубчатыми и цепными передачами, а включение отдельных механизмов - с помощью фрикционных (ленточных, конусных или пневматических) и кулачковых муфт (только для медленно вращающихся валов).

При однодвигательном приводе кинематические схемы в основном зависят от конструкции лебедок и типа напорного механизма. Так, барабаны главной лебедки (подъемного механизма) размещают на одном или двух валах. В первом случае размещение двух барабанов лебедки на одном валу позволяет сместить механизмы назад, что уменьшает противовес, но усложняет монтаж, а также увеличивает размеры и массу вала.

Итак, главный механизм - это *механизм подъема ковша*. Он должен обеспечивать подъем и удержание ковша в фиксированном положении, а также его гравитационное опускание.

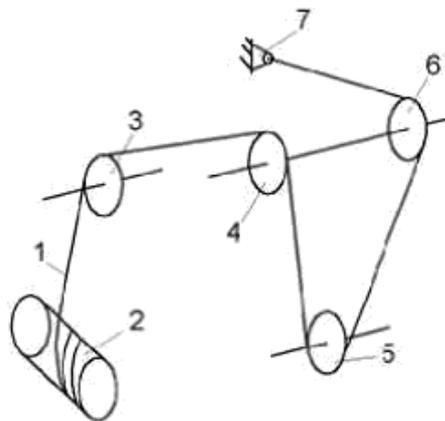
Одни из вариантов кинематической цепи привода главной лебедки подъема ковша имеет следующий вид (рис. 12.26). Двигатель 1 через зубчатый (или цепной) редуктор 2 и зубчатую передачу 3 связан с барабаном 6, насаженным на валу свободно. Он приводится во вращение фрикционной муфтой 4. На барабане установлен тормоз (колодочный) 5. На этом же валу свободно сидит возвратный барабан 7. на который наматывается канат, идущий от барабана механизма напора (как правило, на этом же валу крепят коническую муфту привода механизма открывания днища ковша).



1 - двигатель; 2 - редуктор; 3 - зубчатая передача; 4 - фрикционная муфта; 5 - колодочный тормоз; 6 - барабан; 7 - возвратный барабан; 8 - главный трансмиссионный вал.

Рисунок 12.26 - Кинематическая цепь привода главной лебедки подъема ковша

В свою очередь, при независимом напоре канат 1 (рис. 12.27), который закрепляется на барабане главной лебедки 2, проходит на блок 3 двуногой стойки, огибает блок 4 головки стрелы, затем блок 5 ковша и через блок 6 направляется к месту крепления на стреле с помощью коуша 7.



1 – канат; 2 - барабан главной лебедки; 3 - 6 - блоки; 7 – ковш.

Рисунок 12.27 - Схема запасовки механизма подъема ковша для прямой лопаты

Далее по значимости следует *механизм напора*, который должен обеспечивать перемещение рукояти относительно стрелы в прямом и обратном направле-

ниях, а также её удержание в фиксированном положении как при копании, так и во время транспортных операций.

Этот механизм, как отмечалось, имеет два основных варианта привода рукояти в зависимости от её конструкции:

1) *канатный* (в виде реверсивной лебедки для одноблочной рукояти) Он имеет меньший, чем другие, срок службы, но даёт наименьшие динамические нагрузки;

2) *зубчато-реечный* (в виде реверсивной зубчато-реечной передачи для двухблочной рукояти). Он имеет наибольшую жесткость. Этот механизм называют еще кремальерным (кремальера - это зубчатая рейка, её приваривают или крепят болтами к рукояти).

При независимом механизме напора необходимые усилия и скорости не зависят от силы натяжения и скорости подъема ковша. Он может иметь цепную или канатную передачу движения напорному барабану (канатная предпочтительнее, так как амортизирует динамические нагрузки). Высокие значения напорного усилия можно реализовать при любом рабочем усилии подъема ковша. Но при этом скорость напора имеет постоянные ограниченные значения, поэтому напорный механизм включают, как правило, на короткие периоды времени.

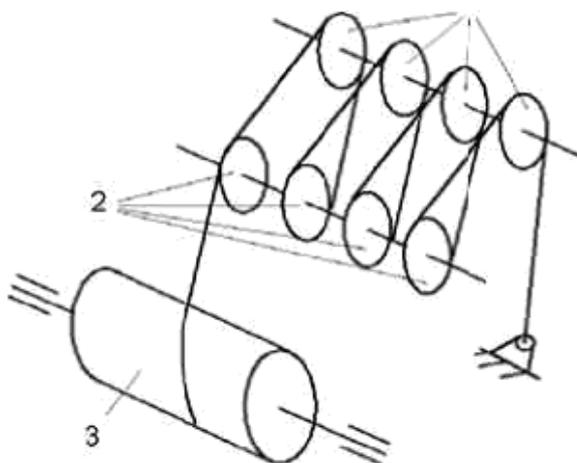
Напорное усилие регулируют включением фрикционной муфты барабана или его притормаживанием.

Далее по значимости идет *механизм поворота*. Как отмечалось, все полноповоротные одноковшовые экскаваторы имеют одинаковую базовую часть, поворотная платформа которой поворачивается с помощью опорно-поворотного устройства. Механизм поворота обеспечивает прямое и обратное вращения поворотной платформы, а поскольку поворот составляет весьма большую часть цикла ($\sim 2/3$), используют режимы ускоренного разгона и торможения.

Механизм перемещения включают довольно редко - только при передвижении на новую позицию или перебазировании на новую строительную площадку. При этом обычно ограничиваются малыми скоростями перемещения. Его основные схемы рассмотрены ранее.

Стрелоподъемный механизм включают еще реже, чем механизм передвижения. Его выполняют в виде реверсивной лебедки с червячным или другим приводом, в состав которого входит специальная обгонная муфта, предохраняющая от резкого падения стрелы.

Канат подъема стрелы (рис. 12.28) запасовывается одинаково для всех одноковшовых экскаваторов: один конец крепится на барабане, затем через систему блоков на стойке и головке стрелы канат крепится другим концом к стойке. Подвеска стрелы машин с ковшем q менее 2 м^3 состоит из четырёх канатных ветвей. В более крупных экскаваторах число ветвей составляет восемь и более.



1 - головка стрелы; 2 - стойка; 3 - барабан подъема стрелы.

Рисунок 12.28 - Схема запасовки механизма подъема стрелы

Механизм открывания днища - канатного типа. Его закрывают резким торможением подъемной лебедки.

Рабочее оборудование. Как отмечалось, конструкция ковша зависит от вида выполняемых работ и типа рабочего оборудования. Ковш прямых лопат имеет открывающееся днище, через которое выгружается грунт. В обратных лопатах и драглайнах грунт выгружается через открытую переднюю часть ковша.

Ковши прямой лопаты разделяют на тяжелые, средние и легкие. Тяжелые ковши, как правило, выполняют цельнолитыми. Легкие ковши имеют сварную конструкцию. Средние ковши имеют комбинированную конструкцию с литым козырьком и сварным корпусом.

Для уменьшения износа переднюю стенку ковша делают из износостойчивой стали. В передней части она имеет козырек, оснащенный зубьями, или сплошной режущей кромкой.

Ковш с рукоятью соединяют, как правило, с помощью шарнирных соединений, допускающих замену ковша и изменение угла его крепления к рукояти.

Днище ковша открывается под действием сил тяжести ковша и грунта, после того как запорный механизм (включающий засов днища и отверстие для него в приливе передней стенки, а также рычажный механизм и цепь или канат) освобождает засов из отверстия.

Основной параметр ковша - его вместимость q , зависящая от ширины B_k , длины L_k и высоты H_k

$$q = B_k L_k H_k \quad (12.12)$$

Они связаны между собой следующим образом:

$B_k = 1,2\sqrt[3]{q} - B_k$ - ширина ковша по внутреннему размеру;

$L_k = 0,9\sqrt[3]{q} - L_k$ - длина средней части ковша;

$H_k = 0,93\sqrt[3]{q} - H_k$ - высота ковша по внутреннему размеру, измеренная по середине его длины).

Ковши обратной лопаты состоят из сварного корпуса и литого (сварного) козырька с зубьями. Они имеют также и боковые зубья для предотвращения заклинивания при отрывке траншей. Ковши имеют закругленное неподвижное днище. Они крепятся пальцами и тягами на рукояти с отверстиями для изменения угла установки ковша.

Разгрузка производится при повороте ковша и выносе рукояти.

Ковши драглайна имеют форму совка, открытого спереди и сверху. Их конструкции бывают двух типов: арочные (универсальные) и безарочные (для мягких и средних грунтов), где вместо арки применяются трубные распорки.

Ковш состоит из сварного корпуса, козырька с проушинами и арки. Арка придаст ковшу жесткость и служит для крепления разгрузочного каната.

В комплект ковша входит упряжь, состоящая из цепей (подъемных и тяговых) и деталей, соединяющих ковш с тяговым и подъемным канатами.

Стрела представляет собой наклонную балку или ферму, нижним концом (пятой) шарнирно соединенную с поворотной платформой, а верхним - подвешенную к двуногой стойке или надстройке. В безнапорных лопатах (прямой и обратной) дополнительным звеном крепления стрелы является передняя стойка.

Различают сплошные и сквозные стрелы. В плане большинство из них имеет уширенную пяту (для лопат).

По числу балок различают одно- и двухбалочные стрелы.

Стрелы лопат имеют корпуса коробчатого или трубчатого сечения. Трубчатые стрелы при одинаковой несущей способности имеют меньшую массу по сравнению с коробчатыми.

У драглайнов стрелы в 2,0 - 2,5 раза больше стрел прямой лопаты. Стрелы драглайна представляют собой пространственные решетчатые конструкции прямоугольного, трапецеидального и треугольного сечения. Их выполняют обычно решетчатыми (сварными четырехгранными с поясами уголкового профиля, соединенными решетками из полосовой или профильной стали). Чаще всего их выполняют секционными, упрощая возможность транспортировки и изменения длины. Для драглайнов с большой вместимостью ковша применяют решетчатые трехгранные, рыбообразные и мачтово-вантовые конструкции. У последних растянутыми (вантовыми) элементами служат канаты.

При производстве специальных работ стрелы оснащаются дополнительными устройствами или приспособлениями. Так, например, для драглайна обойму блока стрелы выполняют поворотной; для грейфера в нижней части стрелы имеется устройство, удерживающее ковш от раскачивания; для копра или грейфера на головке стрелы устанавливают два блока и снабжают их защитным приспособлением для предотвращения схода канатов.

Рукоять связывает ковш со стрелой и напорным (в прямых лопатах) или

подъемным (в обратных лопатах) механизмами, придавая ковшу направленное движение.

Рукояти бывают однобалочными (при двухбалочной стреле) и двухбалочными (при однобалочной стреле). Оба вида представляют собой сварные конструкции, выполненные из листового или профильного проката. Поперечное сечение может быть прямоугольным или круглым. Их передний конец шарнирно или жестко соединен с ковшом.

Однобалочные рукояти проще по конструкции, но имеют ограниченную жесткость, поэтому применяются в экскаваторах с вместимостью ковша менее 1 м³. Двухбалочные рукояти имеют более сложную конструкцию, но и увеличенную жесткость, что обеспечивает их применение в экскаваторах с вместимостью ковша более 1 м³.

Общий расчет главных механизмов. При работе одноковшовых экскаваторов их рабочие органы, механизмы и металлоконструкции подвергаются нагрузкам, которые изменяются в широких пределах (в зависимости от операции рабочего цикла). Поэтому для определения мощности, затрачиваемой на работу основных механизмов, необходимо найти сопротивления, возникающие при выполнении отдельных операций.

Безусловно, наибольшие сопротивления развиваются при копании. Как уже отмечалось, *общее сопротивление* грунта копанию раскладывают на *касательную* P_k и *нормальную* P_n составляющие.

Напомним, что для оценки P_k обычно пользуются упрощенной формулой

$$P_k = \kappa_1 bc \quad (12.13)$$

где κ_1 - удельное сопротивление копанию зависит от свойств грунта и типа рабочего оборудования. $\kappa_1 = 0,02.. 4,0$ Мпа;

b - ширина срезаемой стружки, м;

c - максимальная толщина стружки, м.

В свою очередь, толщину можно определить по формуле

$$C = \frac{q_n}{bHk_p} \quad (12.14)$$

где q_n – номинальный объём ковша, m^3 ;

H - высота копания (она же наибольшая высота забоя), m ;

k_p - коэффициент разрыхления грунта в ковше.

После подстановки

$$P_k = \frac{k_1 q_n}{Hk_p} \quad (12.15)$$

Нормальная составляющая

$$P_n = \psi P_k \quad (12.16)$$

где ψ коэффициент пропорциональности, зависящий от режимов копания, степени затупления и др., $\psi = 0,1 \dots 0,6$.

Силы реакции грунта, действующие на ходовое оборудование, силы тяжести узлов одноковшовых экскаваторов, а также составляющие P_k и P_n являются внешними силами. Они служат отправными (исходными) данными для определения нагрузок на элементы рабочего оборудования и на механизмы, для оценки мощности и устойчивости одноковшовых экскаваторов.

Расчет подъёмного и напорного механизмов сводится к определению усилий ($S_{\text{под}}, S_{\text{нап}}$), скоростей ($v_{\text{под}}, v_{\text{нап}}$) и мощностей ($N_{\text{под}}, N_{\text{нап}}$) подъема и напора, а также кинематических параметров этих механизмов (диаметров и скоростей вращения барабана, передаточных чисел узлов трансмиссии, кратностей полиспастов и др.).

При одномоторном приводе общая мощность одноковшового экскаватора представляет собой сумму мощностей подъема и напора.

При подъеме ковша наибольшие усилия в полиспасте возникают в положении: угол наклона стрелы 45° , зубья ковша находятся на уровне оси напорного вала, рукоять горизонтальна, толщина стружки и P_Φ имеют наибольшие значения (рис. 12.29).

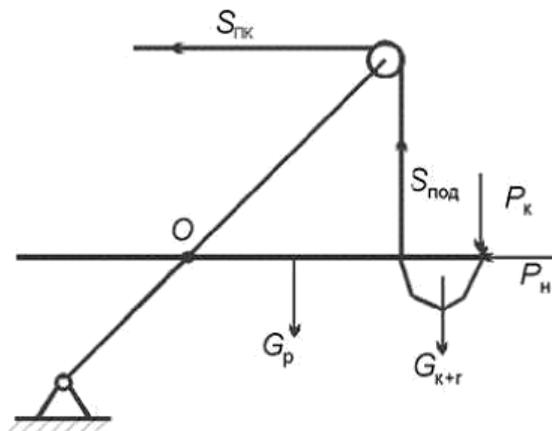


Рисунок 12.29 - Силевая схема механизма подъема ковша

Исходя из условия равновесия сил из уравнения моментов $\sum M_o = 0$ относительно точки O находят подъемное усилие

$$S_{\text{под}} = \frac{P_k r_k + G_p r_p + G_{\text{к+г}} r_{\text{к+г}}}{r_{\text{под}}} \quad (12.17)$$

где G_i — сила тяжести рукояти ковша с грунтом, Н;

r_i — плечи упомянутых сил, м.

Зная усилие на блоке ковша $S_{\text{под}}$, находим мощность привода подъема ковша $N_{\text{под}}$.

$$N_{\text{под}} = \frac{S_{\text{под}} v_{\text{под}}}{\eta} \quad (12.18)$$

где $v_{\text{под}}$ — скорость подъема ковша, м/с.

$$v_{\text{под}} = \begin{cases} 0,45 & \text{— при массе экскаватора 5 — 10 т,} \\ 0,60 & \text{— 15 — 45 т,} \\ 0,65 & \text{— 50 — 75 т} \end{cases}$$

η - КПД привода подъёма ковша. $\eta = 0,85 \dots 0,88$.

Рабочее усилие в подъемном канате $S_{\text{пк}}$ лебёдки при использовании сдвоенного полиспаста

$$S_{\text{пк}} = \frac{S_{\text{под}}}{\eta_{\sigma 1} + \eta_{\sigma 2}} \quad (12.19)$$

или

$$S_{\text{пк}} = \frac{S_{\text{под}}}{2\eta_{\text{под}}} \quad (12.20)$$

где $\eta_{\sigma 1}$, $\eta_{\sigma 2}$ - КПД каждого блока. $\eta = 0,96 \dots 0,98$;

$\eta_{\text{под}}$ - КПД подвески ковша.

Ковш крепится на двух ветвях за боковые стенки.

Максимальное усилие подъёма (в случае, если вся мощность идет на подъем, а усилие и скорость напора равны нулю)

$$S_{\text{под.мах}} = 1,5S_{\text{под}} \quad (12.21)$$

отсюда

$$S_{\text{пк.мах}} = \frac{S_{\text{под.мах}}}{\eta_{\sigma 1} + \eta_{\sigma 2}} \quad (12.22)$$

По значению $S_{\text{пк.мах}}$ выбирают диаметр каната и запас прочности (4,2 - 4,5 при малой мощности и 4,5 - 5,0 при большой мощности).

Диаметр барабана подъема ковша по диаметру каната (d_k)

$$D_{\sigma} = (27 \dots 30)d_k \quad (12.23)$$

Передаточное число механизма подъема

$$u_{\text{под}} = \frac{S_{\text{пк}} D_6}{2\eta_{\text{под}} M_{\text{н}}} \quad (12.24)$$

где $M_{\text{н}}$ - номинальный крутящий момент двигателя, Нм. Продолжительность процесса копания при подъёме ковша

$$l_{\text{к}} = \frac{L_1 - L_2}{v_{\text{под}}} \quad (12.25)$$

где L_1, L_2 - длина полиспада в начале и в конце копания, м.

При расчете напорного механизма рассматриваются три основных положения:

- 1) начало копания. Рукоять вертикальна, угол наклона стрелы 60° , ковш пустой, $S_{\text{под}}$ - расчетная, $P_{\text{н}} = 0,5P_{\text{к}}$;
- 2) конец копания. Рукоять горизонтальна, полностью выдвинута, угол наклона стрелы 60° , ковш груженный.
- 3) рукоять полностью выдвинута, груженный ковш поднят в наивысшее положение и вышел из забоя, угол наклона стрелы 60° . Реакция грунта отсутствует.

При расчёте оборудования прямой лопаты определяют *активное* и *пассивное* напорные усилия.

Активное напорное усилие затрачивается на преодоление сопротивления грунта копанию (и составляющей $S_{\text{под}}$) Пассивное усилие затрачивается только на преодоление $S_{\text{под}}$.

Итак, активное напорное усилие определяется для трех расчетных положений (затем принимается наибольшее из них):

- 1) *начало копания* (рис. 12.30, а). На систему действуют: силы тяжести $G_{\text{р}}$, $G_{\text{к}}$ усилие подъема (оно уже известно) и реакция грунта. В начале копания $P_{\text{н}} \approx 0,5P_{\text{к}}$. Из уравнения моментов относительно оси напорного вала $\sum M_0 = 0$

$$P_{\text{к}} = \frac{S_{\text{под}} l_{\text{под}} + G_{\text{р}} l_{\text{р}} + G_{\text{к}} l_{\text{к}}}{l_{\text{к}}^x} \quad (12.26)$$

где l_i - плечи сил. м.

Зная $S_{\text{под}}$, $P_{\text{к}}$, $P_{\text{н}}$, $G_{\text{к}}$ и $G_{\text{р}}$ строят многоугольник сил и определяют равнодействующую R , а также её составляющие:

- а) силу, действующую вдоль рукояти. - $S_{\text{нап}}^a$, Н;
- б) силу, ей перпендикулярную - реакцию седлового подшипника, N_c^a Н;

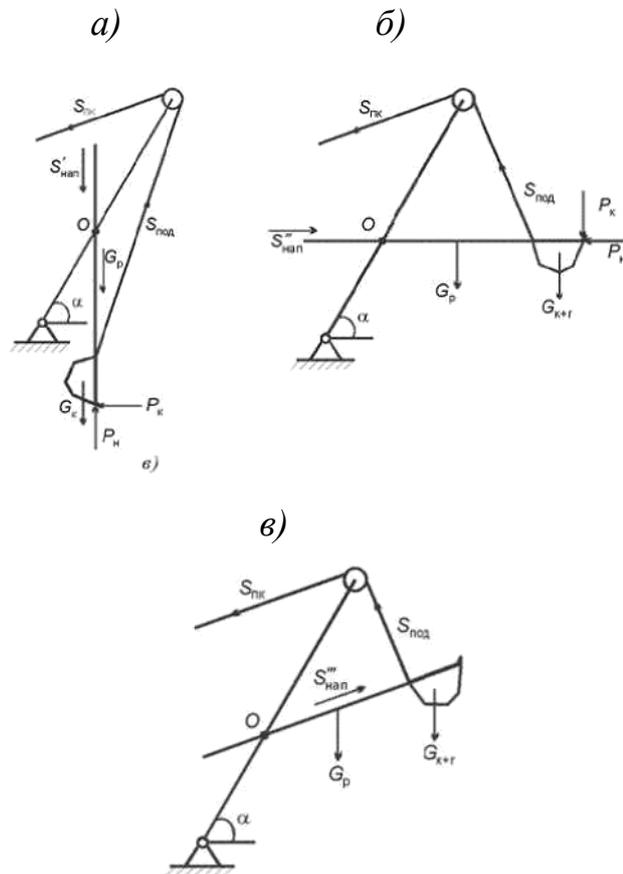


Рисунок 12.30 - Силовая схема механизма напора: а - первое; б - второе; в - третье положения

2) *конец копания* (рис. 12.30, б): зубья ковша на уровне напорного вала ($P_{\text{н}} \approx 0,2P_{\text{к}}$). Составляют уравнения моментов $\sum M_O = 0$ и решают относительно $P_{\text{к}}$.

Зная $P_{\text{к}}$, $P_{\text{н}}$, $S_{\text{под}}$ (та же, что и в первом положении), $G_{\text{к+г}}$ и $G_{\text{р}}$, составляют многоугольник сил, определяя R , а также $S_{\text{нап}}^a$ и N_c^a ;

3) *рукоять полностью выдвинута* (рисунок 12.30. в) с подъемом груженого ковша в крайнее верхнее положение (реакция грунта отсутствует $\left(\frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{к}}}\right) = 0$). Зная

$G_{\text{к+г}}$ и $G_{\text{р}}$, строят многоугольник сил и находят R , а также $S_{\text{нап}}^{a///}$ вдоль рукояти $N_c^{a///}$.

В этом положении напорное усилие удерживает рукоять с ковшем.

О пассивном напорном усилии в тяжелых грунтах. Может возникнуть необходимость копания выше напорного вала (см. положение на рис. 12.30. в), но без поступательного движения напора. Поэтому подъем груженого ковша и его удержание для разгрузки в этом положении производят пассивным напорным усилием $S_{\text{нап}}^{\text{п}}$.

Для его определения находят реакцию грунта P_k из уравнения моментов $\sum M_o = 0$. При этом принимают $S_{\text{под,мах}}$. Затем строят многоугольник сил и находят $S_{\text{нап}}^{\text{п}}$. По этому значению рассчитывают тормозные устройства.

Затем *определяют мощность напорного механизма*

$$N_{\text{нап}} = \frac{S_{\text{нап}}^{\text{а}} v_{\text{нап}}}{\eta_{\text{нап}}} \quad (12.27)$$

где $S_{\text{нап}}^{\text{а}}$ - максимальное усилие напора (из трех положений). Н;

$v_{\text{нап}}$ - скорость напора ($v_{\text{нап}} = 0,6 v_{\text{под}}$),

$\eta_{\text{нап}}$ - КПД механизма напора ($\eta_{\text{нап}} = 0,85$).

Эксплуатационную производительность ОЭ определяют следующим образом

$$П_{\text{э}} = \frac{k_{\text{в}} k_{\text{н}} q_{\text{к}}}{k_{\text{р}} T_{\text{ц}}} \quad (12.28)$$

где $k_{\text{в}}$ - коэффициент использования экскаватора по времени. $k_{\text{в}} = 0,75 \dots 0,95$;

$k_{\text{н}}$ - коэффициент наполнения ковша;

$k_{\text{р}}$ - коэффициент разрыхления грунта;

$T_{\text{ц}}$ - время цикла, с.

Основные направления совершенствования и развития одноковшовых экскаваторов связаны в основном с повышением их технического уровня и расширением технологических возможностей.

Во-первых, это *комплекс ресурсосберегающих мероприятий*, к которым относятся:

- снижение удельных показателей материало- и энергоёмкости при повышении производительности;
- совершенствование систем управления механизмами и агрегатами с использованием бортовых компьютеров и микропроцессорной техники; в том числе применение системы электронного управления, регулирующей мощность двигателя в зависимости от нагрузки и защищающей его от перегрузок;
- развитие автоматизации рабочего процесса экскавации;
- создание энергосберегающих устройств, обеспечивающих существенное снижение потерь энергии и экономию топлива за счет совершенствования конструкций экскаваторов и их рабочего процесса;
- взаимозаменяемость силовых агрегатов, обеспечивающих возможность использования не только дизельного, но и электрического привода;
- повышение надежности, в том числе ремонтпригодности путем расширенного применения модульных конструкций и унифицированных агрегатов в механизмах хода и поворота, трансмиссии и системе управления.

Во-вторых, *методы и средства, направленные на расширение технологических возможностей экскаваторов:*

- повышение универсальности путем увеличения количеств сменного рабочего оборудования;
- создание новых типов машин за счет применения эффективных физических и других методов (вакуумные экскаваторы и др.);
- расширение типоразмерного ряда путем разработки как миниэкскаваторов, так и экскаваторов большой единичной мощности;
- расширение технологических возможностей малогабаритных экскаваторов в стесненных условиях, а также на площадках ограниченных размеров за счет смещения оси копания, конструкции поворотной платформы, на выступающей за пределы габаритов ходовой тележки;
- модернизация существующих машин за счет их оснащения легкосъёмными рабочими органами многофункционального назначения.

В-третьих, совершенствование систем безопасности, а также улучшение эргономических и экологических характеристик экскаваторов:

- применение систем безопасности, обеспечивающих постоянный контроль позиции стрелы (во избежание соударений с кабиной), что актуально на площадках ограниченных размеров;
- автоматическое гашение колебаний рабочего оборудования в рабочем режиме;
- повышение степени комфорта кабины оператора (на уровень легковых автомобилей) за счет оснащения системами кондиционирования, эргономичного расположения приборов и рукоятей управления, оптимального кругового обзора, а также вибро- и звукозащиты;
- минимизация воздействия на окружающую среду за счет пониженного давления на грунт (до 0.02 МПа) путем увеличения размеров гусеничных лент по ширине и длине, а также путем применения резиновых гусеничных звеньев;
- разработка конструкции кабин со встроенной защитой от падения кусков грунта.

12.3 Многоковшовые экскаваторы

Многоковшовые экскаваторы (МЭ) являются наиболее распространенными землеройными машинами непрерывного действия. Они выполняют основной объем земляных и открытых горных работ, который приходится на машины непрерывного действия в целом, в частности, разработка выемок и сооружение насыпей, а также планировочные работы и сооружение откосов.

В отличие от одноковшовых экскаваторов МЭ являются специализированными машинами, конструктивные схемы которых значительно отличаются друг от друга.

Они разрабатывают грунт выше уровня стоянки (МЭ верхнего копания) или ниже (МЭ нижнего копания). Современные экскаваторы в основном могут работать как верхним, так и нижним копанием. Разработанный грунт передается на транспортирующие устройства (входящие в состав этих экскаваторов), которые передают его на специальные разгружающие устройства (у экскаваторов большой

мощности) или же непосредственно разгружают в транспортные средства или в отвал. (В некоторых случаях транспортировка грунта производится только рабочим органом, который и передает грунт на разгрузочные устройства.)

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

Различают разнообразные типы МЭ. Приведем следующую классификацию, представленную на рисунке 12.3.



Рисунок 12.31 - Классификация МЭ

Итак, МЭ классифицируют, прежде всего, по виду рабочего оборудования: цепные (скребковые и ковшовые), роторные, шнековые и комбинированные.

По способу работы (по характеру перемещения рабочего органа) различают МЭ продольного, поперечного и радиального копания.

У экскаваторов продольного копания направление резания (копания) совпадает с направлением перемещения рабочего органа.

К этой группе машин относятся машины с цепными и роторными рабочими органами ковшового и бесковшового (скребки, плужки) типа, предназначенные для создания траншей, канав прямоугольного и трапецеидального типа.

У МЭ поперечного копания направление резания перпендикулярно направлению перемещения экскаватора. К этой группе относятся машины, в основном, с

цепным рабочим органом ковшового типа, предназначенные для карьерных, планировочных и мелиоративных работ. Они обладают наибольшей эффективностью при производстве сосредоточенных земляных работ большого объёма.

У МЭ радиального копания рабочий орган в виде ковшового колеса (ротора) вращается на конце стрелы, которая, в свою очередь, во время разработки грунта поворачивается вокруг вертикальной оси (одновременно с вращением ротора).

Карьерные экскаваторы радиального копания, выполненные на базе одноковшовых экскаваторов, имеют производительность в 1,5-1,7 раза выше, чем одноковшовые экскаваторы той же массы.

Для начала рассмотрим принципиальные схемы основного рабочего органа экскаваторов - цепного и роторного.

Экскаваторам продольного копания присваивается индекс ЭТР (экскаватор траншейный роторный) или ЭТЦ (экскаватор траншейный цепной); экскаваторы поперечного копания имеют индекс ЭМ. радиального копания - ЭР. После буквенного индекса следует цифровое обозначение, которое содержит следующую информацию:

- для экскаваторов продольного копания (ЭТР и ЭТЦ) первые две цифры обозначают глубину копания (в дм), третья цифра - порядковый номер модели;
- для экскаваторов радиального копания первые три цифры обозначают вместимость ковша (в л), а четвертая - порядковый номер модели;
- для экскаваторов поперечного копания первые две цифры обозначают вместимость ковша (в л), третья цифра - порядковый номер модели.

При модернизации после цифрового обозначения добавляют буквы по порядку русского алфавита. Далее указывается климатическое исполнение аналогично обозначению для ГОЭ. Например, индекс ЭТР-206А обозначает: экскаватор траншейный роторный, глубина копания - 20 дм (2,0 м), шестая модель - 6, первая модернизация - А.

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

Ковши обычно саморазгружающиеся. открытые спереди и сверху, с проу-

шинами 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.

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 или же свободно провисать.

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 их используют для работы в однородных грунтах, например, на многоковшовых экскаваторах 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. к. ковши могут быть наполнены неодинаково), но зато они относительно свободно обходят непреодолимые препятствия в грунте. В частности, при встрече с камнем ковш отклоняется и обходит его. 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.

Во время движения вдоль забоя ковш снимает стружку шириной b и толщиной h_c .

Для многоковшовых экскаваторов поперечного копания она зависит от скорости перемещения экскаватора и всегда меньше ширины ковша. $b_c < b_k$.

Для многоковшовых экскаваторов продольного копания ширина стружки равна ширине ковша. $b_c = b_k$. В этом случае толщина снимаемой стружки

$$h_c = \frac{q_k K_H}{b L_{kp}} \quad (12.29)$$

где q_k - вместимость ковша, м³;

k_n - коэффициент наполнения;

L - длина забоя, м.

k_p - коэффициент разрыхления;

В бесковшовом органе режущие элементы закреплены на цепи. Срезаемый грунт увлекается вдоль забоя ими или же специальными транспортирующими элементами.

В этом случае толщина стружки

$$h_c = \frac{h_0 k_3}{n k_p} \quad (12.30)$$

где h_0 - высота режущих (транспортирующих) лопаток, м;

k_3 - коэффициент заполнения рабочего пространства, $k_3 = 0,3 \dots 0,5$;

n - число режущих элементов, одновременно находящихся в забое.

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

Для многоковшовых экскаваторов с ковшовым органом

$$\Pi_{\text{тех}} = \frac{q_k n k_n}{k_p} \quad (12.31)$$

где n - число разгрузок в единицу времени.

Для многоковшовых экскаваторов с бесковшовым органом

$$\Pi_{\text{тех}} = \frac{v_p F_p k_3}{k_p} \quad (12.32)$$

где v_p - скорость движения рабочих или транспортирующих элементов, м/с;

F_p - площадь сечения рабочего пространства, м².

12.4 Траншейные многоковшовые 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 $q_k = 15... 250$ л (обычно 20 - 150 л, бывает до 2000 л).

Траншейные многоковшовые 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 (как правило, ленточный конвейер);
- 3) вспомогательного оборудования для управления рабочим органом и другими механизмами.

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

Это самоходные землеройные машины непрерывного действия с многоковшовым или бесковшовым (скребковым, плужковым, зубчатым) рабочим органом. При своем перемещении они разрабатывают (за собой) за один проход траншею заданных параметров (глубины, ширины, профиля) с одновременной транспортировкой грунта в сторону от траншеи.

Их рабочие органы непрерывно перемещаются по замкнутому контуру при одновременном перемещении траншейного экскаватора. Их производительность $P_{эТ} = (2... 2.5)P_{оэ}$ при более высоком качестве работ и меньших энергозатратах ($P_{оэ}$ - производительность одноковшового экскаватора такой же мощности).

Они разрабатывают как мерзлые, так и немёрзлые грунты.

Типы и параметры траншейных экскаваторов определены ГОСТ 19618-85.

Траншейные экскаваторы эффективны при работе на прямолинейных участках большой протяженности (с минимальными пионерскими выемками одноковшовыми экскаваторами для ввода траншейных экскаваторов).

Их классифицируют по следующим признакам:

- 1) по типу рабочего органа разделяют цепные (ЭТЦ) и роторные (ЭТР);
- 2) по способу соединения рабочего оборудования с базовым тягачом - навесным и полуприцепным;
- 3) по типу ходового оборудования базового тягача - гусеничные и пневмоколёсные;
- 4) по типу привода: с механическим, гидравлическим, электрическим и комбинированным (наиболее распространенным).

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 цепные 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 изменения скоростей передвижения.

Скорость движения копания рабочего органа и скорость подачи (т.е. передвижения траншейного экскаватора) подбирают такими, чтобы независимо от глубины траншей обеспечивать 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:

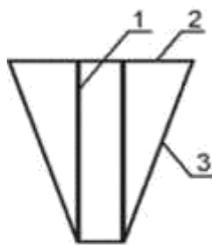
- для ЭТЦ - 5-800 м/ч;
- для ЭТР - 10-500 м/ч.

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.

В устойчивых грунтах траншею роют без откосов, в менее устойчивых - с откосами. Для этого рабочие органы дооборудуют пассивными ножевыми цепными откосниками.

Ножевые откосники (рис. 12.33) устанавливают с двух сторон ротора, закрепляя их неподвижно на кронштейнах рамы.



1 - рама; 2 - кронштейн; 3 - откосник.

Рисунок 12.33 - Схема пассивного откосника

При движении они отделяют грунт в зоне откосов и обрушивают вниз, где он захватывается ковшами.

Активные цепные откосники устанавливают на траншейных цепных экскаваторах.

Они имеют вид цепей с закрепленными в звеньях зубьями. Каждая из двух дополнительных цепей одним концом крепится на балансирах (качающемся относительно ковшовой рамы), а другим - на пальце, расположенном эксцентрично на натяжной звездочке основной цепи. Дополнительные цепи получают возвратно-поступательное движение и пропиливают грунт в зоне откоса.

В качестве транспортирующих органов используют ленточные конвейеры (рис. 12.34).

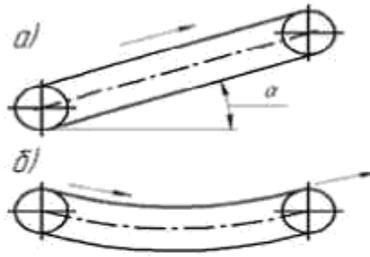


Рисунок 12.34 – Схема ленточных конвейеров

Их особенность состоит в малой длине, вследствие чего очень важным фактором является условие разгона грунта на конвейерной ленте, в частности, использование кинетической энергии для увеличения дальности отбрасывания. Привод отбрасывающего ленточного конвейера может осуществляться механической передачей от вала отбора мощности тягача или гидромотором, питающимся рабочей жидкостью от отдельного насоса.

12.5 Экскаваторы траншейные цепные (ЭТЦ)

Рабочее оборудование ЭТЦ включает:

- ковшовую цепь;
- отвальный конвейер;
- механизмы управления;
- передаточные и подъемные механизмы.

Основной рабочий орган - цепь, на звеньях которой крепятся рабочие элементы (ковши, плужки, скребки или резцы). На раме крепятся приводные и натяжные звездочки, которые охватывает цепь с присоединенными ковшами.

Верхняя ветвь опирается на поддерживающие ролики, а нижняя (рабочая) свободно провисает (или перемещается в направляющих).

Цепи обычно бывают двухрядными (реже - трёхрядными) и однорядными.

Для отрывания узких траншей на цепи вместо ковшей крепятся плужки или скребки.

Для прорезания щелей в мерзлых полускальных грунтах используют рабочий орган, имеющий одну (реже - две) цепь с зубьями (бар).

Однорядную цепь также используют для плужковых и скребковых рабочих элементов.

Для ковшовой цепи применяют раму коробчатого сечения, в случае скребков и плужков - легкую раму трубчатого или решетчатого сечения.

В нижней части рамы располагают устройство для натяжения цепи.

ЭТЦ с вертикальной ковшовой рамой (или со скребковым рабочим оборудованием) имеют подпружиненное натяжное устройство.

ЭТЦ с наклонным рабочим органом и ковшовым рабочим оборудованием снабжают жестким не подпружиненным натяжным устройством.

Приводной вал и вал приводных звездочек ЭТЦ с ковшовым оборудованием оснащены предохранительными устройствами (муфтами предельного момента) на случай встречи рабочих органов с непреодолимым препятствием.

В качестве отвального устройства применяют ленточные, скребковые и шнековые конвейеры, а также метатели. Как отмечалось, наиболее распространены ленточные конвейеры.

Отвальные шнеки используют в малых ЭТЦ с плужковым и скребковым рабочим оборудованием. В ряде случаев на скребковых ЭТЦ применяют, вместо шнеков, скребковые цепные конвейеры.

Привод этих экскаваторов, как правило, однодвигательный (дизель тракторного типа). Передаточные механизмы осуществляют копание, собственное рабочее перемещение, перемещение отвального конвейера, изменение (подъем-опускание) положения рабочего органа, транспортное перемещение.

Привод ходового оборудования при пониженных рабочих скоростях (и при бесступенчатом регулировании в диапазоне 20-800 м/ч) осуществляется с помощью гидромеханического ходоуменьшителя, который включен в трансмиссию базового трактора.

Гидромеханическое ходовое устройство представляет собой многоступенчатый цилиндрический редуктор с приводом от гидромотора (аксиально-поршневого). Гидромотор приводится гидронасосом с приводом через редуктор от двигателя внутреннего сгорания. При транспортных скоростях ходоуменьшитель отключается.

Используют механические и гидромеханические трансмиссии.

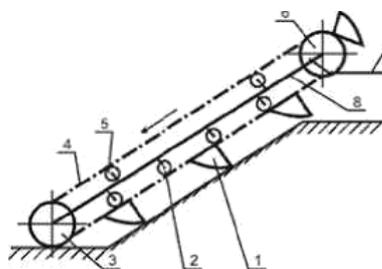
Как правило, гидромеханическими трансмиссиями приводят механизмы, не требующие затрат большой мощности (механизмы подъема рабочего органа и рабочего передвижения экскаватора, в ряде случаев - привод ленты конвейера).

Механические трансмиссии используют для привода механизмов, потребляющих большую мощность и не требующих плавного регулирования скорости в широком диапазоне (приводы рабочих органов и транспортного передвижения траншейного цепного экскаватора).

Для эффективной работы в различных грунтах и при различных сечениях отрываемых выемок рабочий орган должен иметь не менее двух-трех рабочих скоростей.

Цепной ковшовый рабочий орган состоит из двух (как правило) длиннозвенных замкнутых цепей с ковшами. Каждая из них огибает в верхней части приводную звездочку, а в нижней - натяжное (направляющее) колесо (рис. 12.35). Рама направляет движение ковшовой цепи и определяет глубину траншеи (в зависимости от угла наклона).

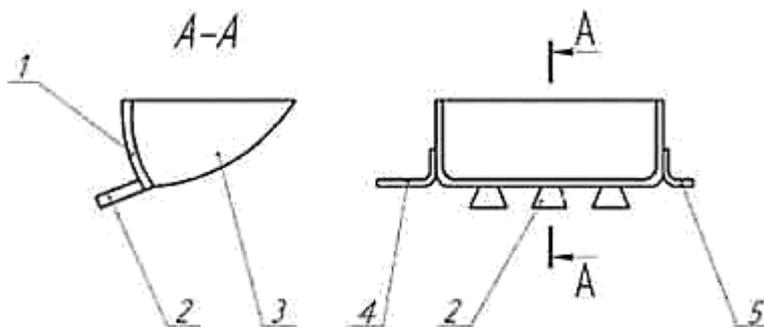
Ковш закреплен на цепях только в передней части (kozyрьком), поэтому в верхней точке при огибании цепями звездочек ковш опрокидывается, вращаясь относительно оси вала (его хвостовая часть поднимается кверху, разгружая грунт на отвальный конвейер).



1 - ковш; 2 - опорный ролик; 3 - натяжное колесо; 4 - цепь; 5 - поддерживающий ролик; 6 - приводная звездочка верхнего вала; 7 - зона разгрузки; 8 - рама.

Рисунок 12.35 - Рабочие органы ЭТЦ

Для изменения ширины траншеи траншейный цепной экскаватор имеет два комплекта ковшей разной ширины. Для небольшого изменения ширины траншеи устанавливают зубья-уширители (рис. 12.36).



1 - козырек; 2 - передний зуб; 3 - корпус; 4 – уширитель; 5 - боковой зуб.

Рисунок 12.36 - Схема размещения зубьев-уширителей

Для резки слабых грунтов используют беззубые ковши со сплошной режущей кромкой.

Ковши являются саморазгружающимися, открытыми спереди и сверху, с проушинами на боковых стенках для крепления к цепи. Корпус ковша выполняют из листовой стали. Необходимая жесткость достигается с помощью утолщенного козырька (из марганцовистой или хромоникелевой стали). Зубья оснащают твердосплавными пластинами, которые напаивают или наплавляют на передние грани зубьев.

Для улучшения разгрузки грунта в ЭТЦ вместо ковшей используют комбинированные устройства, которые состоят из закрепленных на арочном козырьке резцов и скребков.

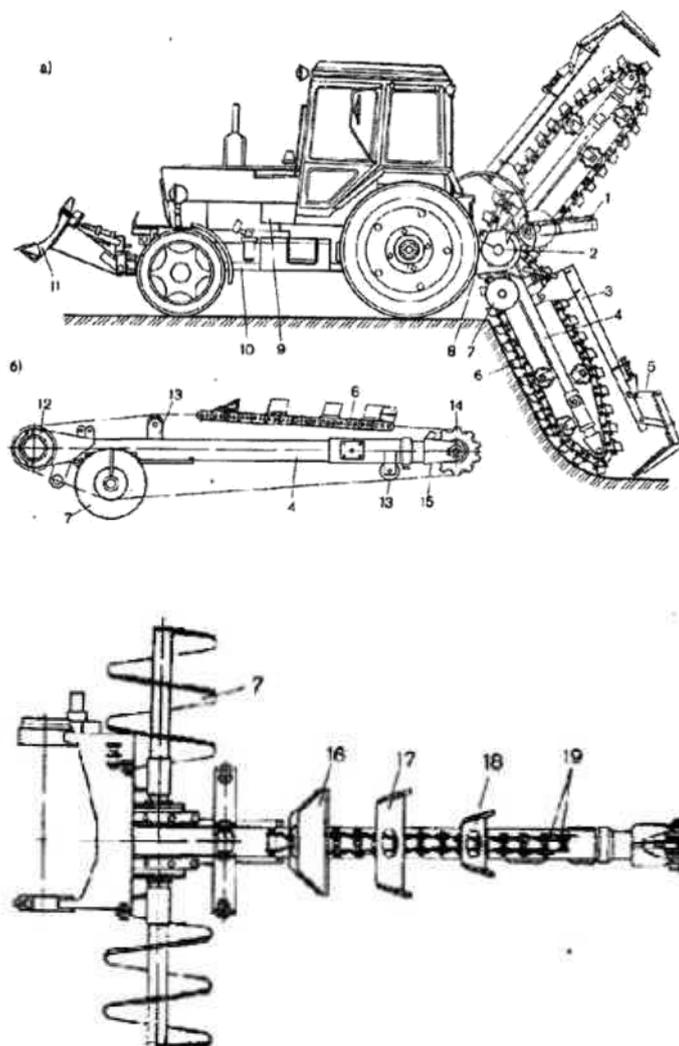
В пределах траншеи грунт от просыпания удерживается стенками и грудью забоя, а при выходе из траншеи - лотком, заканчивающимся в начале зоны разгрузки грунта на отвальный конвейер.

Цепные траншейные экскаваторы выпускают на базе пневмоколёсных и гусеничных тракторов и оснащают одноцепным (ЭТЦ-165А) и двухцепным (ЭТЦ-151, ЭТЦ-252А) скребковым рабочим органом для разработки не мерзлых грун-

тов, а также специальным цепным рабочим органом с резцами (ЭТЦ-208В) для разработки мерзлых грунтов.

Экскаватор ЭТЦ-165А (рис. 12.37) на базе колесного трактора МТЗ-82 предназначен для рытья траншей прямоугольного профиля глубиной до 1,65 м и шириной 0,2 - 0,4 м в однородных грунтах 1 - III категорий. Вместо основного рабочего на трактор может быть навешено сменное буровое оборудование для нарезания щелей шириной 0,14 м и глубиной до 1,3 м в мерзлых фунтах.

В комплект навесного экскаваторного оборудования входят: цепной рабочий орган с зачистным башмаком и отвальным шнековым конвейером, механизм подъема-опускания рабочего органа и гидромеханический ходоуменьшитель. Однорядная цепь 6 рабочего органа установлена на ведущей 12 и ведомой 14 звездочках, она имеет сменные резцы 17-19 (для послойного срезания грунта) и сменные скребки 16 (для подъема фунта из траншеи), которые располагают на цепи по схеме, способствующей равномерному распределению нагрузки. Цепь установлена на рамс 4 шарнирно закрепленной на базовом тракторе, и опирается на ролики 13. Ведущая звездочка 12 цепи на приводном валу 2 подуцает вращение от вала отбора мощности базового трактора К) через трехступенчатый редуктор 8 с переменным передаточным числом, обеспечивающим четыре рабочие скорости (от 0,8 до 2,1 м/с) и реверсивный ход цепи. В редукторе привода цепи установлена предохранительная фрикционная муфта предельного момента. Натяжение цепи регулируют перемещением натяжной звездочки 14 винтовым натяжным устройством 15. Перемещение фунта в боковые отвалы производят два шнека 7 отвального конвейера, установленного на рамс рабочего органа. Шнеки приводятся во вращение скребковой цепью. К дополнительной раме 3 рабочего органа крепится сменный башмак 5 для зачистки дна траншеи.



a - общий вид; *б* - рабочий орган.

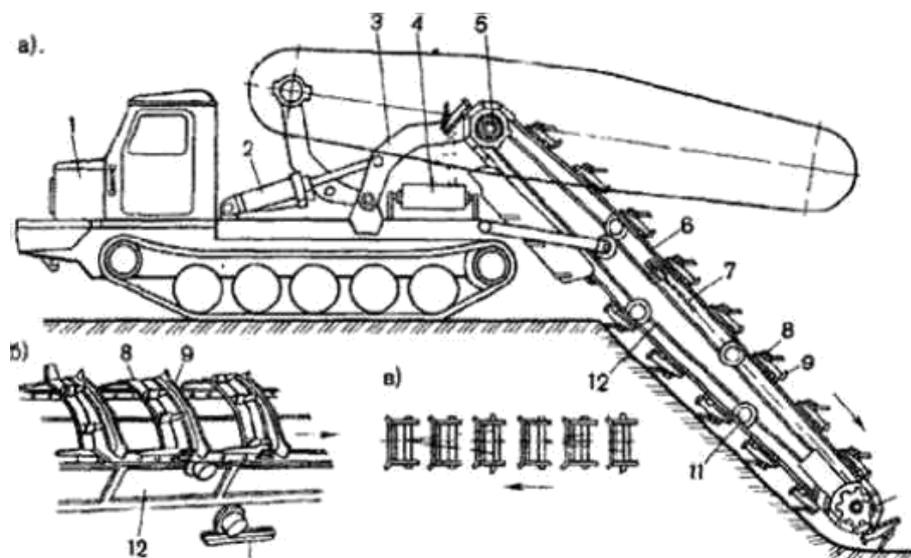
Рисунок 12.37 – Экскаватор ЭТЦ-165А

Заглубление рабочего органа в грунт, а также его подъем (при переводе в транспортное положение) осуществляют гидравлическим подъемным механизмом 1. гидроцилиндр которого связан с рабочим органом рычажной системой.

Для получения пониженных рабочих скоростей движения машины при копании траншей и их бесступенчатого регулирования в диапазоне от 20 до 800 м/ч в трансмиссию базового трактора включен гидромеханический ходоуменьшитель 9 в виде многоступенчатого цилиндрического редуктора с приводом от аксиально-поршневого гидромотора. При транспортных переездах машины ходоуменьшитель отключается. Гидромотор ходоуменьшителя, гидроцилиндры механизма подъема рабочего органа и управления отвалом бульдозера питаются рабочей

жидкостью, подаваемой гидронасосами, приводимыми от дизеля через редуктор, а управление ими ведется из кабины машиниста с помощью двух золотниковых гидрораспределителей.

Рабочий орган экскаватора ЭТЦ-252А (рисунок 12.38) включает наклонную раму 12 коробчатого сечения, шарнирно прикрепляемую сиди к тягачу 1 и обегачающие раму замкнутые пластинчатые цепи 6, к которым на одинаковом расстоянии друг от друга крепятся режущие элементы скребкового типа 8 и транспортирующие заслонки 9, образующие подобие ковшей. В передней части рамы смонтирован приводной (турасный) вал с двумя ведущими звездочками 5 цепей и предохранительной муфтой предельного момента, в задней - натяжные звездочки 10 цепей с винтовым натяжным устройством. На раме установлены также промежуточные ролики 11, поддерживающие рабочие ветви цепей и уменьшающие провисание их холостых ветвей. Для увеличения глубины копания раму рабочего органа удлиняют дополнительной вставкой, увеличивают длину цепей и количество скребков. Скребки на рабочем органе размещены по специальной схеме (рис. 12.38, в), обеспечивающей наименьшую энергоемкость процесса копания. При движении тягача вперед и одновременном движении скребковой цепи относительно наклонной рамы, скребки отделяют грунт от массива, а заслонки поднимают его из траншеи на высоту приводных звездочек цепи, при огибании которых грунт выгружается на поперечный (к продольной оси движения машины) ленточный конвейер 4 и отбрасывается им в сторону от траншеи. Глубина отрываемой траншеи зависит от угла наклона рамы рабочего органа и регулируется механизмом ее подъема, включающим два гидроцилиндра 2 и два рычага 3. При копании траншей с наклонными стенками на рабочем органе устанавливаются активные цепные откосники 7. Верхние концы цепей шарнирно прикреплены к качающемуся балансирному рычагу с центральным шарниром, нижние - к эксцентрично установленным пальцам натяжных звездочек 10 рабочего органа, сообщающих откосообразователям возвратно-поступательное движение.



a - общий вид; *б* рабочий орган; *в* - схема размещения скребков.

Рисунок 12.38 - Экскаватор ЭТЦ-252А

Как уже отмечалось, очень важным аспектом анализа работы траншейного цепного экскаватора является оптимальный подбор скорости копания рабочим органом и скорости экскаватора, т. е. скорости подачи.

При оценке параметров траншейных цепных экскаваторов исходят из предположения о максимальной заполняемости ковшей и выносной способности экскаватора.

Производительность выражается следующей формулой через характеристики ковшей

$$\Pi = \frac{q_k n k_n}{k_p} \quad (12.33)$$

где q_k - вместимость ковша, м³;

n - число разгрузок в единицу времени;

k_n - коэффициент наполнения;

k_p - коэффициент разрыхления.

С учетом того, что

$$n = \frac{v_{ц}}{l_k} \quad (12.34)$$

где $v_{ц}$ – скорость цепи, м/с;

$l_{к}$ – шаг ковшей (т. е. расстояние между ними), формулу (12.34) можно записать в виде

$$n = q_{к} \frac{v_{цкн}}{l_{ккр}} \quad (12.35)$$

При работе неизбежны неполное использование мощности ЭТЦ и снижение производительности, а выражение (12.35) показывает, как можно повысить производительность ($\Pi \approx v_{ц}/t_{к}$). Увеличение $v_{ц}$ ограничивается условиями динамики и износа, поэтому обычно $v_{ц} < 1$ м/с. Шаг $l_{к}$ при обычной гравитационной разгрузке через заднюю кромку ограничен условиями разгрузки. Необходимо, чтобы грунт не высыпался из переднего ковша в следующий за ним (т. е. время падения грунта из разгружающегося ковша должно быть меньше времени перемещения кромки следующего ковша до линии падения грунта).

С другой стороны, производительность через параметры траншеи имеет вид

$$\Pi = bhv_{э} \quad (12.36)$$

где b - ширина траншеи, м;

h - глубина траншеи, м;

$v_{э}$ - скорость траншейного цепного экскаватора, м/с.

Сопоставляя (12.35) и (12.36), получаем

$$v_{э} = \frac{q_{к}v_{цкн}}{t_{к}bhкр} \quad (12.37)$$

т. е.

$$v_{э} \approx \frac{v_{ц}}{t_{к}} \quad (12.38)$$

Таким образом, v_3 характеризует оптимальную скорость движения, обеспечивающую максимальную техническую производительность. Между тем, выражение (12.37) получено для наиболее благоприятного случая (слабые грунты и т. д.).

Анализируя выражение (12.37), можно отметить необходимость обеспечения v_3 в широком диапазоне, т. е. бесступенчатого регулирования v_3 .

12.6 Экскаваторы траншейные роторные (ЭТР)

ЭТР состоит из тягача с силовой установкой и платформой, а также рабочего оборудования (рис. 12.39).

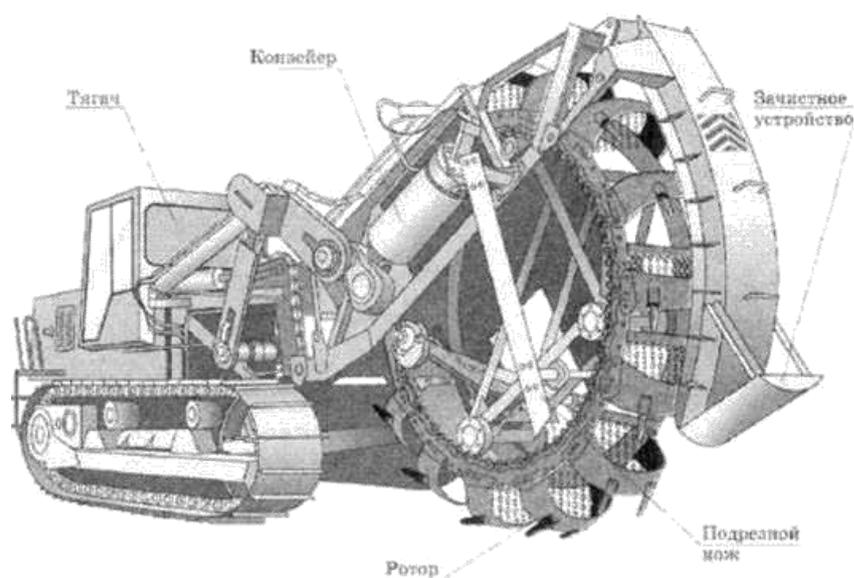


Рисунок 12.39 -Экскаватор траншейный роторный

Рабочее оборудование включает:

- ковшое колесо (ротор);
- отвальный конвейер;
- механизмы управления;
- передаточные и подъемные механизмы;
- поддерживающие металлоконструкции.

Основной рабочий орган - ротор. Как правило, колесо ротора состоит из двух колец, соединенных ковшами и образующих с ними жесткую конструкцию.

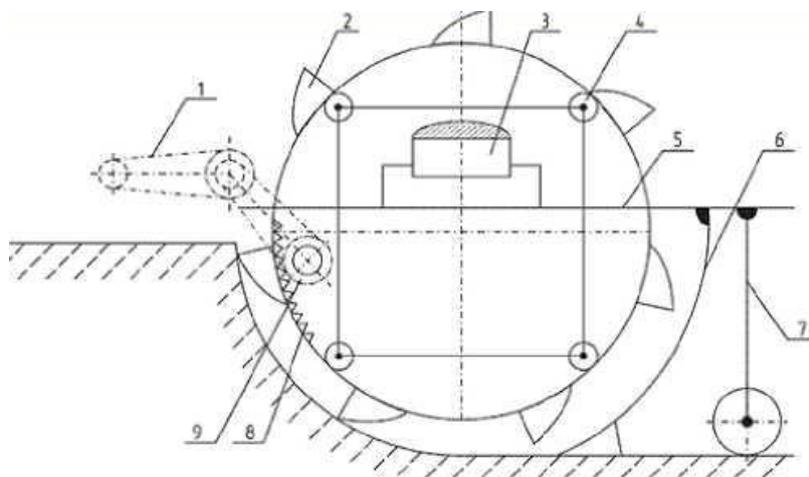
На внутренних торцах колец установлен зубчатый венец для сообщения ротору вращения. Внутренняя поверхность зубчатого венца обычно является беговой дорожкой для поддерживающих и направляющих роликов. Беговые дорожки колец ротора образованы отдельными сегментами, отлитыми как одно целое с зубьями зубчатых венцов.

Для широких траншей используют роторы, состоящие из трех колец. Для узких траншей используют ротор однодисковый (коробчатого сечения) с зубодержателями.

Для рытья каналов полного профиля (за один проход) используют экскаваторы-каналокопатели. Их подразделяют на плужно-роторные, двух-роторные и шнеко-роторные.

Ротор (рис. 12.40) устанавливают внутри рамы (пространственной металлической конструкции, удерживающей его в необходимом рабочем или транспортном положении). Рама также является опорой для отвального конвейера, механизма привода ротора и т.д. (В плане рама имеет прямоугольную конфигурацию).

Ротор центрируется на раме двумя парами поддерживающих и двумя (или одной) парами направляющих роликов, которые воспринимают от него рабочие нагрузки и передают их (через оси, на которых они установлены), на раму рабочего оборудования. В рабочем режиме все ролики работают как направляющие, в транспортном - верхние поддерживают ротор; на малых моделях ЭТР нижние задние ролики упразднены, т.к. они менее всего нагружаются.



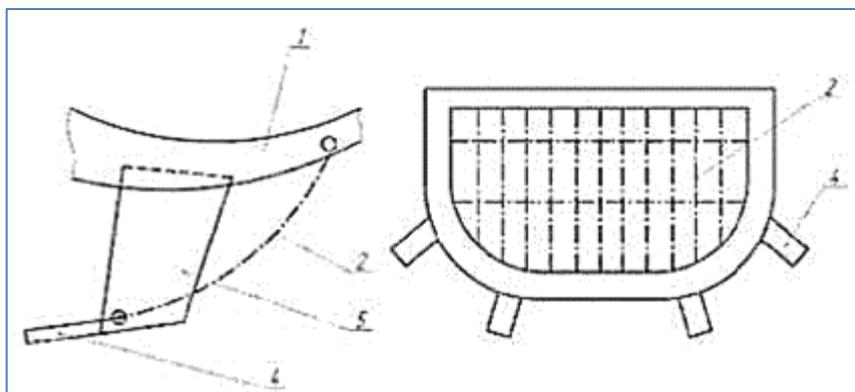
1 - шарнирно-сочлененная цепная передача; 2 -ковш; 3 - отвальный конвейер-

ер; 4 - ролики; 5 - рама; 6 - зачистной башмак; 7 - дополнительная пневмоколесная тележка; 8 - зубчатый венец; 9 - ведущая шестерня

Рисунок 12.40 - Схема рабочего оборудования ЭТР

Передний конец рабочей рамы связан со сцепным устройством, соединяющим рабочее оборудование с тягачом. Оно должно воспринимать вертикальную составляющую реактивного усилия при любых положениях рабочего оборудования как в навесном, так и в полуприцепном исполнениях.

Ковши ротора (рис. 12.41) саморазгружающиеся, открытые спереди и сверху.

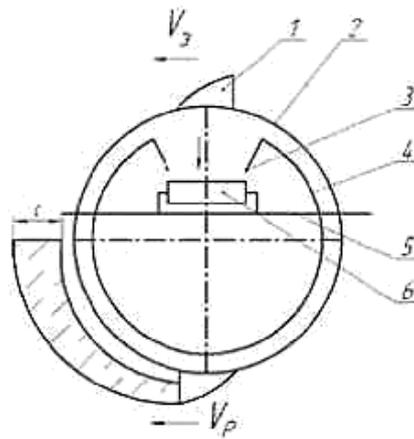


1 – обечайка роторного колеса; 2 – цепи; 3 – козырёк; 4 – зуб.

Рисунок 12.41 – Ковш ротора

Ковш состоит из арочного козырька с установленными в его передней части зубьями и днища из переплетенных в двух направлениях цепей. Сплошные днища применяют реже, так как они хуже разгружаются из-за залипания грунта.

Ротор вращается (v_p) и одновременно перемещается вперед (v_v). Внутри колеса ротора устанавливают отвальный конвейер, опирающийся на раму. На его ленту грунт сыпается (с верхней точки колеса) под действием собственной силы тяжести. От просыпания грунта внутрь ротора предохраняет неподвижно установленная на раме обечайка в виде защитного кожуха (рис. 12.42).



1 - ковш; 2 - ротор; 3 - течка; 4 - защитный кожух; 5 - рама; 6 конвейер.

Рисунок 12.42-Схема перемещения ротора

При этом снимается стружка толщиной

$$h_c = \frac{q_k K_n}{свК_p} \quad (12.39)$$

где c - подача (длина пути ротора, приходящаяся на один ковш и равная толщине в горизонтальном направлении).

Различают много- и однодвигательные ЭТР. У многодвигательных главный двигатель – это, как правило, дизель тракторного типа. Он приводит в действие электрогенератор, который, в свою очередь, питает электродвигатели ротора, механизма рабочего перемещения, конвейера и гидросистемы экскаватора. (Механические и гидравлические трансмиссии приводятся от этих двигателей).

При однодвигательном экскаваторе трансмиссии для передачи энергии ко всем исполнительным механизмам начинаются от двигателя.

В этом случае в трансмиссию входят:

- раздаточный редуктор (одновременно насосная станция и приводной механизм рабочего хода);
- редуктор привода ротора;
- элементы трансмиссии трактора (коробка передач, задний мост, бортовые редукторы).

В качестве примера можно привести экскаватор ЭТР-204А (рис. 12.43).

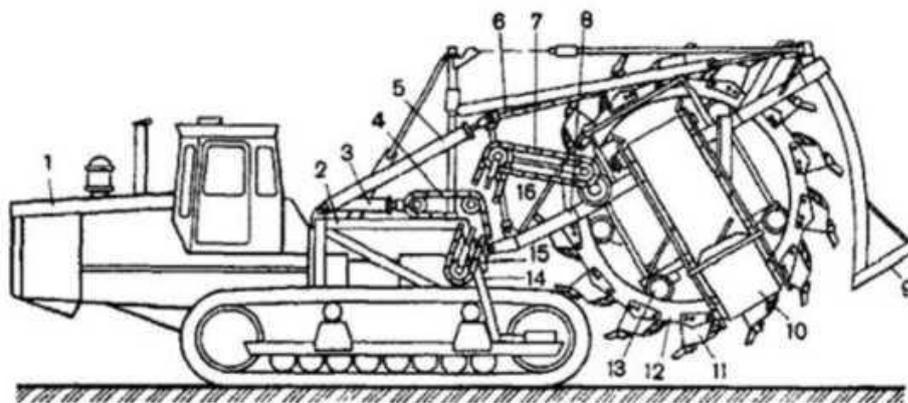


Рисунок 12.43- Экскаватор ЭТР-204А

Экскаваторы ЭТР-204А, а также ЭТР-223А и ЭТР-224А предназначены для рытья траншей прямоугольного и трапецеидального профиля в грунтах I-IV категорий, а также в мерзлых грунтах при глубине промерзания верхнего слоя не более 1,0 - 1,2 м. Они представляют собой группу унифицированных машин на базе трактора Т-130МГ с одинаковой кинематической схемой и механическим приводом рабочего органа. Гусеничный движитель тягача имеет увеличенные габариты (по ширине и длине) для повышения устойчивости экскаватора и исключения обрушения стенок траншеи при движении.

Экскаватор ЭТР-204А (см. рис. 12.43) состоит из гусеничного тягача 1 и навесного рабочего органа, шарнирно соединённых между собой в вертикальной плоскости. Рабочий орган машины - ротор 12, опирающийся на четыре пары роликов 13 с ковшами 11, внутри которого помещен поперечный двухсекционный ленточный конвейер 10, состоящий из горизонтальной и наклонной (откидной) секций. За ротором установлен зачистной башмак 9.

В трансмиссию тягача включён гидромеханический ходоуменьшитель для бесступенчатого регулирования рабочих скоростей движения при копании траншей. На тягаче установлена дополнительная рама 2 с размещенными на ней механизмами привода 7 и подъема-опускания рабочего органа.

Рама имеет две наклонные направляющие 14, по которым с помощью пары

гидроцилиндров 3 и двух пластинчатых цепей 4 гидравлического подъемного механизма перемещаются ползуны 15 переднего конца рамы 8 рабочего органа при его переводе из транспортного положения в рабочее и обратно. Подъем и опускание задней части рабочего органа осуществляются парой гидроцилиндров 5, штоки которых шарнирно прикреплены к верхней части стоек 16, связанных с задним концом рамы 8 цепями 6.

Ротор состоит из двух кольцевых обечаек, связанных между собой ковшами и поперечными стяжками. Каждый ковш открыт с двух сторон и имеет в передней части карманы для крепления сменных зубьев, а в задней - цепное днище. С наружной стороны обечаек прикреплены секции круговых зубчатых реек, находящиеся в постоянном зацеплении с двумя ведущими шестернями механизма привода ротора. Ковши ротора оснащают сменными зубьями-клыками двух типов: с наплавкой передней режу шей грани для разработки легких грунтов и армированных твердосплавными износостойкими пластинами - для мерзлых. Специальная расстановка зубьев на ковшах позволяет эффективно разрабатывать и тяжелые, и легкие грунты.

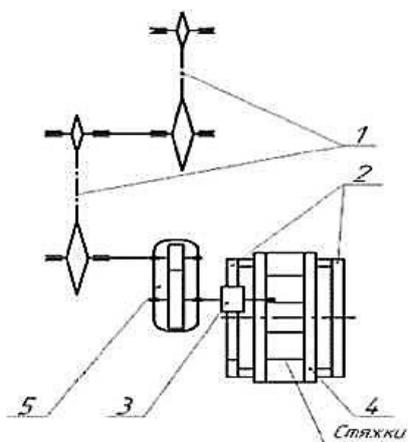
Привод ходового устройства экскаватора при движении на рабочих скоростях осуществляют от гидромеханического ходоуменьшителя, включающего гидронасос переменной производительности, гидромотор и редуктор. Вращение от гидромотора через понижающие передачи раздаточного редуктора осуществляют на валы коробки передач тягача, затем через коническую передачу, бортовые фрикционы и бортовые редукторы на ведущие звездочки гусеничного движителя. (Бортовые фрикционы и бортовые редукторы - это двух- и одноступенчатые цилиндрические передачи.)

Скорость рабочего хода в диапазоне от 10 до 300 м/ч регулируют изменением производительности насоса. При передвижении машины на транспортных скоростях (от 1,5 до 6,2 км/ч) крутящий момент от дизеля передается ведущим звездочкам гусениц через главную муфту сцепления, тракторную коробку передач, коническую пару, бортовые редукторы и фрикционы.

В трансмиссию привода ротора включена предохранительная муфта предельного момента.

Роторное колесо может вращаться с двумя передними (0,13 и 0,16 с.) и одной задней скоростью. Пониженная частота вращения ротора необходима при разработке талых грунтов с крупными каменистыми включениями и мерзлых грунтов.

Привод верхнего и нижнего барабанов отвального конвейера обеспечивается индивидуальными гидромоторами, питающимися через гидрораспределитель от дополнительного насоса, (рис. 12.44).



1 - сочлененная цепная передача; 2 - зубчатый венец; 3 - ведущая шестерня; 4 - обечайка ротора; 5 – редуктор.

Рисунок 12.44 - Кинематическая схема привода ротора

Техническую производительность этих экскаваторов можно определить через параметры траншеи

$$P_T = v_3 b H \quad (12.40)$$

где v_3 - скорость экскаватора, м/с;

b, H - ширина и глубина траншеи, м.

Кроме того, её можно оценить через характеристики ковшей

$$P_T = \frac{q_K n K_H}{K_p} \quad (12.41)$$

где q_K - вместимость ковша, м .

n – число разгрузок в единицу времени;

K_H - коэффициент наполнения;

K_V - коэффициент разрыхления.

Отсюда

$$v_э = \frac{q_K n K_H}{K_p b H} \quad (12.42)$$

а с учетом того, что

$$n = n_p m \quad (12.43)$$

где n_p - частота вращения ротора, c^{-1} ;

m - число ковшей на колесе.

$$v_э = \frac{q_K n_p m K_H}{K_p b h} \quad (12.44)$$

В формуле (12.44) установлена связь между размерами траншеи, скоростью передвижения экскаватора, вместимостью ковшей, их количеством и числом оборотов ротора, т. е. $v_э \approx n_p m$.

Общий расчет многоковшовых траншейных экскаваторов включает:

- 1) определение основных параметров;
- 2) определение нагрузок;
- 3) баланс мощности;
- 4) проверку устойчивости.

Мощность двигателя затрачивается на резание грунта, его транспортировку к месту выгрузки, на механизм передвижения и вспомогательные механизмы.

Итак, полная мощность расходуется на приводы:

- рабочего органа, $N_{ро}$;
 - конвейера, $N_{кон}$;
 - механизма передвижения. $N_{пер}$;
 - вспомогательных систем (управления, охлаждения и др.), $N_{в}$.
- Тогда

$$N = N_{ро} + N_{кон} + N_{пер} + N_{в} \quad (12.45)$$

или

$$N = k_0\Pi + N_{в} \quad (12.46)$$

где k_0 – удельная энергоёмкость рабочего процесса, кВт/(m^3/c);

Π - производительность. m^3/c ;

$N_{в}$ - мощность, затрачиваемая на вспомогательные операции (не зависит от Π) кВт.

Мощность рабочего органа:

1) для ЭТР складывается из затрат на копание, подъём и разгон грунта до скорости ротора

$$N_{ро} = \frac{\Pi}{\eta_p} \left[K + \rho g \left(\frac{h}{2} + h_0 \right) + \rho \frac{v_p^2}{2} \right] \quad (12.47)$$

где Π - производительность. m^3/c ;

K - удельная энергоёмкость копания (численно равная удельному сопротивлению копания), кВт/(m^3/c);

η_p - КПД привода ротора;

ρ - плотность грунта, kg/m^3 ;

h - глубина траншеи, м;

h_0 - расстояние от поверхности до уровня разгрузки, м;

v_p - окружная скорость ротора, м/с;

2) для ЭТЦ мощность рабочего органа складывается из затрат на копание.

подъем грунта, а также на перемещение грунта (по горизонтали) и самой ковшовой цепи

$$N_{\text{по}} = \frac{\Pi}{\eta_{\text{ц}}} \left[K + \rho g \left(\frac{h}{2} + h_0 \right) + \rho g l_{\text{г}} f \right] + \frac{2W g l_{\text{г}} v_{\text{ц}} m_{\text{ц}}}{L} \quad (12.48)$$

где $\eta_{\text{ц}}$ - КПД привода цепи;

$l_{\text{г}}$ - длина горизонтальной проекции цепи, м;

f - коэффициент сопротивления движения экскаватора;

W - приведенное сопротивление передвижению цепи, Н;

$v_{\text{ц}}$ - линейная скорость цепи, м/с;

$m_{\text{ц}}$ - масса цепи, кг;

L - общая длина цепи, м.

Мощность, потребляемая отвальным конвейером

$$N_{\text{кон}} = \frac{\kappa_6}{\eta} \left[\Pi (g p h + \kappa_{\text{п}} g p l + p v^2) + 2 v l \kappa_{\text{п}} (g_{\text{л}} + g_{\text{р}}) \right] \quad (12.49)$$

где κ_6 - коэффициент, учитывающий затраты мощности на вращение концевых барабанов, перегибы ленты и др., $\kappa_6 = 1,2 \dots 1,4$;

η - КПД конвейера;

h - высота подъема грунта, м;

l - длина пути перемещения по горизонтали, м;

v - скорость ленты, м/с;

$\kappa_{\text{п}}$ - приведенный коэффициент сопротивления перемещению ленты на роликах, $\kappa_{\text{п}} = 0,03 \dots 0,06$;

$g_{\text{л}}, g_{\text{р}}$ - удельная (погонная) сила тяжести ленты и роликов, Н/м.

Мощность механизма передвижения складывается:

а) из сопротивления передвижению собственно машины;

б) составляющих усилия копания

$$N_{\text{пер}} = \frac{v_3 [m_3 g (f+i) + P_{\text{po}} (\sin \beta + f \cos \beta)]}{\eta_{\text{пер}}} \quad (12.50)$$

или с учетом производительности

$$N_{\text{пер}} = \frac{\Pi [m_3 g (f+i) + P_{\text{po}} (\sin \beta + f \cos \beta)]}{F \eta_{\text{пер}}} \quad (12.51)$$

где m , – масса, кг;

i - уклон;

P_{po} - усилие копания (т. е. сила сопротивления копанию), Н;

β - угол наклона к горизонту (цепи или результирующей силы сопротивления копанию ротором);

F - площадь сечения траншеи, м ,

$\eta_{\text{пер}}$ - КПД привода хода.

Развитие многоковшовых экскаваторов связано в основном с особенностями технологического процесса разработки грунтов - непрерывностью и однотипностью. Поэтому к основным направлениям их дальнейшего совершенствования следует отнести следующие мероприятия.

Во-первых, повышение производительности машин за счет увеличения мощности силовых установок, снижения потерь грунта при его разработке и транспортировании.

Во-вторых, повышение уровня их автоматизации за счет:

- а) широкого применения систем автоматического регулирования положения рабочего органа;
- б) управления курсом машины с помощью лазерных систем;
- в) автоматического регулирования режимов работы с учетом свойств разрабатываемого грунта;
- г) совершенствования систем технического диагностирования состояния основных узлов машины с использованием микропроцессорной техники.

В-третьих, расширение технологических возможностей экскаваторов за счет

применения различных видов сменного рабочего оборудования для разработки разнообразных грунтов, а также формирования траншей различного профиля.

В-четвёртых, повышение надежности экскаваторов за счет применения материалов с высокими и стабильными показателями физико-механических свойств, использования более совершенных конструктивных решений, расширения применения методов унификации, агрегатирования и блочной компоновки.

12.7 Устройство экскаваторов на примере конкретных производителей

Производством экскаваторов в России и странах СНГ занимаются: ОАО «Тверской экскаватор», ОАО «Вэкс» (Воронеж), ОАО «Экскаваторный завод «Ковровец» (Ковров, Владимирская обл.), ОАО «Сарэкс» (Саранск), ОАО «Донецкий экскаватор» (Донецк, Ростовская обл.), ОАО «Экско» (Костромской экскаваторный завод), Дмитровский экскаваторный завод. К производству экскаваторов по программам конверсии подключились ГУП «ПО «Уралвагонзавод» (Нижний Тагил), ООО «Златэкс» (Златоуст) и ГУП «Омсктрансмаш». Экскаваторы-планировщики на автомобильном шасси выпускают ОАО «Мотовилихинские заводы» (Пермь), белорусско-литовское совместное предприятие «Святовит», ОАО «Кохановский экскаваторный завод» (республика Беларусь), ЗАО «АТЕК» (Украина).

ОАО «Тверской экскаватор» специализируется на выпуске пневмо-колесных, гусеничных и автомобильных экскаваторов 2-й—4-й размерных групп массой от 8,8 до 26,5 т. Для широкого спектра земляных работ завод производит экскаваторы девяти типоразмеров с ковшами вместимостью от 0,32 до 1,25 м³. В том числе пневмоколесные экскаваторы ЕК-8, ЕК-12, ЕК-14, ЕК-18, гусеничные экскаваторы ЕТ-14, ЕТ-16 на уширенно-удлиненном гусеничном ходу и ЕТ-18 с ковшом вместимостью 1,0 м³, экскаватор на автомобильном ходу 5846 (ЕА-17) на шасси Урал-4320, унифицированный по многим узлам с пневмоколесными экскаваторами ЕК-14, ЕК-18.

ФГУП «Производственное объединение «Уралвагонзавод им. Ф.Э. Дзер-

жинского» (г. Нижний Тагил Свердловской обл.) производит в рамках конверсионной программы гусеничные одноковшовые экскаваторы ЭО- 5126 (аналог выпускаемого «Вэксом») и ЭО-4126, пневмоколесный одноковшовый экскаватор ЭО-33211А и универсальные малогабаритные погрузчики ПУМ-500, ПУМ-600, ПУМ-800, ПУМ-1000 и ПУМ-1250.

ОАО «Вэкс» (Воронежский экскаваторный завод) изготавливает тяжелые полноповоротные одноковшовые экскаваторы 5-й и 6-й размерных групп ЭО-5126, ЭО-6124, а в последнее время – экскаваторы 4-й размерной группы на пневмоколесном ходу ЭО-43211.

ОАО «Экскаваторный завод «Ковровец» (КЭЗ) выпускает полноповоротный универсальный гусеничный одноковшовый экскаватор 4-й размерной группы ЭО-4225А, комплектуемый ковшами обратная лопата вместимостью 0,5...1,25 м³ и сменным рабочим оборудованием.

ОАО «Машиностроительная компания «Кранэкс» выпускает экскаваторы 4-й и 5-й размерных групп. В 1998 г. компания «Кранэкс» перешла на выпуск экскаваторов ЕК 270 и ЕК 400, которые оснащались гидрооборудованием фирм Bosch Rexroth и Parker Hydraulics (Германия). В 2002 г. компания освоила выпуск экскаваторов серии «03» – ЕК 270-03 и ЕК 400-03, а в 2003 г. перешла на выпуск экскаваторов серии «05» – ЕК 270- 05 и ЕК 400-05.

ОАО «Донецкий экскаватор» выпускает канатно-блочные экскаваторы ЭО-4112, предназначенные для земляных работ на грунтах I-IV категорий.

Костромской экскаваторный завод выпускает экскаваторы 5-й размерной группы ЭО-5119 с гибкой подвеской рабочего органа. ЭО-5119 комплектуется следующими видами сменного оборудования: прямой лопатой, обратной лопатой, драглайном, грейфером, шаровым и клиновым рыхлителями, навесным сваебойным оборудованием.

Навесные неполноповоротные экскаваторы ЭО-2621В, устанавливаемые на колесные тракторы МТЗ-82, ЮМЗ-8244 и ЗТМ-62, выпускают ОАО «Сарэкс», ООО «Златэкс», ГУП «Омсктрансмаш» и ОАО «Завод экскаваторы LEX».

Экскаватор ЭО-2621В-2 на базе трактора ЗТМ-60Л 2-й размерной группы,

выпускаемый ГУП «Омсктрансмаш», предназначен для механизации земляных работ на грунтах I-IV категорий и выполнения погрузочных работ. Общий вид экскаватора представлен на рис. 12.45, техническая характеристика приведена в приложении. Экскаватор оснащен одновременно ковшом обратной лопаты и отвалом. В зависимости от монтажа обратная лопата может работать как прямая.

Экскаватор может работать в умеренном климате при температурах от -40 до +40° С. Работать экскаватором в мерзлом грунте и грунте выше IV категории можно только после предварительного рыхления.

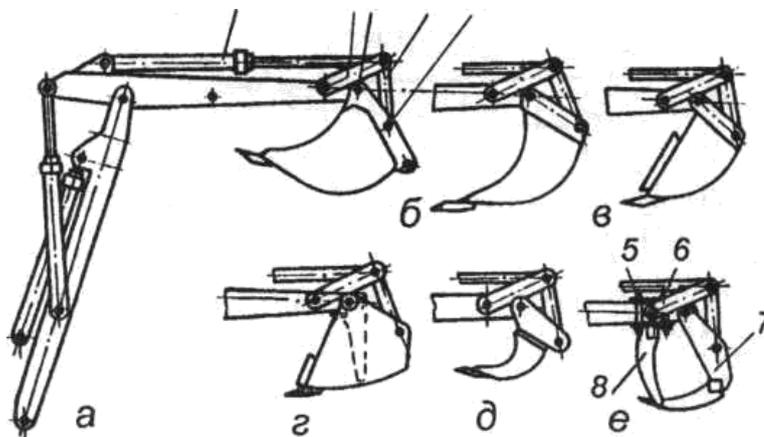
Экскаватор состоит из следующих составных частей: базового трактора ЗТМ-60Л, рамы с поворотной колонкой, экскавационного рабочего оборудования и бульдозерного оборудования. Конструкция экскаватора предусматривает возможность работы со сменными видами рабочего оборудования.

Экскаватором можно выполнять следующие работы:

- обратной лопатой – рыть траншеи, котлованы в отвал или с погрузкой в транспорт;
- прямой лопатой – разрабатывать мелкие забои, возводить насыпи, производить погрузку;
- отвалом – выполнять легкие планировочные и зачистные работы; грейфером с ковшом 0,25... 0,32 м³ – зачищать траншеи и выполнять погрузку сыпучих материалов с малой объемной массой;
- грейфером с вилами – грузить солому, силос, другие материалы;
- грузоподъемным устройством – выполнять монтажные и погрузочно-разгрузочные работы;
- боковой обратной лопатой – рыть траншеи вблизи зданий и сооружений;
- узким и специальным ковшом – рыть узкие траншеи для прокладки кабеля;
- профильным ковшом – производить мелиоративные работы;
- зубом рыхлителем – производить разрыхление асфальтовых покрытий и мерзлой корки грунта толщиной не более 300 мм;
- захватом – грузить солому, силос и другие материалы;
- грейфером для корнеплодов – грузить корнеплоды (картофель, свеклу и др.);
- решетчатым ковшом – грузить взорванные скальные породы; ковшом вме-

стимостью $0,32 \text{ м}^3$ – производить легкие зачистные работы и погрузку материалов с малой объемной массой;

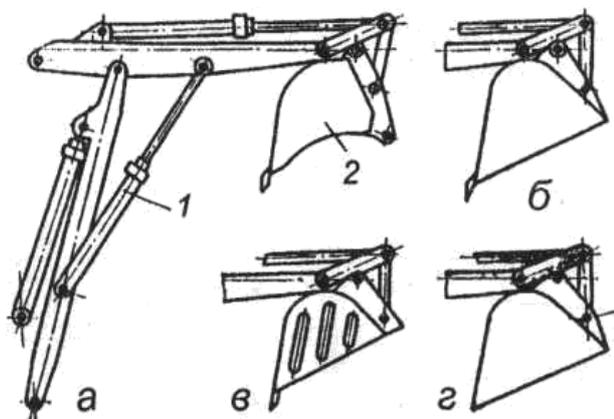
- телескопической рукоятью – производить работы с увеличенной глубиной копания и высотой выгрузки.



1 - гидроцилиндр ковша; 2, 4 - тяги; 3 - ось; 5, 6 - болты; 7 - вилочный захват; 8 - вилы; а - обратная лопата; б - ковш узкий; в - ковш профильный; г - ковш специальный; д - зуб-рыхлитель; е - захват вилочный.

Рисунок 12.45 - Сменные виды рабочего оборудования ЭО-2621В-2

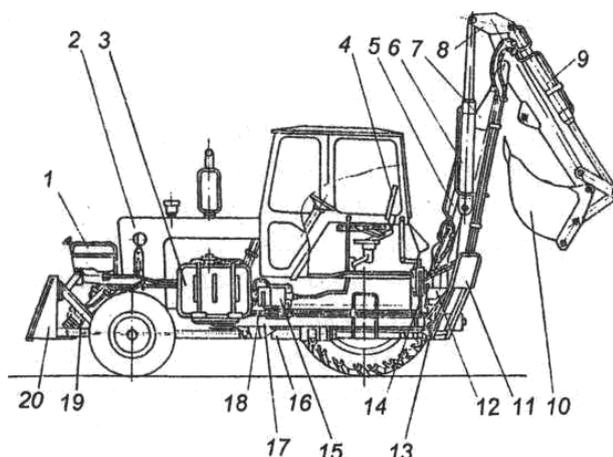
Экскавационное рабочее оборудование навешивается на поворотной колонке и состоит (рис. 2.47) из стрелы 7, рукояти 8 и универсального ковша 10. Шарнирные соединения рабочего оборудования выполнены в виде подшипников скольжения.



1 - гидроцилиндр рукояти; 2 - ковш прямой и обратной лопат; а - прямая лопата; б - ковш погрузочный; в - ковш решетчатый; г - ковш для зерна.

Рисунок 12.46 - Сменные виды рабочего оборудования ЭО-2621В-2

Для смазки шарниры экскавационного оборудования снабжены пресс-масленками по ГОСТ 19853.



1 - бак топливный; 2 - трактор; 3 - бак масляный; 4 - сиденье; 5 - гидроцилиндр подъема/опускания стрелы; 6 - гидроцилиндр рукояти; 7 - стрела; 8 - рукоять; 9 - гидроцилиндр поворота ковша; 10 - ковш; 11 - башмаки; 12 - колонка поворотная; 13 - гидроцилиндр башмаков; 14 - гидрораспределитель; 15 - привод насоса; 16 - гидроцилиндры поворота; 17 - рама; 18 - трубопроводы; 19 - гидроцилиндр бульдозера; 20 – отвал.

Рисунок 12.47 - Экскаватор ЭО-2621В-2

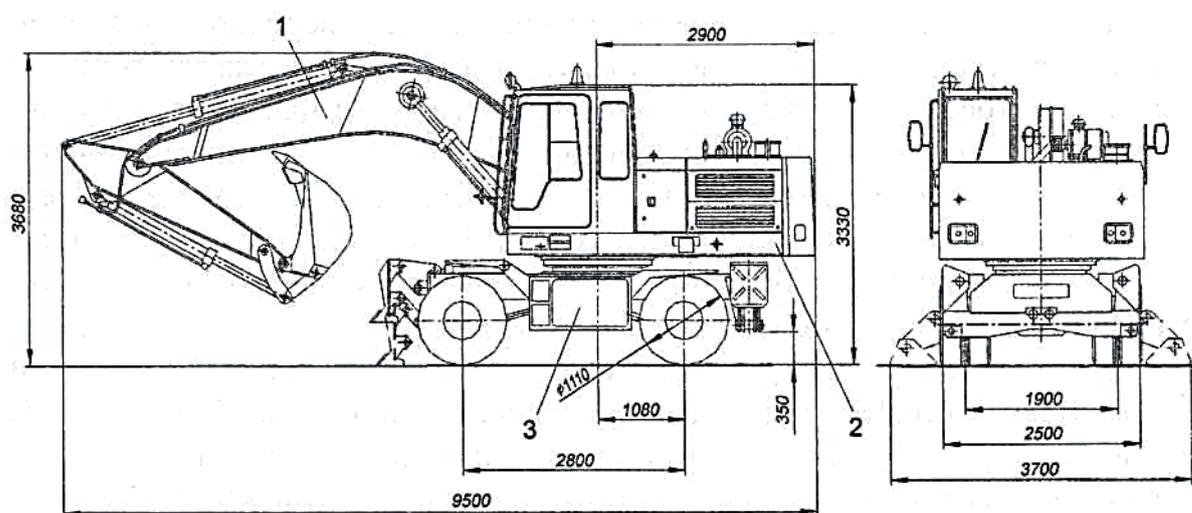
Ковш обратной лопаты вместимостью 0,25 или 0,32 м³ установлен на оси рукояти (см. рис. 12.45, а) и через тяги 2 и 4 соединен с гидроцилиндром 1 ковша. Элементы оборудования соединены между собой шарнирно при помощи пальцев. Для увеличения усилия копания тягу 4 рекомендуется устанавливать в отверстие А ковша. Также может быть смонтирован на рукояти ковш узкий (рис. 12.45, б), ковш профильный (рис. 12.45, в), ковш специальный (рис. 12.45, г), зуб-рыхлитель (Рисунок 3.6, д). При монтаже захвата (рис. 12.45, е) вилы 8 должны быть закреплены неподвижно на рукояти болтами 6, а захват 7 установлен шарнирно на оси 3 рукояти.

Для работы прямой лопатой ковш 2 (рис. 12.46, а) устанавливаются зубьями от стрелы, а штоки гидроцилиндров 1 рукояти закрепляются в нижнем отверстии рукояти. Также закрепляются гидроцилиндры рукояти при монтаже ковша погружного (рис. 12.46, б), ковша решетчатого (рис. 12.46, в), ковша для зерна (рис. 12.46, г).

Одноковшовый универсальный полноповоротный экскаватор ЭО-33211А 3-й размерной группы производства ГУП «ПО «Уралвагонзавод». Масса экскаватора -18 т, номинальная вместимость ковша 0,85 м³. Экскаватор имеет пневмоколенный движитель и предназначен для разработки грунтов I-IV категории, а также предварительно разрыхленных скальных и мерзлых грунтов с величиной кусков не более 200 мм, в диапазоне температур окружающей среды от минус 40 до плюс 40° С. Общий вид экскаватора показан на рис. 12.48, техническая характеристика дана в приложении.

Экскаватор имеет индивидуальный гидравлический привод всех механизмов с жесткой подвеской рабочего оборудования. Экскаватор состоит из пневмоколенного ходового устройства (шасси); поворотной платформы; рабочего оборудования; гидравлической системы; пневмосистемы; электрического оборудования.

Экскаватор оснащен комплектом запасных частей, инструментов и приспособлений. Шасси экскаватора представляет собой пневмоколенное ходовое устройство, состоящее из ходовой рамы с опорно-поворотным устройством, откидных опор, отвала, коробки передач, переднего и заднего мостов, оснащенных двухскатными камерными колесами и соединенных с коробкой передач карданными валами, механизма управления поворотом колес, а также агрегатов системы гидроуправления и пневмосистемы управления тормозами колес.



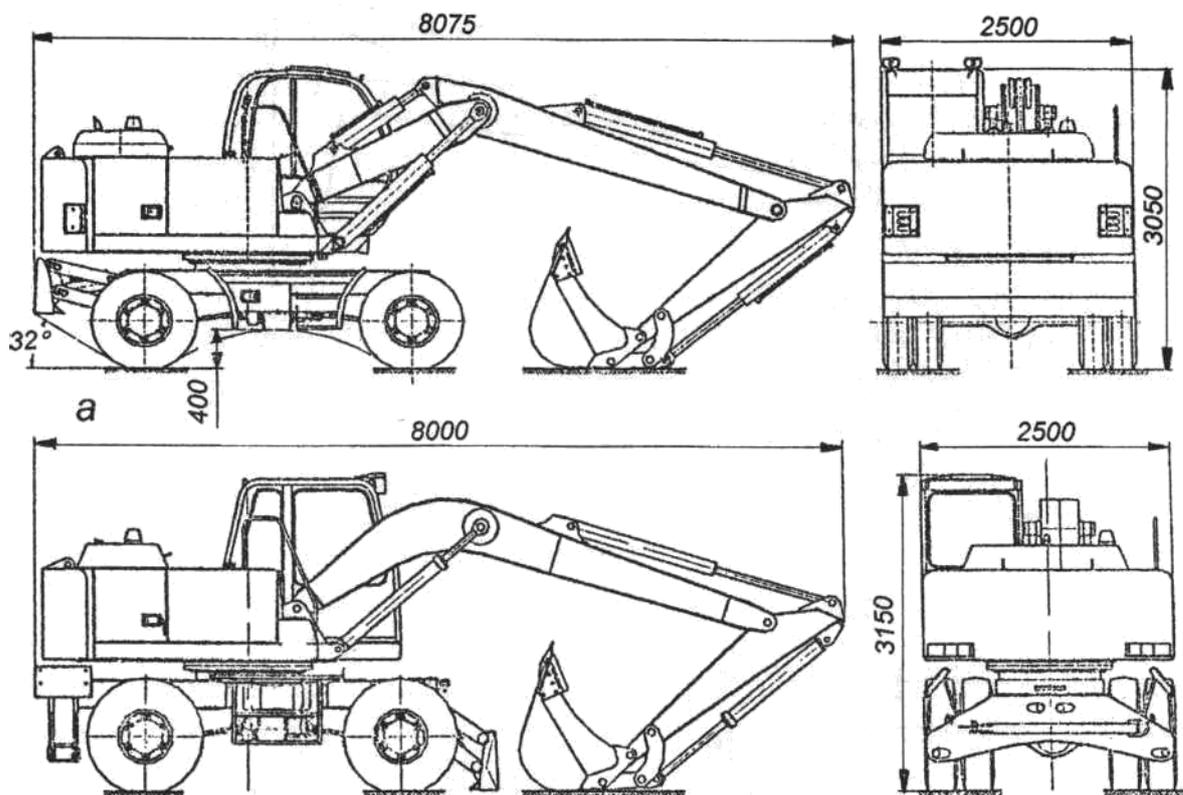
1 - рабочее оборудование обратная лопата; 2 - поворотная платформа с механизмами; 3 - ходовое устройство.

Рисунок 12.48 - Одноковшовый универсальный полноповоротный экскава-

тор ЭО- 33211А третьей размерной группы производства ФГУП «ПО «Уралвагон-завод»

Пневмоколесное ходовое устройство приводится в движение двумя гидромоторами, установленными на картере коробки передач. Крутящий момент выходного вала коробки передач через карданные валы одновременно передается на дифференциалы переднего и заднего мостов и далее на колесные редукторы. Пневмоколесное ходовое устройство обеспечивает передвижение на рабочих площадках и по дорогам.

Одноковшовый экскаватор ЕК 12 3-й размерной группы производства ОАО «Тверской экскаватор» представляет собой многоцелевую землеройную машину, предназначенную для разработки котлованов, траншей, карьеров в грунтах I-IV категорий, погрузки и разгрузки сыпучих материалов, разрыхленных скальных пород и мерзлых грунтов (при величине кусков не более 200 мм), а также для других работ в условиях промышленного, городского, сельского, транспортного и мелиоративного строительства. Геометрические параметры экскаваторов ЕК 12-20 и ЕК 12-05 показаны на рис. 12.49, технические характеристики приведены в приложении. Экскаваторы сохраняют работоспособность в диапазоне температур окружающего воздуха от -40 до +40°С.



б

Рисунок 12.49 - Геометрические параметры экскаватора: а - ЕК 12-20; б - ЕК 12-05

Одноковшовый экскаватор ЕК 12 состоит из следующих основных составных частей и систем: пневмоколесного ходового устройства, поворотной платформы, рабочего оборудования, гидравлической системы, системы пневмоуправления, электрического оборудования.

На поворотной платформе смонтированы: силовая установка, топливный бак, механизм поворота, кабина, отопительно-вентиляционная установка, гидрооборудование (гидробак, гидрораспределители, маслоохладительная установка и др.), элементы электрооборудования и пневмооборудования, контргруз. Поворотная платформа крепится к опорно-поворотному устройству, смонтированному на ходовой раме.

Силовая установка экскаватора состоит из двигателя ММЗ Д-243 эксплуатационной мощностью 57,4 кВт (78 л. с.) и блока насосов, преобразующих крутящий момент двигателя в давление жидкости.

Конструкция экскаватора предусматривает возможность использования различных видов рабочего оборудования, в том числе: обратной лопаты, грейфера, гидромолота, гидравлических ножниц, измельчителя бетона и др.

Обратная лопата – основной вид рабочего оборудования экскаватора – предназначена для выполнения широкого круга землеройных погрузочных и других работ.

Одноковшовый экскаватор *ЕК 14* 3-й размерной группы производства ОАО «Тверской экскаватор» представляет собой многоцелевую землеройную машину, предназначенную для разработки котлованов, траншей, карьеров в грунтах I-IV категорий, погрузки и разгрузки сыпучих материалов, разрыхленных скальных пород и мерзлых грунтов (при величине кусков не более 200 мм), а также для других работ в условиях промышленного, городского, сельского, транспортного и мелиоративного строительства. Экскаватор сохраняет работоспособность в диапазоне температур окружающего воздуха от -40 до +40°С. Геометрические параметры экскаватора приведены на рис. 12.50, техническая характеристика дана в приложении.

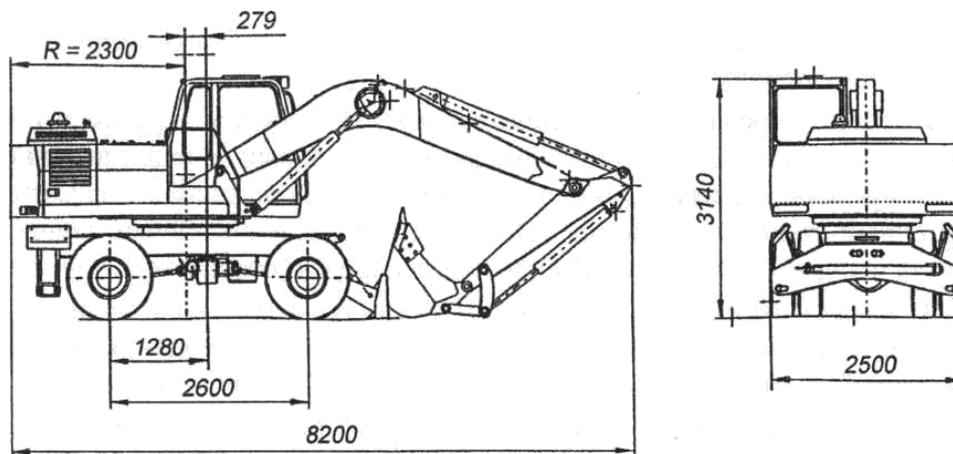
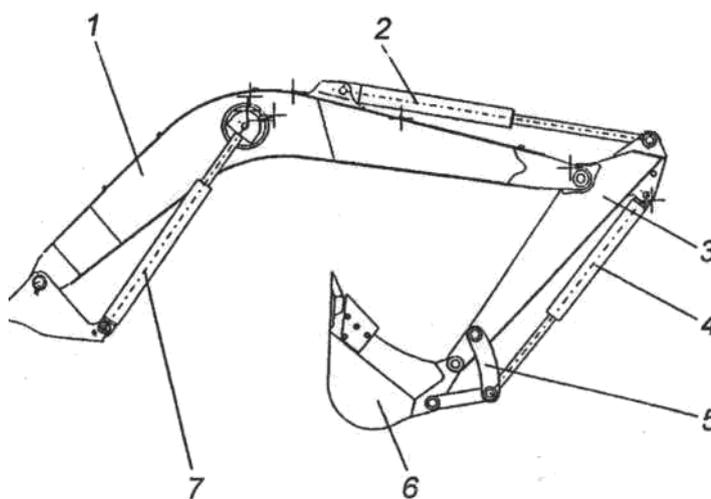


Рисунок 12.50 - Геометрические параметры экскаватора ЕК 14

Одноковшовый экскаватор ЕК 14 состоит из следующих основных составных частей и систем: пневмоколесного ходового устройства, поворотной платформы, рабочего оборудования, гидравлической системы, системы пневмоуправления и электрического оборудования.

Конструкция экскаватора предусматривает возможность использования различных видов рабочего оборудования, в том числе: обратной лопаты, грейферного оборудования, гидромолота, гидравлических ножниц, измельчителя бетона. По конструкции экскаватор ЕК 14 аналогичен экскаватору ЕК 12-05 и отличается установкой более мощного двигателя ММЗ Д - 245 (73,6 кВт) и увеличенного размера рабочего оборудования с основным ковшом вместимостью 0,8 м³.

Обратная лопата (рис. 12.51) – основной вид рабочего оборудования экскаватора – предназначена для выполнения широкого круга землеройных погрузочных и других работ. Обратная лопата состоит из стрелы 1, рукояти 3, сменного рабочего органа 6, механизма привода ковша 5, гидроцилиндров 2, 4 и 7, а также системы трубопроводов и рукавов высокого давления, связывающих гидроцилиндры с гидросистемой экскаватора. Поворот стрелы, рукояти и рабочего органа осуществляется соответствующими гидроцилиндрами.



1 - стрела; 2, 4, 7 - гидроцилиндры; 3 - рукоять; 5 - механизм привода ковша; 6 – ковш.

Рисунок 12.51 - Рабочее оборудование обратная лопата с моноблочной стрелой экскаватора ЕК 12-05

Пневмокошесное ходовое устройство экскаватора, выполненное на двух ведущих мостах, обеспечивает высокую скорость передвижения на рабочих площадках и по дорогам, а также возможность буксировки экскаватора тягачом. Передний мост – управляемый, на одинарных шинах, балансирно крепится к ходо-

вой раме. Задний мост – неуправляемый, имеет двойные шины, жёстко соединён с ходовой рамой. Привод мостов осуществляется от низкомомментного гидромотора через коробку передач и карданные валы.

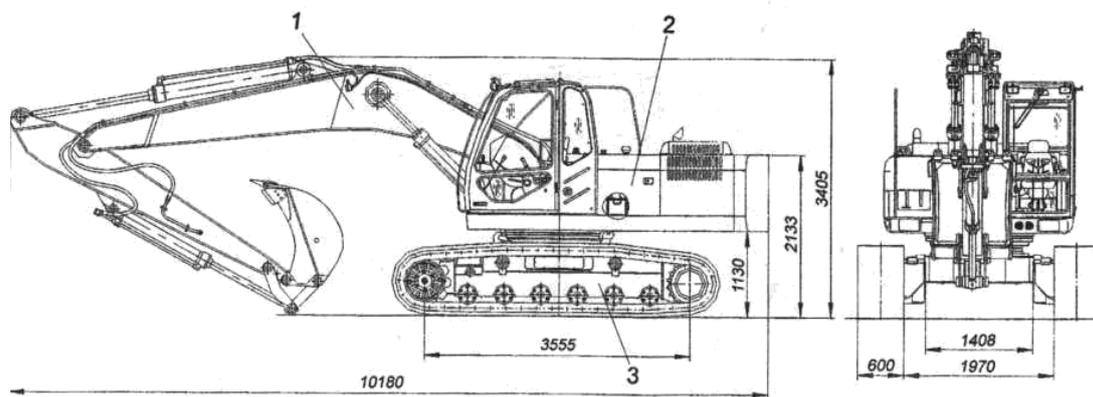
Во время работы для повышения устойчивости экскаватор опирается на откидные опоры и опору-отвал.

Поворотная платформа крепится к опорно-поворотному устройству, смонтированному на ходовой раме. На поворотной платформе установлены: силовая установка, топливный бак, механизм поворота, кабина, отопительно-вентиляционная установка, гидрооборудование (гидробак, гидрораспределители, маслоохладительная установка и др.), элементы электрооборудования и пневмооборудования, контргруз.

Одноковшовый экскаватор ЭО-4126 4-й размерной группы производства ФГУП «ПО «Уралвагонзавод». Масса экскаватора - 28,5...32 т, номинальная вместимость ковша 1,45 м³. Экскаватор имеет гусеничный движитель с цевочным зацеплением гусениц (тракторного типа), индивидуальный гидравлический привод всех механизмов и жесткую подвеску рабочего оборудования. Экскаватор предназначен для разработки грунтов I-IV категории, а также предварительно разрыхленных скальных и мерзлых грунтов с величиной кусков не более 200 мм в диапазоне температур окружающей среды от плюс 40 до минус 40 °С. Общий вид экскаватора представлен на рис. 12.52, техническая характеристика даны в приложении.

Экскаватор состоит из поворотной платформы с рабочим оборудованием и механизмами, гусеничной тележки и рабочего оборудования (рис. 12.52).

На поворотной платформе размещены: двигатель, привод гидронасосов, привод поворота, трубопроводы и другие элементы гидрооборудования. В левой передней части платформы находится кабина машиниста, в которой размещены все органы управления.



1 - рабочее оборудование; 2 - поворотная платформа с механизмами, кабиной и капотами; 3 - ходовое устройство.

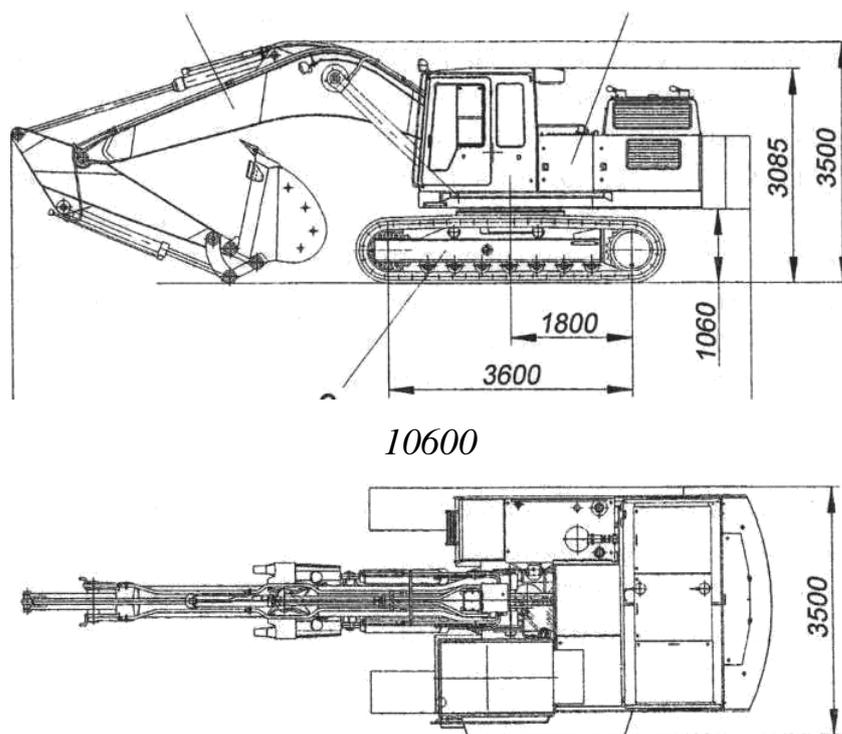
Рисунок 12.52 - Одноковшовый экскаватор ЭО-4126 производства ФГУП «ПО «Уралвагонзавод»

Ходовая часть состоит из сварной рамы, двух приводов гусениц, гусеничных лент, опорных и поддерживающих катков и натяжных колес с механизмом сдавания. К раме болтами крепится поворотная опора. Гусеничный ход – многоопорный, жесткого типа. Кабина оператора расположена в передней левой части поворотной платформы.

Одноковшовый универсальный полноповоротный экскаватор ЭО-5126, 5-й размерной группы производства ФГУП «ПО «Уралвагонзавод». Масса экскаватора - 32 т, вместимость ковша 1,42 м³. Экскаватор имеет гусеничный движитель с цепочным зацеплением гусениц (тракторного типа), с индивидуальным гидравлическим приводом всех механизмов, с жесткой подвеской рабочего оборудования. Экскаватор предназначен для разработки грунтов I-IV категории, а также предварительно разрыхленных мерзлых и скальных грунтов с величиной кусков не более 500 мм в интервале температур окружающей среды от минус 40 до плюс 40°С при разработке карьеров, рытье котлованов, траншей, каналов и других подобных сооружений. Общий вид экскаватора представлен на рис. 12.53, технические параметры даны в приложении.

Экскаватор состоит из поворотной платформы с механизмами и капотами, гусеничной тележки и рабочего оборудования. На поворотной платформе размещены двигатель, привод гидронасосов, привод поворота, трубопроводы и другие

элементы гидрооборудования. В левой передней части платформы находится кабина машиниста, в которой размещены все органы управления. Ходовая часть состоит из сварной рамы, двух приводов гусениц, гусеничных лент, опорных и поддерживающих катков и натяжных колес с механизмом сдвигания. К раме болтами крепится поворотная опора. Гусеничный ход – многоопорный, жесткого типа.



10600

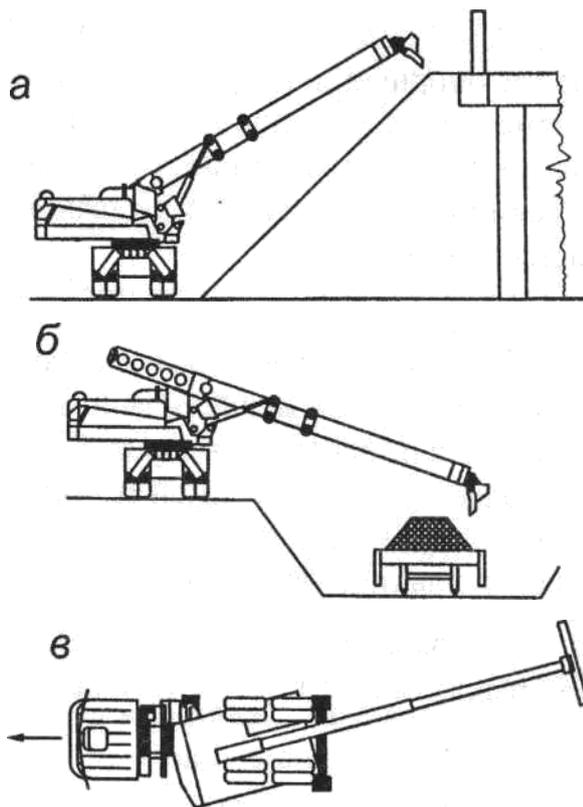
1 - рабочее оборудование; 2 - поворотная платформа с механизмами, кабиной и капотами; 3 - ходовое устройство.

Рисунок 12.53 - Одноковшовый экскаватор ЭО-5126 производства ФГУП «ПО «Уралвагонзавод»

Экскаваторы-планировщики с телескопической стрелой широко эксплуатируются в России с конца 70-х гг., когда на строительных объектах появился чехословацкий экскаватор UDS-ПОа на шасси автомобиля Tatra-148. Позже выпуск телескопических экскаваторов ЭО-3532 на шасси КамАЗ-5511 освоил Кентауский экскаваторный завод. В начале 90-х гг. к производству экскаваторов-планировщиков ЭО-3532А на шасси КамАЗ-53213 приступает Кохановский экскаваторный завод. В 1997 г. по соседству с Кохановским заводом создано совместное белорусско-литовское предприятие «Святовит», на котором организован

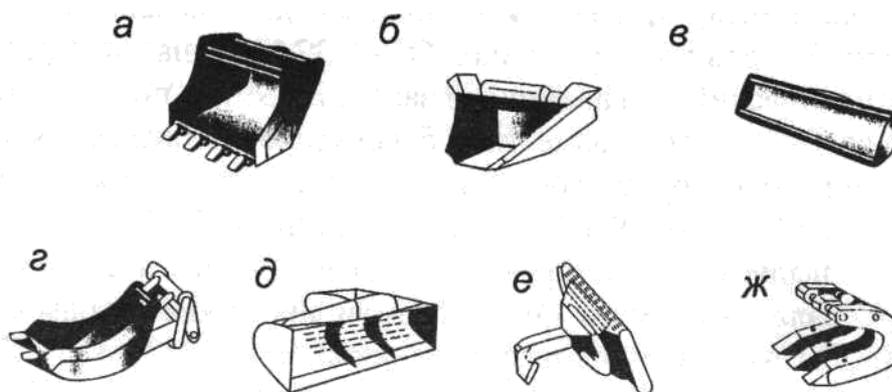
выпуск телескопических экскаваторов ЭО-4431 на шасси МЗКТ-8007 и ЭО-3540 на шасси МАЗ-6317.

В 1997 г. выпуск экскаваторов-планировщиков на шасси автомобилей «КамАЗ» и «Урал» начался на ОАО «Мотовилихинские заводы». Первые опытные образцы экскаваторов-планировщиков ЭО-43212 (ЗТМ-220), ЭО-43213 (ЗТМ-221) и ЭО-43214 (ЗТМ-220.1) на шасси КамАЗ-53228, Урал-4320 и КамАЗ-43118 на ОАО «Мотовилихинские заводы» изготовили по документации ВНИИстройдормаш. В отличие от прочих производителей, ОАО «Мотовилихинские заводы» устанавливает ротационное устройство не на ковше, а на элементе сопряжения стрелы и поворотной платформы, обезопасив его тем самым от попадания разрабатываемого материала, что, несомненно, увеличивает надежность конструкции. Экскаваторы-планировщики комплектуют дополнительным навесным оборудованием по заказу потребителя: ковшем планировочным шириной 1,1 м и отвалом шириной 2 м.



а - планировка наклонных поверхностей (под мостами и вдоль дорог), расположенных выше уровня стоянки машины; *б* - разгрузка щебня и других стройматериалов с железнодорожных платформ; *в* - разравнивание стройматериалов ковшем либо отвалом с одновременным перемещением шасси (грейдерные работы).

Рисунок 12.54 - Примеры эффективного применения экскаватора-планировщика с управлением ходом из кабины экскаватора



а - копающий ковш вместимостью 0,3 м³; *б* - профильный ковш; *в* - планировочный отвал вместимостью 2,5 м³; *г* - дренажный ковш; *д* - планировочный ковш; *е* - зуб-рыхлитель; *ж* - устройство для разрушения мостовой шириной 0,9 м.

Рисунок 12.55 - Сменные рабочие органы экскаваторов семейства EW25M1

СП «Святовит» выпускает универсальные экскаваторы-планировщики EW-25, которые отличает высокая прочность и надежность накладной рамы и других металлоконструкций, благодаря использованию низколегированных сталей и усиленных замкнутых профилей. Конструкция рамы оборудования такова, что ее можно устанавливать на различные шасси, например КамАЗ-53228, МАЗ-55165, МАЗ-63038, Урал-4320. Для большей устойчивости опорный контур выносных опор на 14 % больше, чем у UDS-114а, изменена конструкция опорных башмаков, установлен противовес массой 1,3 т. На новые джойстики максимально перенесены все функции управления (звуковой сигнал, плавающее положение стрелы, коррекция управляемых колес и др.).

Белорусское ОАО «Кохановский экскаваторный завод» выпускает две модификации телескопических экскаваторов ЭО-3533М на базе МАЗа и ЭО- 3533У на шасси «Урала». Технические параметры современных экскаваторов-планировщиков на пневмоколесном шасси даны в приложении.

Полноповоротный ковш, оснащенный ротатором, делает экскаватор универсальным и позволяет работать прямой и обратной лопатой. Благодаря телескопи-

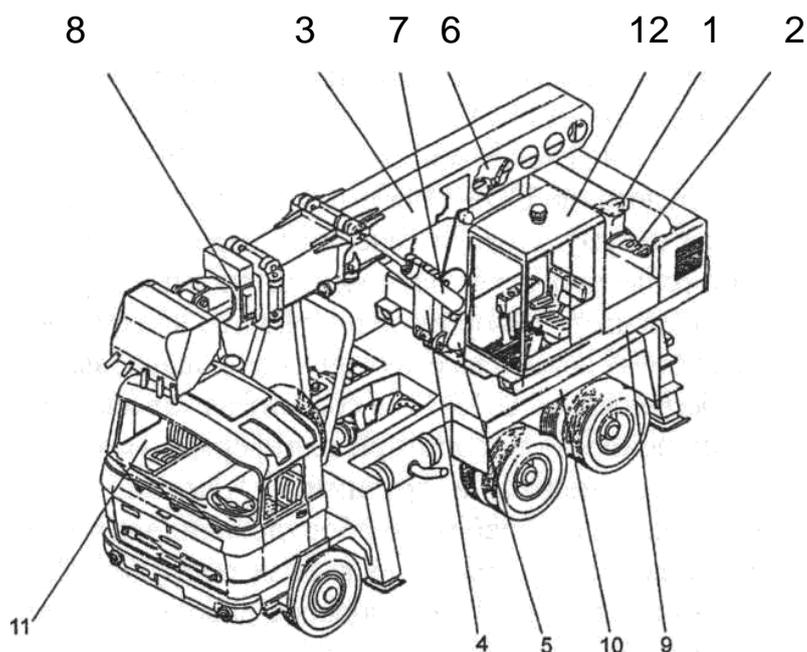
ческой стреле и автомобильному ходу экскаваторы-планировщики способны планировать откосы (рис. 12.54) как на стоянке, так и в движении, разгружать транспортные средства. Используя сменные рабочие органы (рис. 12.55), экскаватор-планировщик, кроме обычных операций копания, может рыхлить грунт, рыть дренажные каналы, разрушать дорожное покрытие.

Экскаватор-планировщик UDS-114a производства «CSM Tisovec», Словакия. UDS-114a является самоходным гидравлическим универсальным экскаватором-планировщиком массой 21,8 т, с ковшом вместимостью 0,5...0,63 м³. Экскаватор смонтирован на автомобильном шасси Tatra-815, обладающем хорошей мобильностью и высокой проходимостью на шоссейных дорогах и на пересеченной местности. Машина предназначена для выполнения планировочных земляных и экскавационных работ малого и среднего объема. Технические параметры машины приведены в приложении.

Конструкция машины позволяет проводить быструю замену рабочих органов и оборудования, применение которых позволяет проводить разработку выемок, канав, углубление ям, образование и обработку склонов и насыпей, манипулирование с сыпучими и штучными материалами в строительстве, лесном хозяйстве, сельском хозяйстве и транспорте.

UDS-114a состоит из двух основных частей: поворотной экскаваторной надстройки и шасси машины, шарнирно соединенных между собой при помощи опорно-поворотного устройства (Рисунок 3.48).

Двигатель экскаватора. Приводным агрегатом экскаваторной надстройки машины является двигатель Zetor-8701.102. Это четырехтактный, шестицилиндровый дизельный двигатель водяного охлаждения с непосредственным впрыском. Двигатель установлен сзади, с правой стороны поворотной платформы, на упругих подушках. Муфта двигателя однопластинчатая, вмонтирована в маховик. Крутящий момент от двигателя передается через редуктор насосов с цилиндрическими зубчатыми колесами к отдельным насосам. Составной частью привода насосов является выключающее устройство муфты двигателя.



1 - двигатель Zetor 8701.102; 2 - привод насосов; 3 - телескопическая стрела; 4 - позиционное плечо; 5 - стойка верхней рамы; 6 - гидроцилиндр выдвижения стрелы; 7 - гидроцилиндры подъема - опускания стрелы; 8 - механизм управления рабочим органом; 9 - поворотная платформа; 10 - надрамник шасси; 11 - кабина водителя; 12 - кабина оператора.

Рисунок 12.56 - Экскаватор-планировщик UDS-114а (Словакия)

Экскаваторная надстройка установлена на шасси при помощи опорно-поворотного устройства. Внутренняя часть опорно-поворотного устройства неподвижно закреплена болтами к поворотной платформе 9, которая образует несущую часть вращающейся надстройки.

Вопросы для самоконтроля

1. Приведите классификацию экскаваторов. Назовите основные признаки классификации, назначение и схемы экскаваторов различных видов.
2. Приведите и расшифруйте обозначение одноковшового экскаватора.
3. Перечислите сменные рабочие органы одноковшовых гидравлических экскаваторов, их назначение и основные схемы.
4. Приведите схему и объясните работу стрелы одноковшового экскаватора при наличии пристенного копания.

5. Для чего используется бульдозерное оборудование одноковшового гидравлического экскаватора? Приведите схему бульдозерного оборудования.
6. Объясните по схеме принцип работы механизма поворота поворотной платформы гидравлического одноковшового экскаватора.
7. Приведите схему работы экскаватора-планировщика, назначение, область применения.
8. Назовите виды производительности землеройных машин. Дайте характеристики параметров, определяющих производительность.
9. Из каких сопротивлений складывается общее сопротивление движению гусеничного экскаватора?
10. На соответствие каким сопротивлениям (на рабочем органе или на ходовом оборудовании) следует проверять мощность силовой установки экскаватора?
11. Какие гидравлические механизмы одноковшового экскаватора могут работать одновременно?
12. Назовите расчётные случаи, используемые при определении устойчивости одноковшового экскаватора с рабочим оборудованием прямая лопата.
13. Какой механизм влияет на устойчивость экскаватора с гибкой подвеской рабочего оборудования прямая лопата?
14. Назовите расчётные случаи, используемые при определении устойчивости одноковшового экскаватора с рабочим оборудованием обратная лопата.
15. Величина какого показателя позволяет судить о степени устойчивости одноковшового экскаватора?
16. Какие нагрузки следует учитывать при расчёте элементов металлоконструкции одноковшового экскаватора на прочность?
17. Какие факторы ограничивают величину усилия на кромке ковша экскаватора с жёсткой подвеской рабочего оборудования обратная лопата?

13 Многоцелевые машины на земляных работах в строительстве

13.1 Экскаваторы-погрузчики. Назначение, классификация и устройство

Экскаватором-погрузчиком (по ГОСТ Р ИСО 6165) называется самоходная колесная или гусеничная машина с центральной рамой, предназначенной для навески погрузочного рабочего оборудования спереди и экскаваторного оборудования «обратная лопата» (обычно с аутригерами) сзади.

Экскаватор-погрузчик совмещает функции двух машин. С помощью погрузочного оборудования ведут погрузочно-разгрузочные работы с сыпучими, мелкокусковыми материалами и разрыхленным грунтом, который добывают из массива экскаваторным оборудованием. Экскаватор используют для прокладки траншей под коммуникации, разработки небольших котлованов под фундамент зданий, добычи на месте и погрузки в транспортные средства строительных материалов.

Экскаваторы-погрузчики эффективно использовать на линейно-протяжных работах при строительстве, ремонте и реконструкции водо-, газопроводов, электрокабелей во дворах, в дорожном строительстве при ремонте и реконструкции водопропускных сооружений, восстановлении инженерного обустройства дорог и др. На строительстве коттеджей и в фермерском хозяйстве экскаваторы-погрузчики заменяют практически три машины: экскаватор, погрузчик и самосвал, поскольку в ковше можно перемещать инертные материалы (песок и щебень) и штучные грузы на расстояние 1...2 км с прицельной отсыпкой по месту укладки. При транспортировке навесное экскаваторное оборудование, исполняющее роль контргруза, препятствует продольному опрокидыванию погрузчика в сторону ковша.

Экскаватор-погрузчик оснащается большим набором сменных рабочих органов: ковшей, отвалов, цепных и дисковых траншейных экскаваторов, грейферного оборудования, захватов, резаков, гидромолотов и др. компоновка машины выполняется по двум схемам: с передним расположением двигателя – «тракторная» и с задним расположением двигателя и шарнирно-сочлененной рамой – «погрузочная».

Отечественные экскаваторы-погрузчики выпускают в основном на базе колесных тракторов и имеют «тракторную» компоновку. Смена навесного оборудования осуществляется посредством быстросменных устройств различной конструкции.

Механизация строительства в условиях реконструкции и ограниченных размеров строящихся и восстанавливаемых объектов приводят к необходимости широкого использования многоцелевой и маневренной техники различного назначения и размера. Номенклатура экскаваторов с обратной лопатой, бульдозеров и другой техники включает широкий спектр машин с мощностью от 10 до 100 кВт. Машины оснащаются набором легко сменных рабочих органов. Малогабаритные короткобазные машины, выпускаемые в Европе, США, Японии и КНР имеют более чем 40 сменных рабочих органов. Рынок строительной, дорожной и коммунальной техники обеспечивает широкий выбор машин различной номенклатуры, типоразмера и назначения. Строительство насыщается автоматизированными комплексами и многоцелевым оборудованием. Растет вариантность машин и параметров рабочих органов, обеспечивающих оптимальное производство работ.

Экскаватор-погрузчик является многоцелевой машиной с рабочими органами для копания и транспортировки грунта. В последнее время тенденция многофункциональности машин четко определяется при производстве нового поколения малогабаритных и среднегабаритных машин. Строительные и дорожно-строительные машины по количеству выполняемых технологических операций подразделяются на две группы: специализированные, выполняющие одну операцию, и многоцелевые, выполняющие несколько операций. Экскаватор-погрузчик является один из примеров реализации многоцелевой машины.

Развитие многоцелевых и универсальных машин характеризуется рядом направлений:

1) - формирование машин с комплектом сменных рабочих органов к базовому оборудованию (комплекты ковшей различной вместимости, рабочие органы различного назначения и т.д.);

2) - создание машин со сменным рабочим оборудованием к базовому шасси (комбинированные и универсальные машины, экскаватор с крановым оборудованием и др.);

3) - разработка машин с постоянно установленным рабочим оборудованием нескольких видов различного назначения (экскаватор-бульдозер, бульдозер-рыхлитель, экскаватор-погрузчик);

4) - создание многоцелевых универсальных рабочих органов различного назначения на базовом оборудовании (челюстной ковш, машина для пересадки деревьев, скрепердозер, экскаватор с грузозахватным крюком и др.);

5) - создание машин (комбайнов) с несколькими постоянно установленными рабочими органами, способными за один рабочий ход осуществлять технологические операции различного назначения, для выполнения которых требуется несколько специализированных машин (машины для ресайклинга и др.).

Реализация первого направления позволяет использовать базовую машину для выполнения большого числа разнообразных технологических операций. Машины третьего и четвертого направлений всегда готовы к работе. Эксплуатация машин первой и второй групп связана с выполнением ряда вспомогательных операций: замену оборудования, подвоз новых рабочих органов, вывоз снятых, их транспортировку, хранение и т.д. Коэффициент использования машин снижается.

Экскаваторы-погрузчики являются машинами циклического действия. Рабочие операции таких машин выполняются в определенной последовательности. Несколько операций складываются в рабочий цикл, который периодически повторяются. Каждый рабочий орган выполняет ряд операций, как часть технологического процесса, все вместе они дают конечный продукт или часть конечного продукта.

Операции технологического процесса предъявляют к экскаваторам - погрузчикам противоречивые требования. Операции копания и транспортировки груза требуют значительных тяговых усилий (увеличения массы машины). Холостые перемещения машины наоборот.

Определение условий эксплуатации, в которых техника дает максимальный эффект является важным фактором интенсификации строительства. На каждой стройке используются землеройные и погрузочные машины.

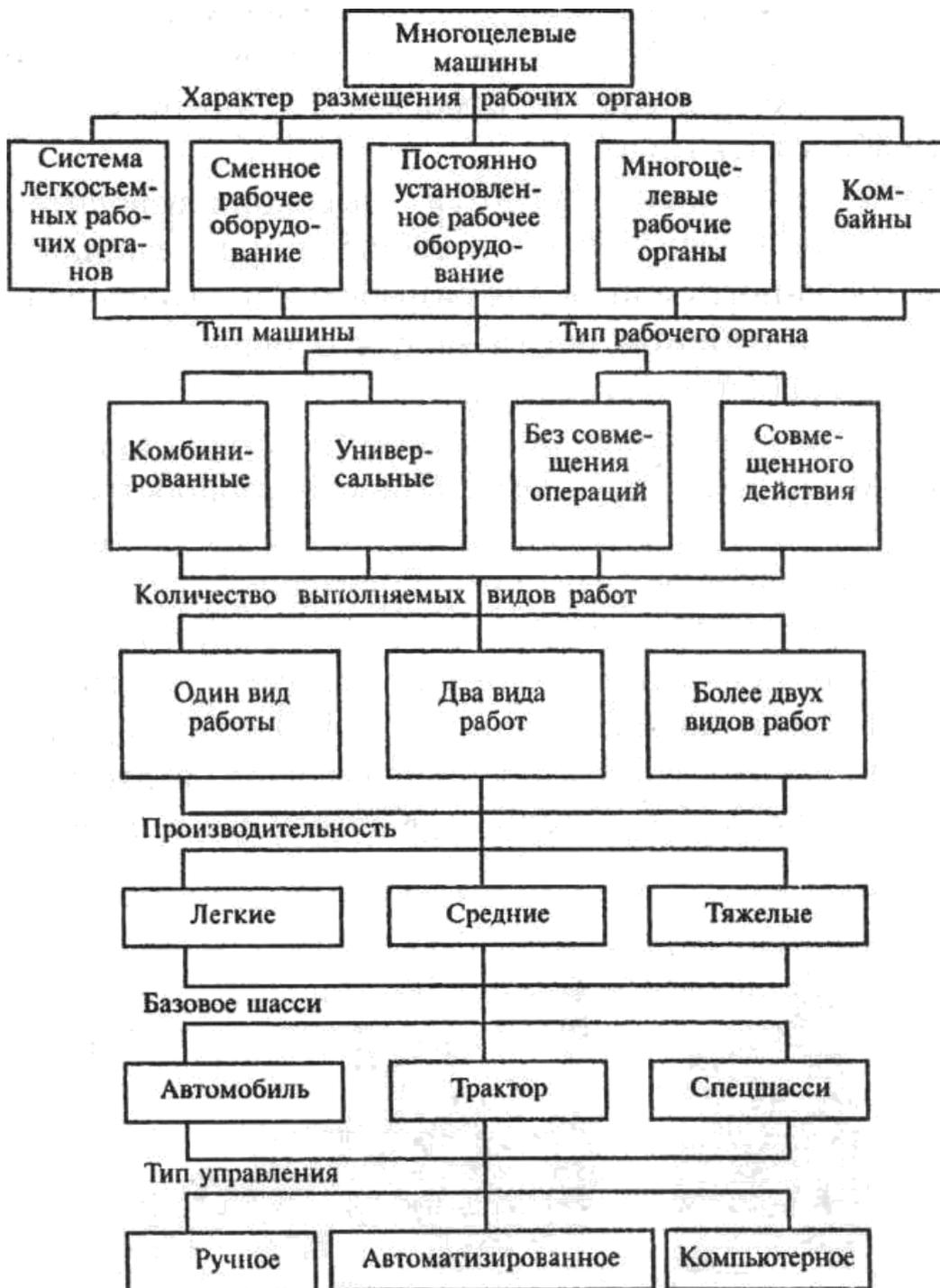


Рисунок 13.1 - Классификация многоцелевых машин

Экскаваторы разрабатывают грунт. Погрузчики грузят землю, поднимают строительные материалы, перемещают грузы по строительным площадкам. Функции этих машин различны. В ряде случаев они могут выполнять одни и те операции. Экскаватор легко осуществляет погрузку грунта в самосвал, а погрузчик иногда может эффективно разрабатывать грунт.

Экскаваторы-погрузчики являются высокопроизводительными, конструктивно простыми и надёжными в эксплуатации машинами. Опыт применения экскаваторов-погрузчиков для разработки и транспортировки грунтов, как в России, так и за рубежом показывает, что такие машины целесообразно оснащать сменными рабочими органами.

Экскаваторы-погрузчики по типу ходового устройства базового трактора являются пневмоколёсными машинами. Широко распространены в России и зарубежной практике полноприводные пневмоколесные экскаваторы - погрузчики, обеспечивающие высокую производительность при работе в наиболее тяжёлых условиях в результате реализации значительных тяговых усилий и высокой проходимости. Современные экскаваторы-погрузчики оснащаются двигателями мощностью от 50 до 100 кВт. Лидерами по объемам производства и продажи экскаваторов-погрузчиков является ряд ведущих фирм: JCB, New Holland, Volvo, Caterpillar, Komatsu, Case, Terex.

Экскаваторы-погрузчики фирмы Volvo. Основываясь на пятидесятилетнем опыте производства колесных погрузчиков, компания Volvo разработала машину BL71, которая обеспечивает значительное повышение производительности за счет скорости выполнения рабочих циклов, высокой грузоподъемности и простоты управления. Экскаватор-погрузчик BL71, рис. 13.2, оснащен двигателем Volvo с турбонаддувом и гидротрансформатором, обладающим высоким максимальным крутящим моментом и оптимальной кривой нарастания момента, за счет чего при работе с грузом обеспечивается максимальная мощность.

Рабочее место оператора комфортно и эргономично, способствует простоте управления машиной. Плоские боковые и задние стекла, цельное переднее стекло кабины обеспечивают хороший обзор рабочей зоны. Вместимость ковша обратной лопаты составляет 0,08...0,31 м³; вместимость ковша погрузчика до 1 м³; глубина копания экскаватора по SAE с втянутой рукоятью – 4300 мм, с вытянутой рукоятью – 5370 мм. Эксплуатационная масса составляет 8594 кг.

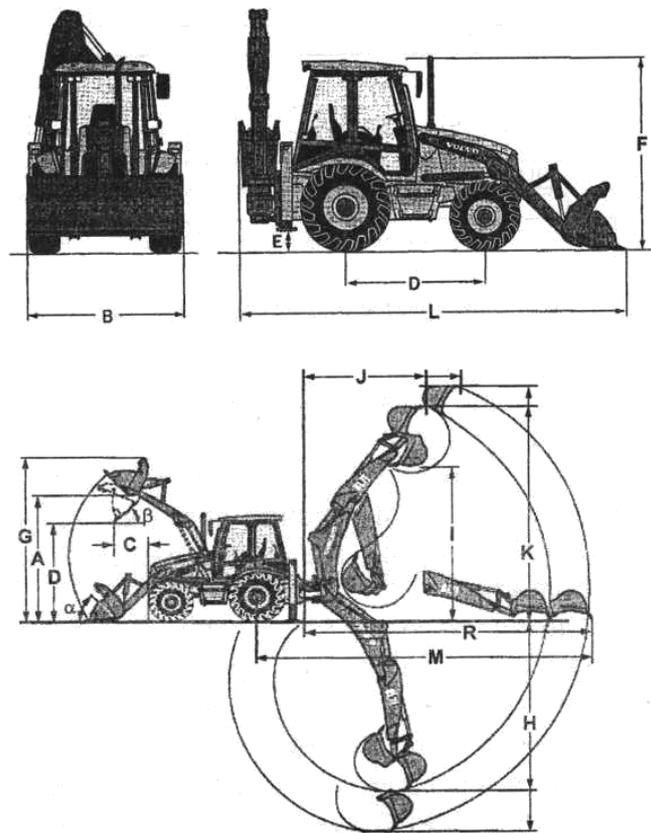


Рисунок 13.2 - Экскаватор-погрузчик фирмы Volvo модель BL 71

Экскаваторы-погрузчики фирмы Komatsu. При создании семейства экскаваторов-погрузчиков WB93 и WB97, рис. 13.3, эта фирма использовала модный дизайн корпусных деталей, мосты для тяжелых условий работы, гидромеханическую трансмиссию с реверсивной синхронизированной коробкой переключения передач под нагрузкой и блокируемыми дифференциалами с электрогидравлическим управлением. Качание переднего моста в поперечной плоскости на угол 20 улучшает проходимость и маневренность машины. Все колеса оснащены многодисковыми маслопогруженными тормозами, управляемыми двумя педалями. Оснащение мощным двигателем (72 кВт/97,8 л. с.) Komatsu S4D 106-1 FA позволяет данному семейству выполнять работы повышенной сложности без превышения нагрузок на основные узлы и агрегаты, что увеличивает срок эксплуатации техники.

Семейство экскаваторов-погрузчиков Komatsu оборудовано телескопической рукоятью, а WB97 еще и стрелой со смещенной ось копания. В отличие от WB93 и WB97R, экскаватор-погрузчик WB97S оборудован равновеликими управляемыми колесами (позволяющими использовать «крабовый ход»), что де-

лает данную модель более маневренной и устойчивой при работе. Многофункциональное (четыре в одном) устройство переднего (фронтального) ковша позволяет использовать экскаваторы-погрузчики Komatsu при различных работах. Конструктивные особенности этих экскаваторов-погрузчиков позволяют применять тяжелый гидромолот UP-650 весом 400 кг, диаметром пики 80 мм, частотой ударов в минуту 450-900 и энергией удара 750 Дж.

Повышенное внимание при разработке семейства экскаваторов-погрузчиков уделено эргономики и безопасности оператора. Удобные кабины оборудованы всем необходимым для продолжительной работы, оснащены конструкциями ROPS/FOPS и отличаются обзорностью и хорошей звукоизоляцией. Органы управления движением машины и ее рабочим оборудованием, а также дисплеи и индикаторы для контроля состояния агрегатов хорошо видны и легкодоступны.

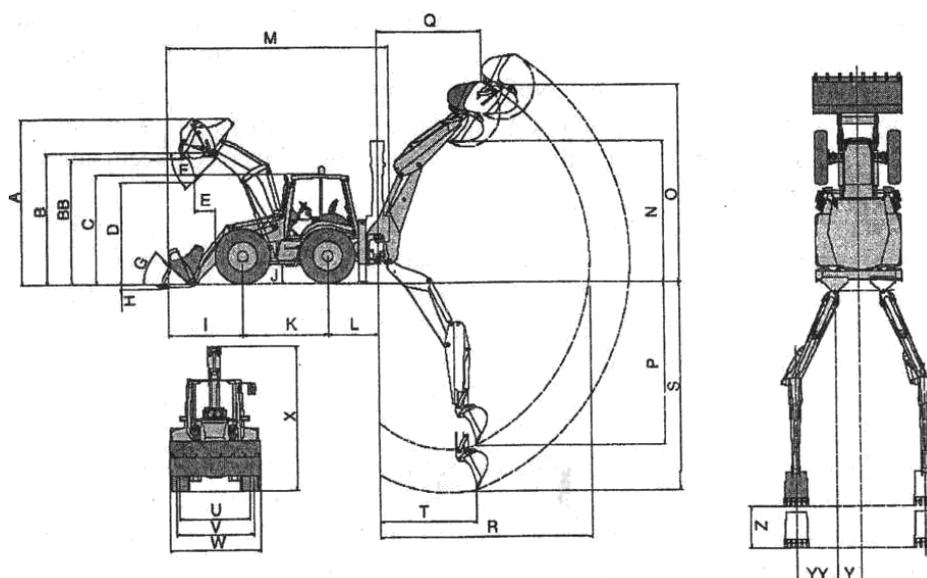


Рисунок 13.3 - Экскаватор-погрузчик фирмы Komatsu модель WS 97

Экскаваторы-погрузчики фирмы Case. Case выпускает три базовые модели 580, 590 и 695, снабженные общим индексом SM (Super M). Каждая из базовых моделей имеет множество модификаций. Модели Case 580 и 590SM оснащаются турбодизельным двигателем Case 4T-390 (номинальная мощность 65 кВт (89 л. с.) для 580SM и 73 кВт (99 л. с.) для 590SM), используемым и на многих других машинах марки Case.

Машина 580SM выпускается в двух вариантах, с приводом на два и на четыре колеса. Машина 590SM поставляется стандартно с приводом на четыре колеса. Обе модели выпускаются в осевом или сдвиговом вариантах оборудования обратной лопаты, а также с фиксированной или телескопической рукоятью. В стандартную комплектацию входит челюстной ковш погрузчика "четыре в одном", оснащенный вилочными захватами. Все модели оснащаются системой "Ride control" для подавления продольных качаний машины при движении для снижения утомляемости оператора, потерь груза и повышения производительности.

Модель 580SM в стандартном исполнении оснащается коробкой передач Powershuttle, обеспечивающей скорость движения до 41,3 км/ч, или как вариант коробкой Powershift с электронным управлением, которая за счет синхронизации делает переключение передач исключительно плавным. Модель 590SM также оснащается коробкой Powershift. Гидравлическая система открытого типа оснащенная сдвоенным шестеренным насосом, обеспечивает максимальный расход 144 л/мин для 580SM и 166 л/мин для 590SM при максимальном давлении 21 МПа. Рулевое управление машин 580-590 серии SM гидрообъемное, осуществляется рулевым гидроцилиндром двойного действия, включенным в общую гидросистему машины. Габаритный радиус разворота обеих моделей с приводом на 4 колеса – 5,17 м. Машина имеет высокую грузоподъемность рабочего оборудования погрузчика – 4020 кг, экскаватора – 1110 кг на максимальной высоте. Максимальная глубина копания – 4,37 м (5,44 м с выдвинутой рукоятью).

Погрузчик Case 695, (рис. 13.4), с рабочим оборудованием «обратная лопата» имеет колесную формулу 4x4x4, т. е. оснащен приводом и рулевым управлением на все четыре колеса. Он оснащен двигателем мощностью 78 кВт (106 л. с.); тремя режимами рулевого управления – передние колеса, все колеса и крабовый режим, позволяющий работать вблизи стен и препятствий; колесами равного размера, обеспечивающими максимальное тяговое усилие; трансмиссией Powershift, обеспечивающей простоту управления и высокую скорость рабочих операций. Габаритный радиус поворота погрузчика всего 4,53 м. В автоматическом режиме

трансмиссия переключает передачи вверх или вниз, в зависимости от скорости и нагрузки машины.

Все модели Case, как со стороны погрузчика, так и со стороны экскаватора, оснащаются сменными орудиями, которые обеспечивают эффективное использование этих машин в строительстве, промышленности и сельском хозяйстве.

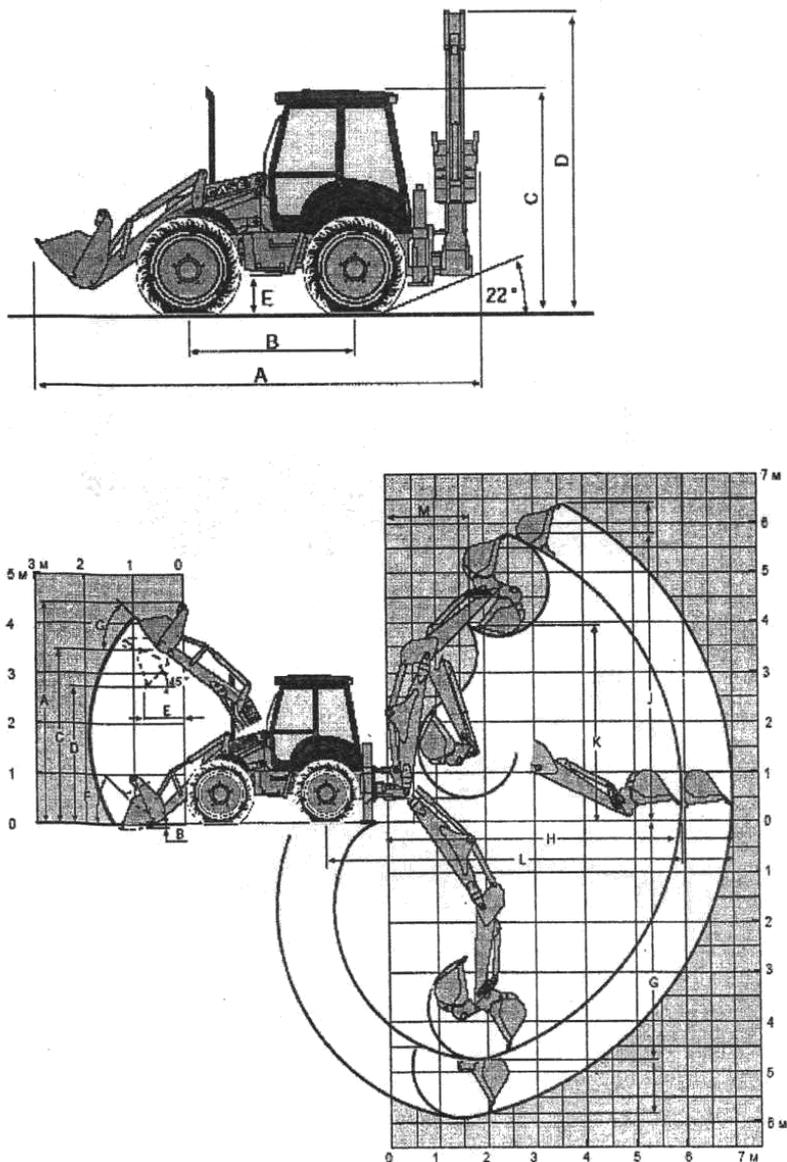


Рисунок 13.4 - Экскаватор-погрузчик фирмы Case модель 695SM

Экскаваторы-погрузчики фирмы JCB. Фирма является одной из ведущих производителей экскаваторов-погрузчиков и поставляет модели JCB 3CX и 4CX, рис. 13.5.

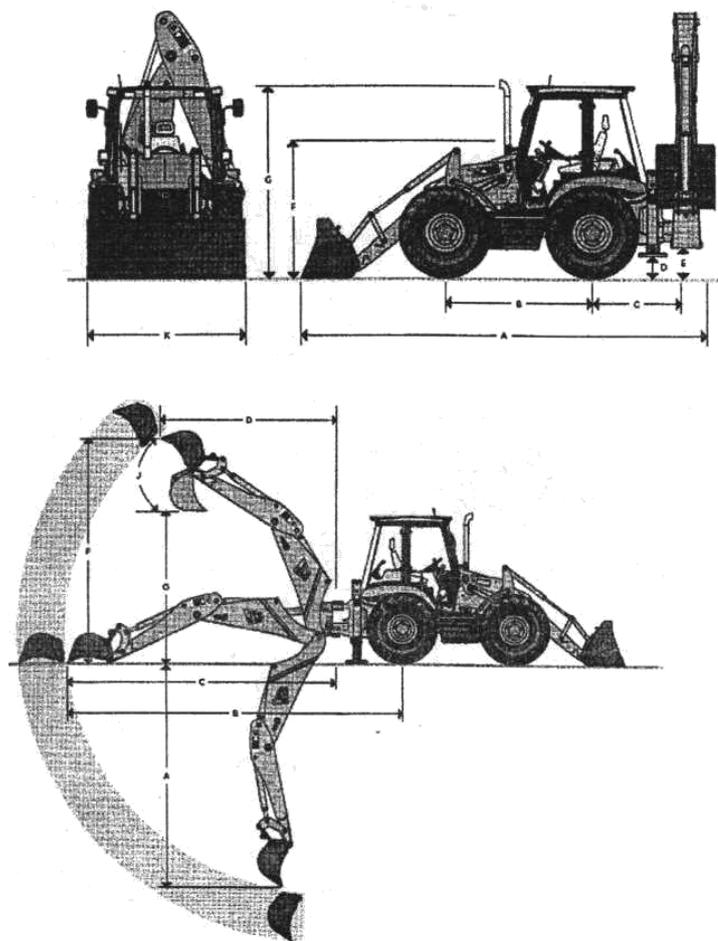


Рисунок 13.5 - Экскаватор-погрузчик фирмы JCB модель 4СХ

Машины оснащаются автоматизированной кабиной, обеспечивающей комфорт оператора и простоту управления. Разработанная JCB система прецизионного сервоуправления со смонтированными на сидении простыми в использовании органами управления. Кабина обладает хорошей круговой обзорностью, увеличенной на 25% шириной проема заднего окна, пониженным уровнем пола в задней части кабины, что улучшает обзорность при работе экскавационным оборудованием. Новые 4- и 6-ступенчатые полуавтоматические коробки передач обеспечивают увеличение тягового усилия на 11%. Улучшены эксплуатационные качества погрузчика – увеличено на 15% усилие отрыва ковша и на 26% увеличена его грузоподъемность. В качестве дополнительного оборудования предлагается разработанная JCB система плавного хода (SRS). По отдельному заказу экскаватор-погрузчик может комплектоваться экскавационным оборудованием со смещенной осью копания.

Упрощено техническое обслуживание. Исполнение капота на петлях и съемных боковых панелей облегчает доступ к двигателю при выполнении ежедневных проверок. Интервалы между циклами сервисного обслуживания машин JCB составляют 500 ч и являются максимальным для погрузчиков с обратной лопатой, при среднем для отрасли показателе 250...300 ч, что способствует снижению расходов на содержание и эксплуатацию.

Экскаваторы-погрузчики фирмы Caterpillar. Фирма предлагает на рынках РФ и СНГ 15 моделей и модификаций экскаваторов-погрузчиков. Серия D имеет новый салон кабины с хорошим обзором, тонированными небликующими стеклами, повышенной комфортностью управления машиной, аудиоустройством и местом для хранения личных вещей оператора. На моделях 432 и 442, (рис. 13.6), устанавливаются джойстики управления погрузчиком и экскаватором. Сиденье с пневмоподвеской сглаживает неровности дороги во время движения. Новая система отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха обеспечивает оптимальное отопление, охлаждение, обдув и обогрев стекол. Уровень шума в кабине снижен до 78 дБА. Поворот машины всеми управляемыми колесами обеспечивает ей высокую маневренность.

На все модели устанавливается двигатель 3054 с турбонаддувом, мощностью 77 кВт (105 л. с.). Универсальность машин определяется большим выбором рабочих орудий, как для погрузчика, так и для экскаватора, которые можно быстро менять с помощью устройств быстрого соединения. Конструкция шарнирно-рычажного механизма погрузчика обеспечивает параллельный подъем сменных рабочих орудий, а также помогает развивать максимальное усилие подъема и вырывное усилие ковша.

Угол вращения ковша вокруг оси пальца шарнира составляет 205°, что позволяет копать в вертикальной плоскости, работать в стесненных условиях в непосредственной близости от машины. Для увеличения глубины и дальности копания рукоять можно удлинять. Серия D позволяет выбрать схему управления обратной лопатой.

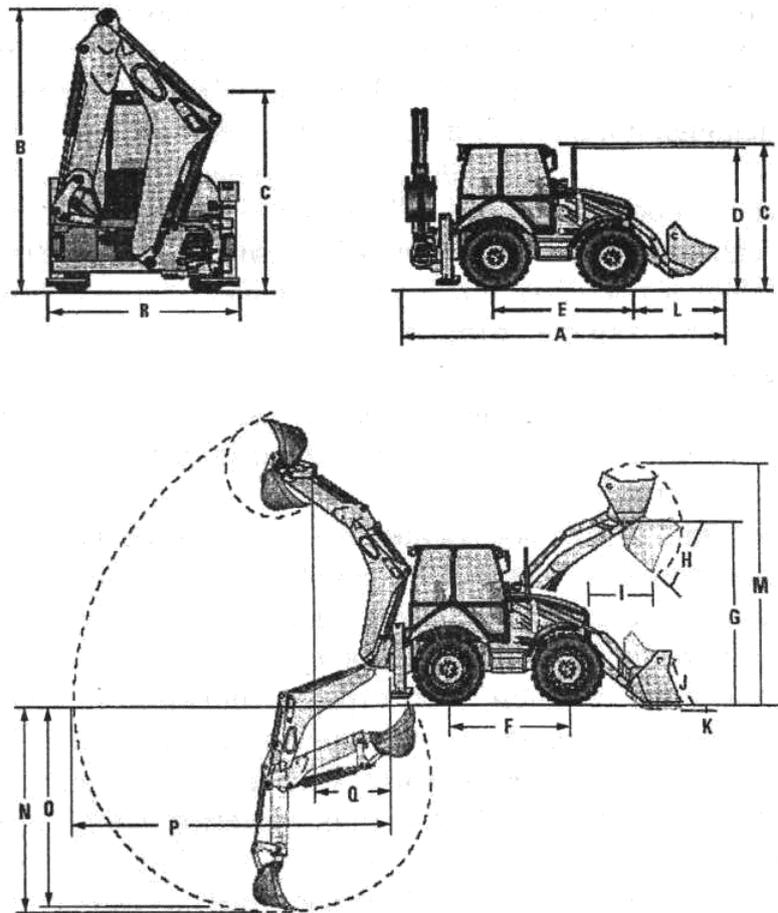


Рисунок 13.6 - Экскаватор-погрузчик фирмы Caterpillar модель 442E

Коробка передач с реверсивным переключением под нагрузкой позволяет выбирать передачу и менять на ходу направление и скорость движения Система полного привода на все колеса является стандартной, что повышает маневренность машины и производительность погрузчика. Возможна установка системы плавности хода для сглаживания толчков при движении на неровной поверхности.

На экскаваторе-погрузчике моделей 424D, 428D и 432D по заказу устанавливается узкая рама погрузочного оборудования, что в сочетании с узким ковшом уменьшает габаритную ширину машины с 2406 до 2262 мм. Ресурс новых изнашиваемых деталей с автоматической смазкой, устанавливаемых Hi удлиняемой рукояти, увеличен на 80%. Срок службы изнашиваемой детали на стабилизирующей опоре увеличен на 30%.

Экскаваторы-погрузчики фирмы Kramer-Werke. Фирма выпускает экскаваторы-погрузчики двух моделей, 316 и 616, с двигателем мощностью 7: кВт (102

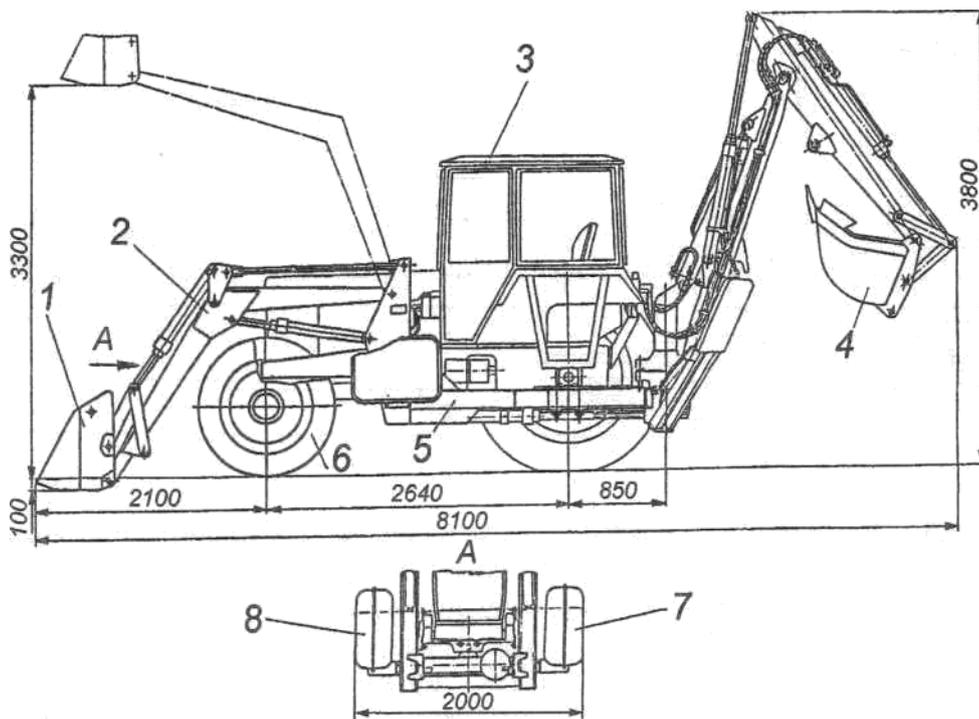
л.с.). Экскаваторы-погрузчики характеризуются: использование! специального базового шасси с двигателем под кабиной – оптимальной компоновкой для агрегирования с рабочим оборудованием передней и задней навески; высокой маневренностью за счет применения системы поворота с всеми управляемыми колесами; универсальностью применения за счет широкой номенклатуры сменных рабочих органов (более 30 видов); наличием системы быстрой смены рабочих органов погрузочного оборудования без выхода водителя из кабины.

Экскаваторы-погрузчики в Российской Федерации и странах СНГ выпускают ряд предприятий: ОАО «Сарэкс», ОАО «Муроммашзавод», ГУП «Омсктрансмаш», ООО «Златэкс», ОАО «Завод экскаваторы LEX», ОАО «Амкодор» (Республика Беларусь), ЗАО «АТЕК». Технические характеристики отечественных экскаваторов-погрузчиков приведены в приложении.

Как правило, для установки экскаваторного и погрузочного оборудования используют серийные тракторы (ЮМЗ, ВТЗ, МТЗ), но уже появились машины на собственных специально разработанных шасси.

Экскаваторы-погрузчики ЭОП-2621В-2 производства ГУП «Омсктрансмаш». Машина является экскаватором-погрузчиком, оборудованным в задней части неполноповоротным экскаватором с ковшом «обратная лопата», а в передней части погрузочным ковшом (рис. 13.7). ЭОП-2621В-2 является серийным навесным экскаватором ЭО-2621В-2 на базе трактора ЗТМ-62 в передней части оборудованным погрузочным ковшом.

Погрузчик предназначен для выполнения различных погрузочно-разгрузочных работ с сыпучими грузами (грунт, песок, щебень, навоз и т. д.



1 - ковш погрузчика челюстной; 2 - стрела погрузчика; 3 - базовый трактор; 4 - экскаватор «обратная лопата»; 5 - рама погрузочного оборудования; 6 - усиленные колеса; 7 - масляный бак гидросистемы 100 л; 8 - топливный бак 100 л.

Рисунок 13.7 - Экскаватор с фронтальным погрузчиком ЭОП-2621В-2 на базе трактора ЗТМ-62Л производства ГУП «Омсктрансмаш».

14 Машины для уплотнения грунтов и дорожно-строительных материалов

14.1 Общие сведения, классификация, основы теории

В современном строительстве уплотнение грунта производится во многих случаях, например при возведении фундаментов на слабых, насыпных, лессовых, макropористых и тому подобных грунтах.

Прежде чем устраивать бетонные, асфальтобетонные и прочие покрытия полов в промышленных зданиях требуется обязательное уплотнение основания.

При укладке газо-, водо-, нефтепровода, канализации и т.п. производят уплотнение грунта в траншеях.

Таблица 13.1 - Фронтальные одноковшовые погрузчики

Модель	Грузо-подъемность, кг	Вместимость ковша, м ³	Ширина ковша, м	Высота выгрузки, м	Двигатель	Мощность, кВт/л.с.	Скорость вперед/назад, км/ч	Масса, кг	Габарит, м	Производитель
МТЗ-320ПО4	400	0,25	1,49	2,0	БТМ-3413	24/33	25/13,37	2200	4,12x1,5x2,28	МТЗ, г. Минск,
Беларус П10М	750	0,38	2,2	2,64	Д-243	57,4/78	33,4/11	5100	5,49x2,2x2,99	Беларусь
ПФ-1	1000	0,9	2,0	2,6	Д-65М	45,6/62	24,5/5,7	4800	7,2x2,0x2,8	Юргинский машзавс
ПФ-10	1000	0,9	2,0	2,6	Д-65Н	45,6/62	24,5/5,7	5600	6,5x2,0x2,73	«Омсктрансмаш»
ПФП-1,2	1500	0,9	2,045	2/2,3	СМД-18Н	73,6/100	11,5/8,5	8740	5,72x2,54x2,75	Слободской машзаво
ПГФП-1,25	1500	0,9	2,05	2/2,3	Д-440-20	72/98	11,1/8,2	8486	5,82x2,54x3,036	«Казахстантрактор»
Т-4АП2-ПН4	2000	1,0	2,475	1,9/2,25	А-01М	99/135	9,32/6,1	11450	5,23x2,475x2,565	«Алттрак»
ЗТМ-213	2500	1,25	2,4	4,0	Д-243	57,4/78	35/20,9	9150	6,33x2,4x3,285	«Экско»
Т-156Б-09	3000	1,5	2,5	2,92	ЯМЗ-236Д	129/175	35,2/15,5	10430	7,13x2,5x3,27	ХТЗ, Украина
ПК-27-02	2700	1,35	2,4	2,8	Д-75ПС1	55/75	19,5/11	8330	6,47x2,4x3,325	«Орел-Погрузчик»
ПК-27-03	2700	1,35	2,4	2,8	Д-243-147	57,4/78	20,3/12	8185	6,47x2,4x3,325	
ПК-33-01	3300	1,6	2,48	2,885	Д-260	95/130	29,1/17	9450	6,915x2,48x3,395	
ПК-33-02	3300	1,6	2,48	2,885	Д-245.35	73,6/100	32/18,1	9650	6,915x2,48x3,395	
ПК-40-02	4000	1,95	2,48	2,89	Д-260.1	109/148	29,9/17	9715	6,915x2,48x3,41	
П-4/85	3500	2,0	2,9	3,0	ЯМЗ-238НДЗ	172/235	35/25	16500	8,4x2,9x3,75	Слободской машзаво;
ЗТМ-216А	3700	1,7-2,0	2,4	2,8	А-01М	95,5/130	30/18	10200	7,08x2,4x3,57	«Донецкий
ЗТМ-216АРТ	3700	1,7-2,0	2,4	2,8	Д-442.13-10	95,5/130	29/17	10200	7,08x2,4x3,57	экскаватор»
П4.04.01	4500	2,25	2,95	3,05	Д-180	132/180	10,9/13	22540	7,35x2,9x3,265	«ЧТЗ-Уралтрак»
ПК-46	4600	2,4	2,65	2,9	ЯМЗ-236М2	132/180	35,4/23	13500	7,73x2,65x3,465	«ЧТЗ-Уралтрак»

При гидротехническом и гидромелиоративном строительстве уплотнением грунта достигается меньшая водонепроницаемость, необходимая для уменьшения количества воды, фильтрующей через дамбы, плотины и стенки каналов. Кроме понижения фильтрации уплотнение грунта предохраняет дамбы от разрушения и дает возможность делать откосы дамб круче, что, в свою очередь, уменьшает общий объем земляных работ.

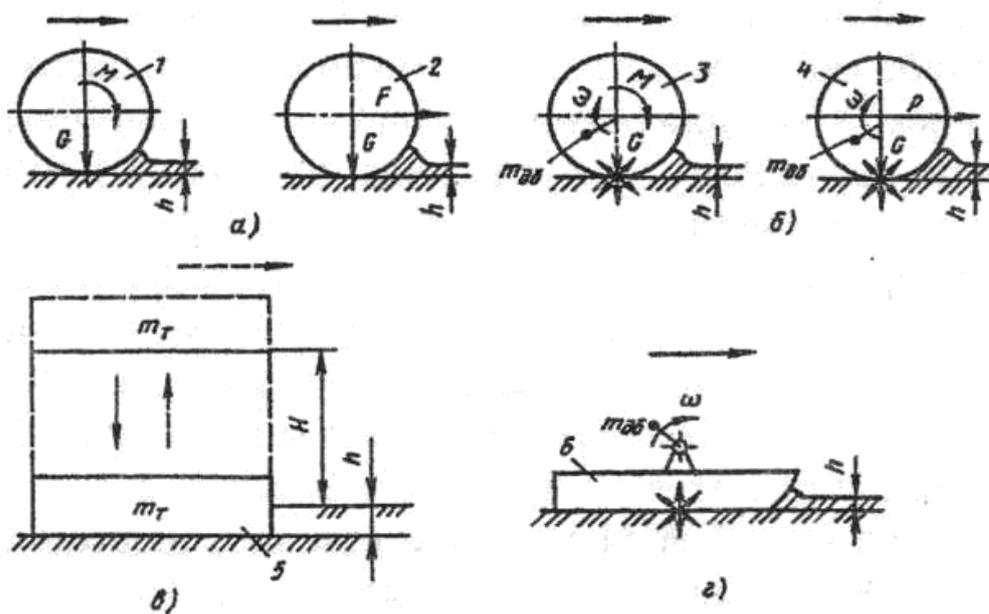
При дорожном строительстве постройка земляного полотна без достаточного механического уплотнения требует продолжительного двух-трехлетнего отстаивания. В противном случае земляное полотно не успевает полностью дать осадку и, осаждаясь в дальнейшем, разрушает дорожную одежду.

Уплотнение грунтов и дорожно-строительных материалов является одной из наиболее важных стадий технологического процесса при строительстве дорог.

Процесс уплотнения, выполняемый путем статического или динамического воздействия, существенно влияет на эксплуатационную прочность отдельных строительных элементов и сооружения в целом. При уплотнении насыпных материалов и грунтов естественного залегания уменьшаются воздушные включения и сокращается содержание воды. Уплотнение приводит к увеличению сцепления между частицами грунта и повышает его несущую способность.

По принципу действия рабочих органов уплотняющих машин различают следующие основные методы уплотнения (рис. 14.1): укатка (рабочий орган - уплотняющий каток - перемещается по уплотняемому материалу, (рис. 8.2, а); трамбование - ударное воздействие (уплотнение достигается периодическими ударами уплотняющего элемента по уплотняемому материалу, (рис. 8.2, в); вибрационные воздействия (материалу сообщают кратковременные, следующие один за другим импульсы, (рис. 8.2, б).

Существуют также машины, основанные на комбинировании указанных принципов действия: вибрационные катки, виброударное оборудование, вибрационное трамбование и др. Статическим воздействием является укатка, к динамическим воздействиям относятся вибрирование и трамбование, комбинированные методы совмещают в себе вышеперечисленные воздействия (виброукатка, вибротрамбование).



1 - ведущий валец статического действия; 2 - прицепной валец статического действия; 3 - ведущий валец вибрирующего действия; 4 - прицепной валец вибрирующего действия; 5 - трамбуемая плита; 6 - вибрирующая или вибротрабуемая плита; M - момент; G - сила тяжести катка; h - деформация материала; P - тяговое усилие; $m_{об}$ - вращающаяся масса дебаланса; ω - частота вращения; m_T - масса трамбуемой плиты; H - высота падения плиты.

Рисунок 14.1 - Методы уплотнения и рабочие органы уплотняющих машин: а - укатка; б - виброуплотнение; в - трамбование; г – вибротрамбование

Катки являются наиболее распространенными и простыми машинами для уплотнения грунтов и дорожно-строительных материалов. Производство дорожных катков в России регламентируют два государственных нормативных документа: ГОСТ 21994 и ГОСТ 27598.

ГОСТ Р ИСО 6165-99 дает следующее определение катка. Катком называется самоходная или прицепная машина с уплотняющим устройством, состоящим из одного или более металлических цилиндрических вальцов (барабанов) или резиновых шин, предназначенная для уплотнения материалов, например щебня, грунта, асфальта или гравия, путем укатывания и (или) вибрационного воздействия уплотняющего устройства.

ГОСТ 21994 устанавливает термины и определения, используемые в

науке, технике и производстве в области дорожных катков, которые являются обязательными для применения в документации всех видов, научно-технической, учебной и справочной литературе.

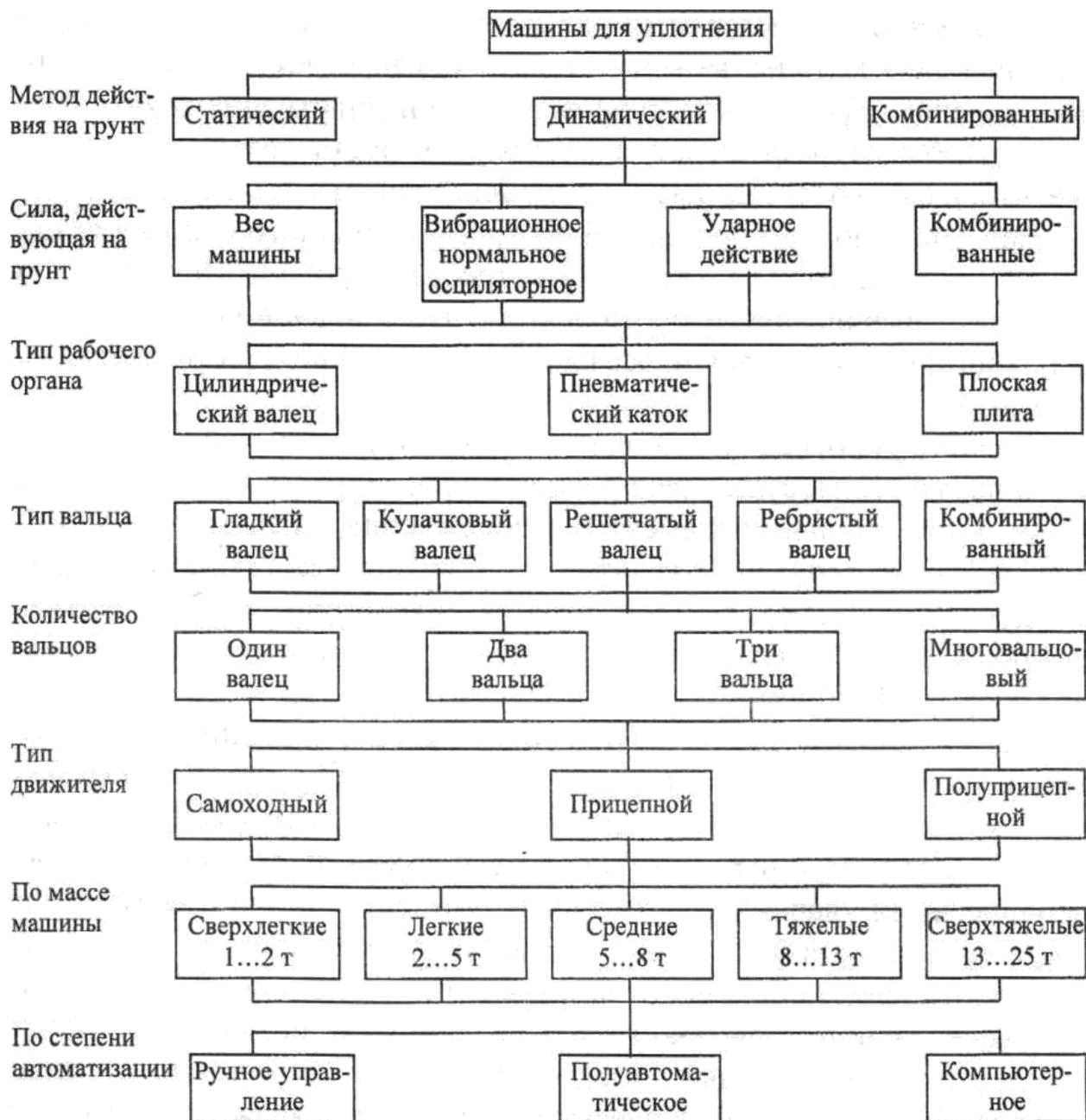


Рисунок 14.2 - Классификация машин для уплотнения грунтов

В соответствии с ГОСТ 21994 дорожный каток (или сокращенно каток) – машина для уплотнения дорожно-строительного материала качением одного или нескольких рабочих органов.

Статический дорожный каток – дорожный каток для уплотнения собственной массой.

Вибрационный дорожный каток – дорожный каток для уплотнения собственной массой и периодическими колебаниями одного или нескольких рабочих органов.

Вальцовый дорожный каток – дорожный каток с рабочими органами в виде металлических вальцов. В соответствии с числом вальцов дорожному катку присваивается наименование «одновальцовый», «двухвальцовый» или «трехвальцовый».

Дорожный каток с гладкими вальцами - вальцовый дорожный каток, обода вальцов которого имеют гладкую рабочую поверхность.

Кулачковый дорожный каток - вальцовый дорожный каток, на обода вальца которого жестко закреплены ряды кулачков.

Решетчатый дорожный каток - вальцовый дорожный каток, обод вальца которого имеет рабочую поверхность в виде решетки.

Пластинчатый дорожный каток – вальцовый дорожный каток, на обода вальца которого шарнирно закреплены башмаки.

Ребристый дорожный каток – вальцовый дорожный каток, на обода вальца которого закреплены ребра.

Пневмоколесный дорожный каток – дорожный каток с рабочими органами в виде пневматических колес.

Комбинированный дорожный каток – дорожный каток с уплотняющими органами, характерными для дорожных катков различного вида.

Дорожное полотно сооружается из различных дорожно-строительных материалов, в том числе щебня, гравия или песка (насыпная плотность которых значительно ниже плотности монолитного материала), и высоковязких вяжущих веществ, как правило, плохо смачивающих минеральные материалы. Эксплуатационные свойства дорожной одежды определяются двумя основными факторами:

- а) материалами;

б) технологией покрытия.

Стадия уплотнения в технологическом процессе является последней. От степени уплотнения зависят основные эксплуатационные характеристики (ровность поверхности и несущая способность, износостойкость и атмосферостойкость).

Процесс уплотнения сводится к статическому или динамическому силовому воздействию на обрабатываемый материал, под действием которого происходит сближение частиц материалов, их более компактное расположение и снижение пористости. Степень уплотнения можно характеризовать плотностью и пористостью (для чего необходимо знать эти показатели монолитных пород).

Укатка: при укатке рабочий орган - уплотняющий валец (каток) - перекачивается по поверхности уплотняемого слоя. Под действием силы тяжести слой материала приобретает остаточную деформацию h_0 . Она будет уменьшаться по мере увеличения плотности слоя и к концу укатки приблизится к нулю. Дальнейшего увеличения плотности можно добиться только увеличением нагрузки (т. е. G).

Трамбование: при трамбовании уплотняющий элемент (массой m) оказывает ударное воздействие (с высоты H) на слой материала. По мере уплотнения слоя остаточная деформация (h_0) будет также уменьшаться, вплоть до нулевых значений.

Виброуплотнение: при вибрационном воздействии уплотняющего элемента (массой m) на материал его частицы, находящиеся в зоне действия вибрации, приходят в колебательное состояние. Различные по массе частицы получают различные ускорения, в результате чего они взаимно перемещаются, а межчастичные промежутки заполняются мелкими частицами. Результатом является уплотнение материала.

Отметим, что давление рабочих органов на уплотняемую среду не должно превосходить пределы ее прочности (или пределы текучести вяжущего материала). В последнем случае происходит пластическое течение и выдавливание вяжущего материала из-под рабочих органов. В результате при укатке появляется волнообразование.

Укатка относится к статическому воздействию, остальные (трамбование, виброуплотнение) - к динамическому. Они используются как отдельно, так и в сочетании друг с другом, в зависимости от свойств уплотняемых материалов.

Наиболее распространенными машинами для уплотнения грунтов и дорожно-строительных материалов являются катки.

Самоходный каток состоит из следующих основных узлов: рамы, силовой установки с трансмиссией, рабочего оборудования (вальцов или пневмоколёс), гидросистемы управления рабочим оборудованием, для пневмоколёс – пневмосистемы, а также смачивающего устройства и устройства для очистки рабочего оборудования (вальцов).

Для обеспечения деформационной устойчивости земляных сооружений, отсыпаемые грунты следует уплотнять до состояния, близкого по плотности к состоянию залегания грунтов.

В процессе уплотнения дорожно-строительных материалов происходит постоянный рост предела прочности и модуля деформации (упругости) уплотняемого материала. Эффективность и качество уплотнения зависят от соотношения контактных давлений вальца и прочностных характеристик уплотняемого материала. Наибольший эффект достигается при соответствии этих параметров путем последовательного повышения контактных давлений от прохода к проходу. Это реализуется с использованием катков возрастающей (от прохода к проходу) массы - легкого, среднего и тяжелого.

Как отмечалось, давление рабочего органа на грунт не должно превышать предела прочности грунта и на сжатие. На практике используют соотношение

$$\sigma_{mx} = (0,8 \dots 0,9)\sigma \quad (14.1)$$

где σ_{mx} - максимальное значение контактного давления на грунт, МПа.

Для гладкого металлического вальца используют формулу

$$\sigma_{max} = \sqrt{\frac{qE_0}{R}} \quad (14.2)$$

где q - линейное давление вальца на грунт, МПа/м;

E_0 - модуль деформации грунта, Мпа;

R - радиус вальца катка, м.

Катки с гладкими вальцами могут уплотнять грунт слоями толщиной 15 - 20 см. Их стараются заменить для грунтов более эффективными катками на пневмошинах, которые уплотняют грунт на большую глубину.

Основными параметрами катков с жесткими гладкими вальцами являются сила тяжести, диаметр и ширина вальца, а также давление, приходящееся на единицу ширины вальца.

Исходя из условий поперечной устойчивости катка и обеспечения равномерного уплотнения грунта

$$B_B \geq (1,0 \dots 1,2)D_B \quad (14.3)$$

где B_B и D_B - соответственно ширина и диаметр вальца, м.

Если B_B будет больше этого соотношения, ухудшаются условия движения на поворотах.

Необходимое число проходов катка при уплотнении несвязных грунтов - 4-6, связных - 10-12.

Гладкие вальцы используют для асфальтобетонных покрытий, а также для гравийно-щебеночных материалов.

В настоящее время производится большое количество различных по компоновке катков. Поэтому представляется целесообразным выполнить их классификацию в виде таблицы 14.1.

Таблица 14.1 – Классификация катков по компоновке

Показатель	Катки с различной схемой компоновки		
Валец	Гладкий металлический	Гладкий металлический, комбинированный	Комбинированный
Принцип действия	Статические и вибрационные	Статические и вибрационные	Вибрационные
Трансмиссия	Механическая	Гидростатическая	Гидромеханическая и гидростатическая
Способ управления поворотом	Направляющий валец	Направляющий валец	Шарнирно-сочлененная рама

Катки статического действия наиболее распространены для уплотнения грунтов и дорожно-строительных материалов. Их классифицируют по следующим признакам:

1) по способу передвижения:

- прицепные;
- полуприцепные;
- самоходные.

В прицепном катке его сила тяжести полностью передается на уплотняемый материал, а в полу прицепном - часть силы тяжести передается на тягач через сцепное устройство;

2) по виду рабочего органа (рисунок 14.3):

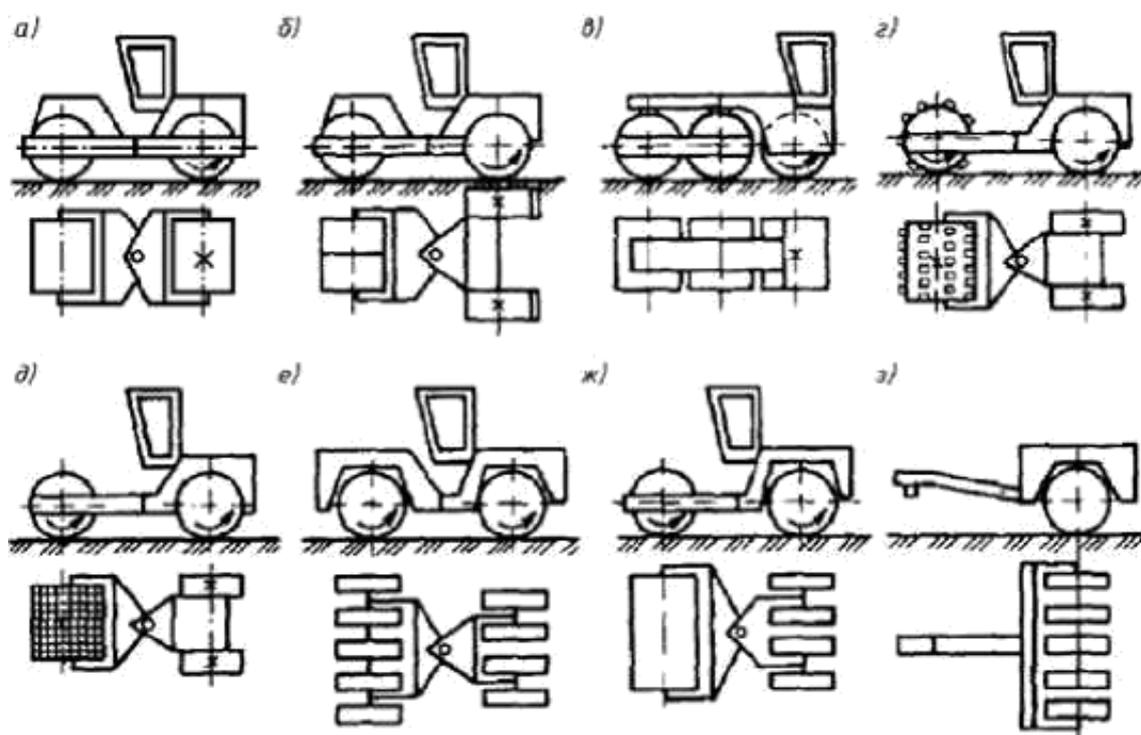
а) с металлическими вальцами:

- гладкими (см. рис. 14.3. а - в);
- фигурными (кулачковыми, решетчатыми и др.) (см. рис. 14.3, г, д);

б) катки пневмоколёсные (см. рис. 14.3, е, з):

в) катки комбинированные (с гладкими вальцами и пневмоколёсами)

(см. рис. 14.3, ж).



a - ж - самоходные; *з* – прицепные.

Рисунок 14.3 - Основные схемы уплотняющих катков статического действия

По числу осей катки с гладкими вальцами разделяют на одно-, двух- и трехосные (см. рисунок 14.3).

Одноосные – это, как правило, одновальцовые катки. Их выполняют как с поддерживающими элементами (вальцами или колесами), так и без них. Это катки легкого типа. Двигатель и трансмиссия располагаются внутри вальца, а рычаги управления выносят на рукоятку дышла, с помощью которой вручную выполняют повороты катка. Поддерживающие элементы делают управляемыми.

Двухосные катки выполняют, как правило, двухвальцовыми с одним или двумя ведущими вальцами. Эти катки бывают легкого, среднего и тяжелого типа. Один из вальцов является управляемым, т.е. может поворачиваться вокруг вертикальной оси. Как правило, в таких конструкциях оба вальца выполняют одинаковой ширины и диаметра.

Трехвальцовые катки могут быть двух и трехосными и относятся к каткам среднего и тяжелого типа Их задние ведущие вальцы в диаметре в 1,3-1,6 раза

больше, чем передний. Нагрузка от задних вальцов в 2 раза больше нагрузки от переднего вальца. Уплотнение в основном осуществляется задними вальцами, которые перекрывают след переднего вальца на 100 мм с каждой стороны. Большой диаметр ведущих вальцов улучшает качество укатки и даст возможность легко преодолевать препятствия.

Трехосные катки с тремя вальцами (с одним или всеми тремя ведущими) относятся к каткам тяжелого типа. Передний валец может свободно перемещаться в вертикальной плоскости, что позволяет в транспортном положении не нагружать раму, которая связывает все вальцы. При необходимости его можно зафиксировать в определенном положении. Такие катки используют для окончательной отделки и уплотнения (из-за конструкции рамы их называют катками безволновой укатки).

Катки с гладкими металлическими вальцами имеют конструкцию основных частей, зависящую от числа осей. Вальцы катков выполняют цельнолитыми из чугуна или стали, а также сварными, состоящими из обода, дисков и ступицы. Для снижения металлоемкости вальцы часто изготавливают полыми (полости заполняют песком).

Передние (направляющие) вальцы могут выполняться разрезными, состоящими из двух одинаковых частей. В результате при поворотах каждая часть вращается со своей скоростью, что улучшает ровность поверхности (из-за уменьшения сдвигов материала) и уменьшает сопротивление повороту, что важно при уплотнении асфальтобетонных покрытий.

Подвеску (один из вариантов) переднего вальца конструируют так, чтобы валец мог наклоняться в вертикальной плоскости на угол до 30-35° при наездах на препятствия одной стороной.

Катки с фигурными кулачковыми вальцами являются самыми распространенными для уплотнения грунта. Они представляют собой полые гладкие металлические вальцы (диаметром 1-2.6 м), к внешней поверхности которых приварены уплотняющие кулачки (в шахматном порядке). Кулачковые вальцы имеют загрузочный люк для заполнения балластом (камнем, грунтом и др.).

Для гладких вальцов уплотнение грунта происходит от поверхности вглубь слоя. Кулачковые вальцы начинают уплотнение на глубине, наращивая его в направлении к поверхности. Поэтому на контактных площадках кулачков с грунтом должно быть достаточное давление для их погружения.

Кулачки могут иметь различную форму (рис. 14.3А.)

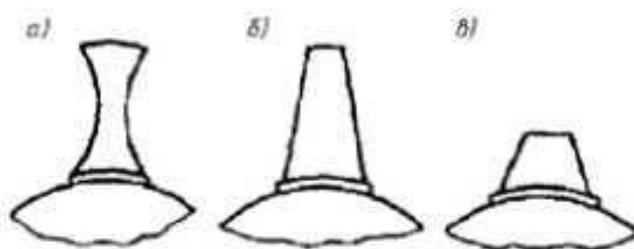


Рисунок 14.3 - А – Основные типы кулачков грунтоуплотняющих катков:
а – реверсивные; б – шиповые; в – сегментные

Они должны обеспечивать уплотнение на максимальную толщину отсыпаемого грунта и минимальное разрыхление поверхностного слоя при выходе кулачка на поверхность. Наибольшая эффективность достигается при работе на грунтах, если количество кулачков составляет 15-20 для тяжелых и 20-25 для легких катков на 1 м² поверхности вальца.

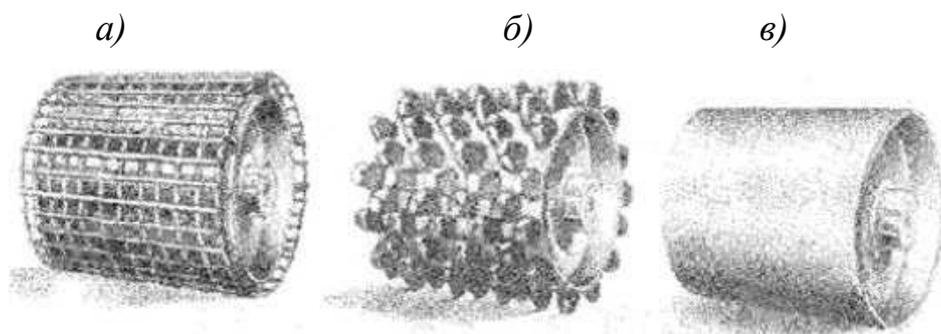
По давлению катки с кулачковыми вальцами разделяют на легкие (0,4 - 2,0 МПа), средние (2 - 4 МПа) и тяжелые (4 - 10 МПа).

Форма кулачков также влияет на качество уплотнения грунтов. Ранее применялись реверсивные симметричные кулачки, которые хорошо погружались в грунт и выходили из него без излишнего разрыхления поверхности. Однако при работе на связных грунтах происходит налипание грунта на шейку кулачка. Поэтому в настоящее время используют шиповые и сегментные кулачки, которые обеспечивают ударное воздействие на грунт (см. рис. 14.3). Их опорная поверхность имеет круглую, квадратную или эллиптическую форму.

В настоящее время в СНГ выпускают кулачковые катки массой (с балластом) 9 и 18 т (имеются катки до 30 т при диаметре вальцов до 2,4 м). Толщина

уплотняемого слоя достигает 0,2-0,3 м при 8 - 12 проходах. Однако при их работе верхняя часть грунта разрыхляется при выходе кулачка, поэтому грунт доуплотняют с помощью катков других типов с гладкими или пневмоколёсными вальцами.

Катки с решетчатыми вальцами (рис. 14.4) имеют обечайку в виде решетки из прутьев диаметром 30-40 мм (или собранной из литых металлических элементов). Масса катка с балластом составляет 15-30 т при диаметре вальца до 2,5 м и ширине до 3 м. Их используют и для связных, и для несвязных грунтов, обеспечивая уплотнение на глубину до 0,4 м.



а - решетчатый; б - кулачковый; в – гладкий.

Рисунок 14.4 – Вальцы

Пневмокотки могут уплотнять все виды грунтов, а также асфальтобетонные смеси. Они не подвергают дроблению щебень и гравий (как гладкие металлические вальцы). Благодаря совместному действию силы тяжести катка и упругой деформации шин, вызывающей сдвиговый эффект, катки на пневмошинах являются более эффективными. Они могут обеспечить уплотнение грунта (в зависимости от массы катка) на глубину от 0,2 до 0,7 м (при меньшем количестве проходов). Кроме того, увеличивается площадь и время контакта с грунтом по сравнению с гладкими вальцами.

Компоновка и кинематическая схема пневмоколесного статического катка представлены на рис. 14.5.

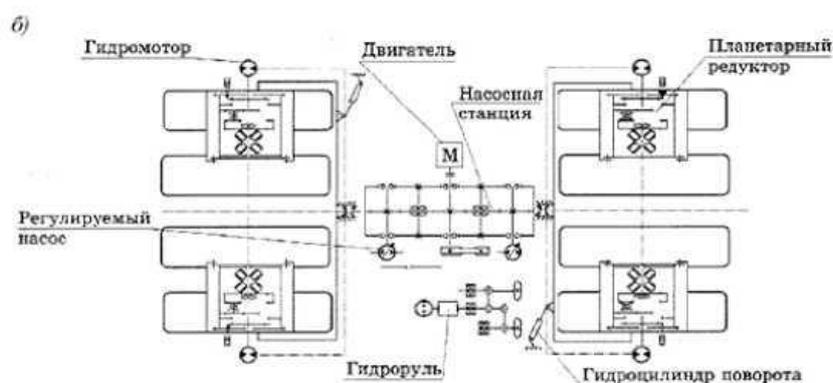
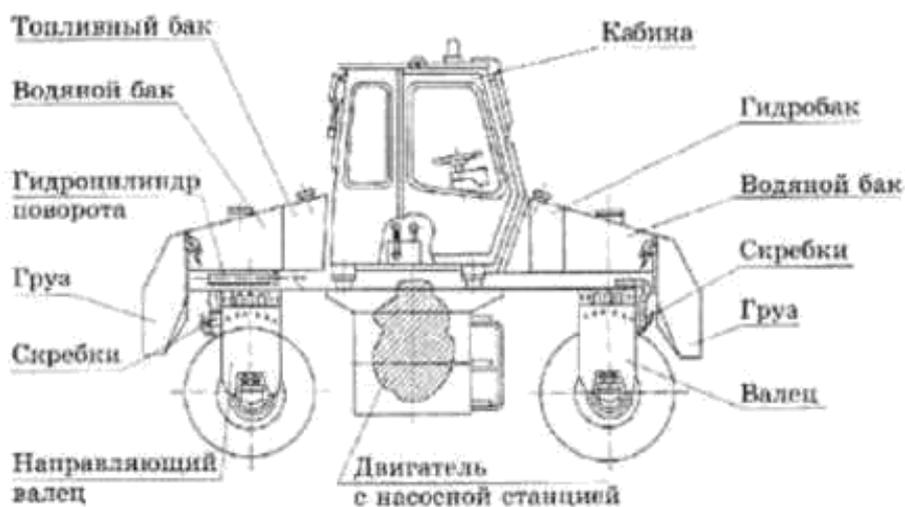


Рисунок 14.5 - Компоновка пневмоколесного статического катка

К основным параметрам пневмокатков относятся типоразмеры шин, число колес, зазоры между шинами и сила тяжести катка.

Типоразмер шин выбирают, базирясь на требованиях к глубине и степени уплотнения материала. Считается, что ширина шины B должна быть больше толщины H_0 уплотняемого слоя материала, а расстояние между соседними колёсами не должно превышать $(0,2...0,4)B$. При этом максимальное давление σ_{max} связано с давлением воздуха P_v в шине следующим неравенством

$$P_v(1 - k_d) \leq \sigma_{max} \quad (14.4)$$

где k_d - коэффициент, зависящий от давления воздуха в шине. $k_d = 0,15...0,16$. Различают прицепные, полуприцепные и самоходные пневмокатки (см. рис. 14.2) с гладкой и фигурной поверхностью.

Прицепные катки выпускают четырех типоразмеров:

- легкие (с балластом) - 15 ± 3 т;
- средние - 25 ± 4 т;
- тяжелые - 50 ± 6 т;
- особо тяжелые - 100 ± 10 т (для аэродромов применяются специальные катки до 200 т).

Прицепные одноосные катки имеют от 4 до 6 колес. Полуприцепные (15-50 т) агрегируют с одно- и двухосными тягачами.

По способу подвески колес их разделяют на катки с жесткой и независимой подвесками. В катках с жесткой подвеской все пневмоколеса смонтированы на одной оси, что затрудняет качественное уплотнение неровной поверхности из-за неравномерной нагрузки на каждое колесо. В катках с независимой (секционной) подвеской каждое колесо связано с отдельной секцией и своим балластным контейнером. В результате обеспечивается свободное копирование неровностей поверхности каждым колесом и его постоянный контакт с грунтом (рис. 14.6).

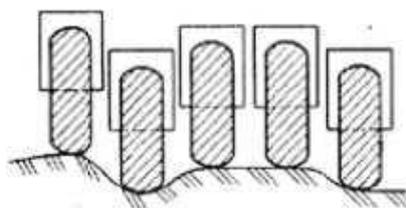


Рисунок 14.6 - Схема независимой подвески колес пневмоколесного катка

Опорные узлы колес также допускают их качание в поперечной плоскости (рис. 14.7), благодаря чему следы колёс перекрывают друг друга.

Самоходные катки подразделяют на легкие (10 - 15 т), средние (20 - 30 т) и тяжелые (40 - 50 т). Общее число колес 7 - 9.

Виброкатками называют катки со встроенным в них вибратором. Они предназначены для послойного уплотнения несвязных, мало связных, гравийно-щебенчатых грунтов на глубину до 0,6 - 1,2 м, а также для уплотнения асфальтобетонных покрытий.

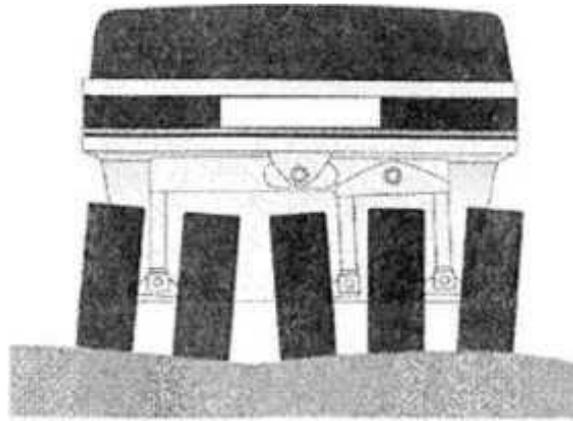


Рисунок 14.7 - Схема независимой подвески управляемых колес пневмоколесного катка

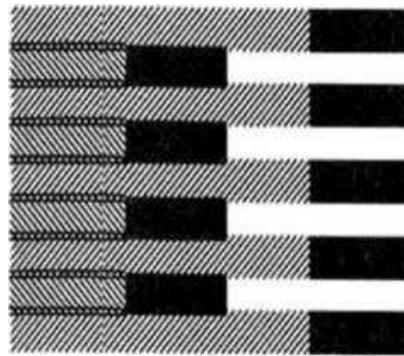


Рисунок 14.8 - Перекрывание следов передних и задних колес пневмокатка

Их выполняют с гладкими, а также с кулачковыми и решетчатыми вальцами. Кулачковые и решетчатые используют для грунтов, гладкие (в самоходных виброкатках) - для асфальтобетонных покрытий.

По массе их разделяют на легкие (до 2 т), средние (2 - 6 т) и тяжелые (более 6 т).

Уплотняющий эффект достигается при значительно меньшей массе, чем для катков статического действия. Эффективность уплотнения виброкатками (по сравнению с катками статического действия) зависит от характеристик грунта: с увеличением содержания в грунте глинистых частиц она снижается. В частности, если при уплотнении песков виброкатки эффективнее в 5 раз (т. е. во столько раз можно снизить массу виброкатка, чтобы достичь той же степени уплотнения, что и катками статического действия), то для супесей - в 2 раза, а для средних и тяжелых суглинков - в 1,1 – 1,3 раза.

Эффективность воздействия вибровальца на уплотняемый материал характеризуется мощностью вибраций N_B , которая зависит от частоты вибраций и амплитуды колебаний

$$N_B = a_{max} f G_B \quad (14.5)$$

где a_{max} - максимальная вертикальная амплитуда колебаний, мм;

f - частота возбуждения, с;

G_B - нагрузка на ось вибровальца, Н.

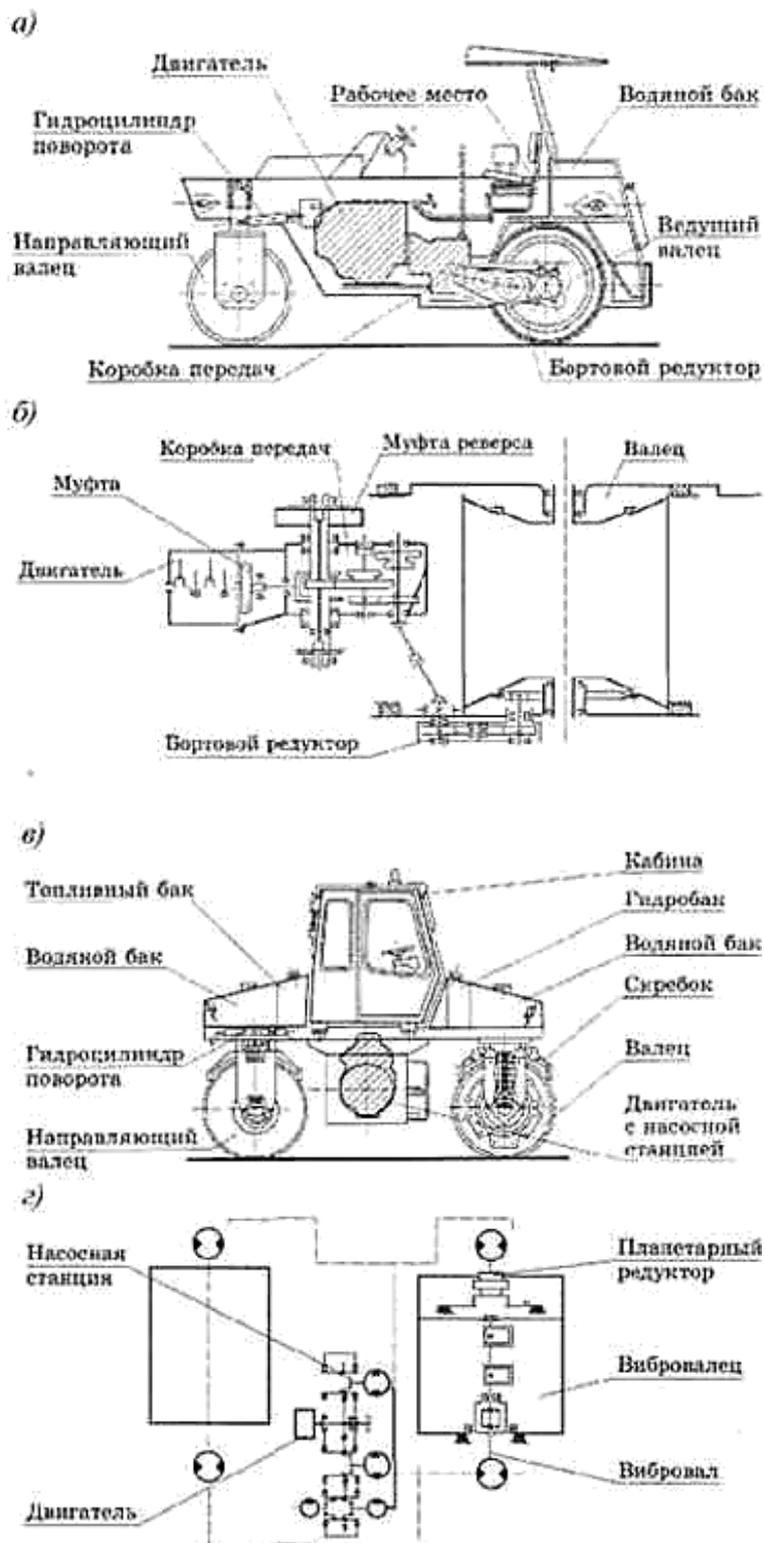
Воздействие на материал может происходить в режиме вибрации (с пригрузом) и при отрыве вальца от поверхности. Переход из режима виброуплотнения к режиму вибротрамбования происходит при $a_{max} = 0.3...0.4$ мм. В ряде случаев при этом переходе возможна частичная потеря управляемости и устойчивости катков, имеющих вибровалец.

Самоходные виброкатки бывают одновальцовыми с ручным управлением, двух вальцовым и двухосными и трёхвальцовыми трехосными.

По типу трансмиссии различают виброкатки с механической, гидромеханической и гидростатической трансмиссией (рисунок 14.9).

Рабочим органом является металлический валец сварной конструкции, внутри которого вмонтирован вибровозбудитель. Обычно это дебалансный вал (или другой элемент, создающий круговые колебания), приводимый от гидромотора. Соединение вибровальца с рамой катка осуществляется с помощью резинометаллических амортизаторов.

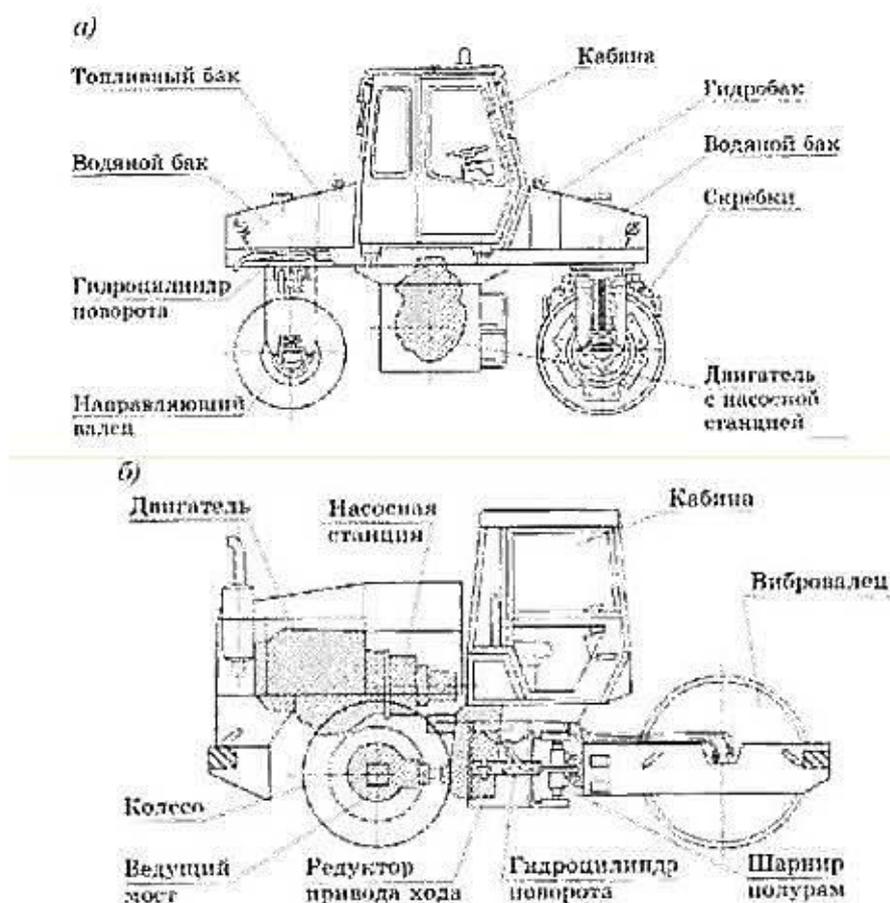
В последние годы получили широкое распространение комбинированные самоходные виброкатки, одна из осей которых имеет гладкий металлический валец, а другая - пневмошины.



а - компоновочная схема катка с механической трансмиссией; б - кинематическая схема катка с механической трансмиссией; в компоновочная схема катка с гидростатической трансмиссией; з - кинематическая схема катка с гидростатической трансмиссией.

Рисунок 14.9 - Вибрационные катки

Кроме того, данные катки могут иметь шарнирно-сочлененную раму (рисунок 14.10).



а - с направляющим вальцом; *б* - с шарнирно-сочлененной рамой.

Рисунок 14.10 - Компоновка комбинированных самоходных виброкатков

Гидросистема катков состоит из трех независимых самостоятельных контуров: привода хода, привода вибровозбудителя и привода рулевого управления. Двигатель внутреннего сгорания через муфту сцепления и редуктор приводит три гидронасоса, питающих рабочей жидкостью гидромоторы указанных приводов (рисунок 14.11).

Привод хода включает реверсивный регулируемый гидронасос и гидромотор, приводящий непосредственно или через редуктор колеса заднего моста (рисунок 14.12).

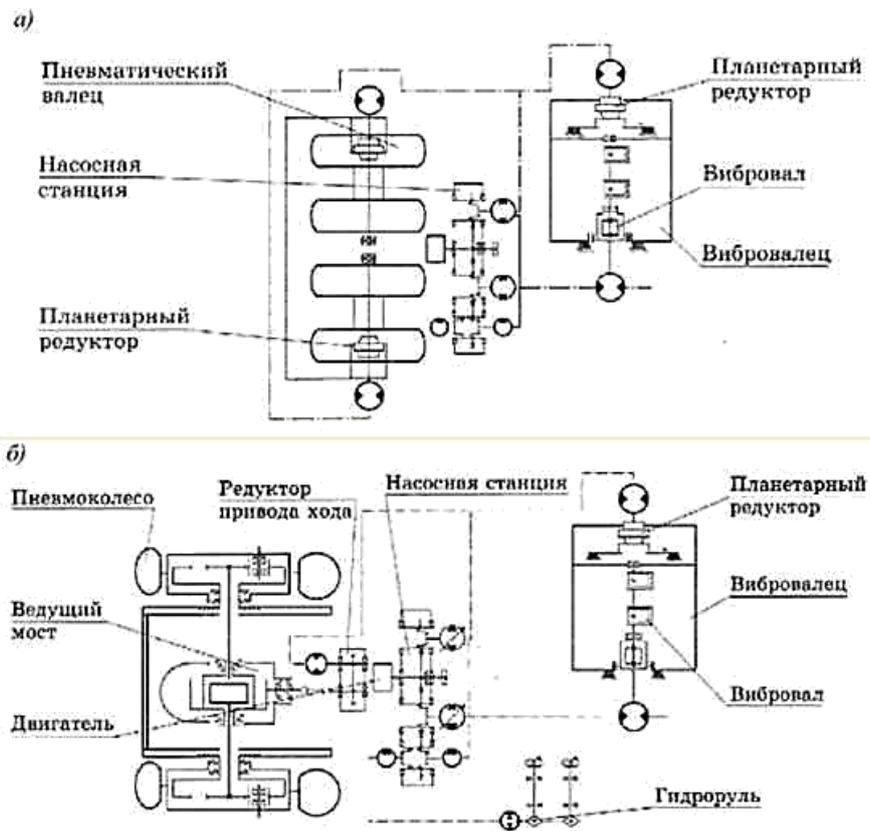


Рисунок 14.11 - Кинематическая схема с элементами гидросистемы комбинированных самоходных виброкатков: а - с направляющим вальцом; б - с шарнирно-сочлененной рамой

Привод вибровозбудителя состоит из гидронасоса и гидромотора, вращающего дебалансный вал (эксцентрик). Вибровозбудитель имеет две фиксированные частоты и две величины возмущающей силы, что достигается с помощью раздвижных дисбалансов и реверсирования гидромотора или посредством переключения с одного эксцентрикового дебаланса на другой (рис. 14.13).

Гидрораспределитель обеспечивает в нейтральном положении золотника отключение привода вибровозбудителя, а в крайних положениях - вращение гидромотора вправо или влево для получения двух частот.

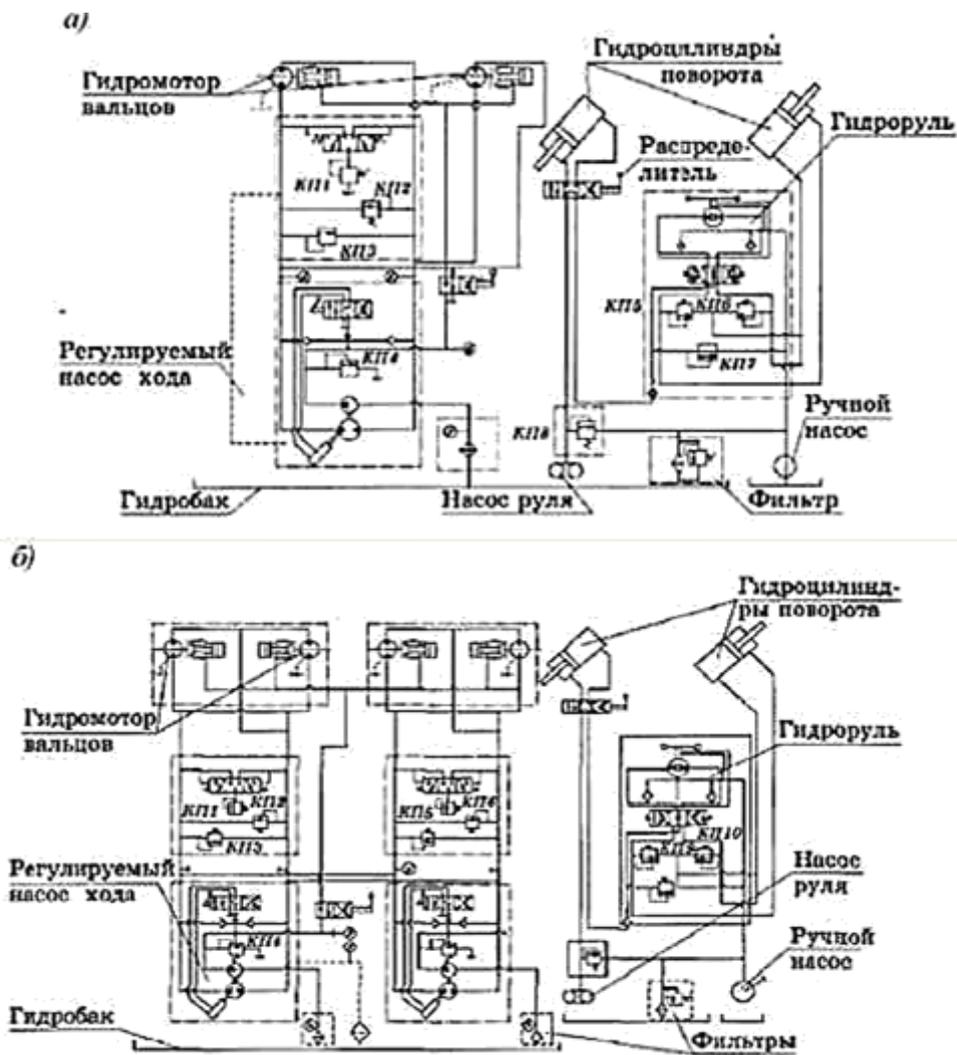


Рисунок 14.12 - Схемы гидросистем катков: а) - статического с металлическими вальцами; б) – пневмоколёсного

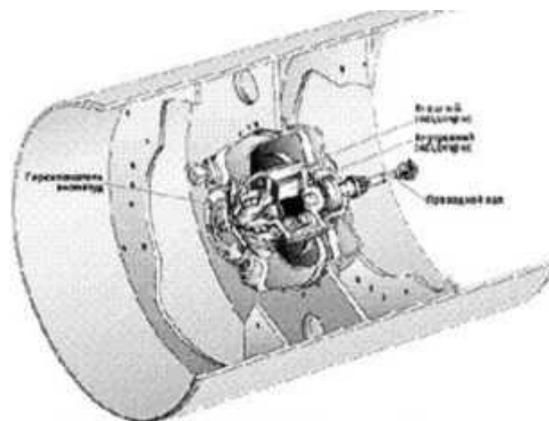


Рисунок 14.13- Вибрационный валец

Привод рулевого управления (см. рис. 14.12) состоит из насоса постоянной подачи, гидроруля (т.е. гидрораспределителя), предохранительного клапана и двух силовых (исполнительных) гидроцилиндров.

Конструкции вальцов самоходных дорожных катков могут различаться в зависимости от типа катка и типа его трансмиссии.

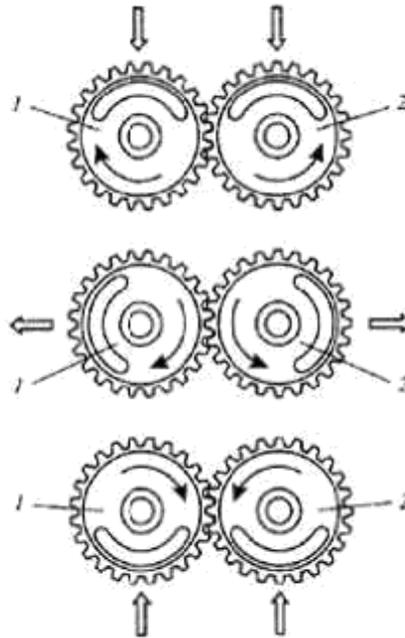
Особенностью виброкатков с гидростатической трансмиссией является размещение в корпусе вальца дебалансного вибровала и механизма передвижения.

Если сопоставить катки по такому показателю, как водопроницаемость уплотненного асфальтобетонного покрытия (т. е. количеству воды в 1 см^3 , проникающей за один час через площадку площадью 100 см^2), то данные испытаний таковы: пневмошинный каток – $10,5 \text{ см}^3/\text{г}$; виброкаток с гладкими вальцами - $66 \text{ см}^3/\text{г}$; каток статического действия - $644 \text{ см}^3/\text{г}$. Отметим, что по европейским меркам последняя цифра считается неудовлетворительной, особенно для районов с большими суточными перепадами температур.

Для обеспечения высокого качества уплотнения, ровности и, как следствие, долговечности покрытия, конструкции катков и технологии производства ими работ должны рассматриваться во взаимосвязи. Так, каждая конкретная модель катка обеспечивает высокое качество уплотнения слоя асфальтобетона только определенного состава, толщины и температуры. На слоях иной толщины каток теряет эффективность, и необходима его замена на другую модель с соответствующими характеристиками. Кроме того, по мере остывания и уплотнения слоя требуется плавное изменение уплотняющего воздействия катка. В какой-то мере проблему можно решить, соблюдая технологию укладки и подбирая оптимальный состав отряда уплотняющей техники, но применение катков с плавным или ступенчатым изменением амплитуды от нуля до максимума позволяет получить более высокие результаты.

В современных катках вибрационные механизмы в переднем и заднем вальцах работают с одинаковой амплитудой, но во встречном направлении. При первых, осаживающих проходах при применении большой амплитуды колебаний важно не допустить образования валика материала или волны перед передним по ходу вальцом.

Поэтому вибрационный механизм первого по ходу вальца вращается в том же направлении, что и сам валец, как при движении катка вперед, так и назад, подминая под себя материал. На выглаживающих проходах с малой амплитудой колебаний необходимо, чтобы задний по ходу валец подминал материал под себя и создавал напряжение сжатия в поверхностном слое, препятствующее образованию микротрещин за катком.



1, 2 зубчатые колеса с дебалансами.

Рисунок 14.14 - Схема действия вибровозбудителя направленных колебаний

Этого можно добиться, переключив направление вращения вибрационных механизмов на противоположное.

Одной из последних разработок в области вибрационных катков является создание вибровальцов с направленными колебаниями (рис. 14.15), что позволяет значительно интенсифицировать процесс и повысить качество уплотнения.

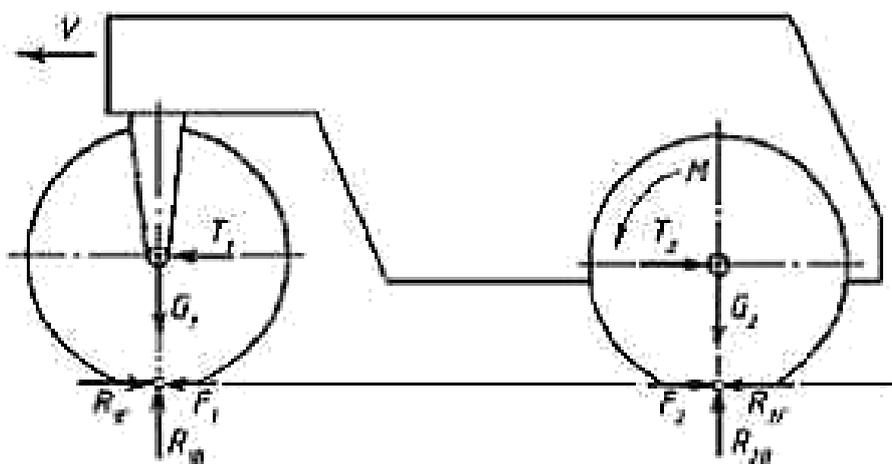


Рисунок 14.15 - Силы, действующие на ведомый и ведущий валцы катка

При установившемся движении на уплотняемый материал действуют силы, указанные на рисунке 14.15. Отметим, что воздействие ведомого и ведущего валцов на материал различно.

На ведомый валец действуют сила тяжести G_1 и толкающая сила T_1 . В зоне контакта на поверхности материала эти силы вызывают реакцию грунта, которую можно разложить на вертикальную R_B^1 и горизонтальную R_r^1 составляющие. (Очевидно, что $R_B^1 = G_1$ и $R_r^1 = T_1$). Сила реакции R_r^1 действует на валец со стороны уплотняемого материала. Следовательно, со стороны вальца на материал действует сила F_1 , которая будет двигать материал. В рыхлом материале (когда сопротивление его сдвигу мало) перед ведомым валцом образуется валик. После того как сопротивление его сдвигу будет равно сдвигающей силе F_1 , валец перекаатится через валик, а процесс сдвига материала начнется вновь. Как результат этого воздействия - волнистая поверхность.

На ведущий валец действуют сила тяжести G_2 , крутящий момент M и реакция со стороны рамы катка T_2 . В зоне контакта эти силы также вызывают реакцию грунта (составляющие R_B^2 и R_r^2). Валец приводится в движение крутящим моментом M , а уплотнение материала осуществляется силой G_2 .

Отличие воздействия ведущего вальца от ведомого в том, что горизонтальная составляющая F_2 силы его воздействия на материал направлена в сторону, обратную движению вальца, и сдвигает материал в сторону уплотненного

слоя. Поэтому волнообразование перед ведущим вальцом практически отсутствует.

В современных машинах стремятся исключить ведомые вальцы, хотя это и осложняет конструкцию. Как вариант уменьшения волнистости, - нагрузка на ведомые вальцы должна быть меньше, чем на ведущий.

Тяговый расчет катков. Сила тяги T должна быть не меньше суммы W всех сопротивлений, возникающих при движении катка: $T > W$ (т. е. её определяют по значению W):

$$W = W_{\Pi} + W_I + W_{\text{доп}} \quad (14.6)$$

где W_{Π} - сопротивление перекатывания катка, Н;

W_I - сопротивление от сил инерции при трогании с места, Н;

$W_{\text{доп}}$ - дополнительное сопротивление на криволинейных участках, Н.

$$W_{\Pi} = G(f + i) \quad (14.7)$$

где G - сила тяжести катка, Н;

f - коэффициент сопротивления перекатыванию, $f = 0,05 \dots 0,20$;

i - уклон, $i = 0,05 \dots 0,08$.

$$W_I = m\chi \frac{v}{t_p} \quad (14.8)$$

где m - масса катка, кг;

χ - коэффициент учета инерции вращающихся масс трансмиссии двигателя и вальцов, $\chi = 1,10 \dots 1,15$;

v - скорость движения катка, м/с;

t_p - время разгона до v , с.

$$W_{\text{доп}} = k_i G_1 \quad (14.9)$$

где k_i - коэффициент сопротивления при движении;

$$k_i = \begin{cases} 0,3 & \text{— по рыхлому щебню,} \\ 0,2 & \text{— по плотному основанию;} \end{cases}$$

G_1 - сила тяжести катка, приходящаяся на направляющие вальцы, Н.

Зная силу тяжести на ведущих вальцах катка, необходимо проверить условие сцепления вальцов с обрабатываемой поверхностью

$$\varphi_{\text{сц}} G_{\text{сц}} \geq T \geq W \quad (14.10)$$

где $\varphi_{\text{сц}}$ - коэффициент сцепления;

$G_{\text{сц}}$ - сцепная сила тяжести, т.е. сила тяжести катка, приходящаяся на ведущие вальцы, Н.

Мощность двигателя должна обеспечивать нормальную работу в наиболее тяжелых условиях (при укатке рыхлого щебня на предельном подъеме или при проходе катка на транспортной скорости по дороге с предельным подъемом)

$$N = \frac{Tv}{\eta} \quad (14.11)$$

где T - сила тяги на ободу ведущих катков, Н;

v - скорость движения, м/с.

η - КПД трансмиссии от двигателя к ведущим вальцам.

Производительность катков

$$\Pi = \frac{(B-a)v_{\text{ср}}}{n} \quad (14.12)$$

где B - ширина полосы, равная ширине вальца, м; a - размер перекрытия;
 $a = 0,20 \dots 0,25$ м;

$v_{\text{ср}}$ - средняя скорость движения катка.

$v_{\text{ср}} = 3,0$ км/ч - для гладких, $4 \dots 5$ км/ч для кулачковых и $3 \dots 10$ км/ч - для пневмошин.

n - число проходов.

Средняя скорость катка

$$V_{\text{ср}} = \frac{L}{t_{\text{дв}} + t_{\text{рев}}} \quad (14.13)$$

где L - длина укатываемой полосы, м;

$t_{\text{дв}}$ - среднее время движения за один проход, с;

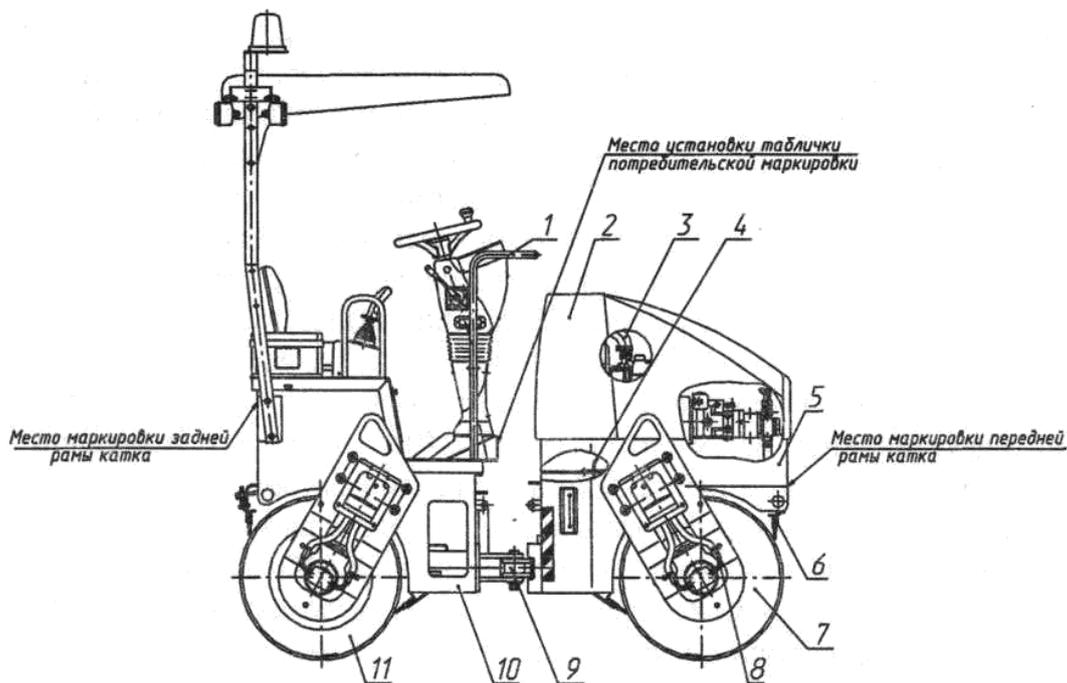
$t_{\text{рев}}$ - время реверсирования. $t_{\text{рев}} = 1 \dots 2$ с.

14.2 Устройство катков на примере конкретных производителей

Тротуарный вибрационный каток RV-1,5DD-01 производства ОАО «Раскат» предназначен для уплотнения асфальтобетонных покрытий при небольших объемах работ, где применение обычных катков невозможно из-за их размеров и ограниченной маневренности. Каток рекомендован для устройства пешеходных и велосипедных дорожек, тротуаров, обочин, подъездов к гаражам, садовым участкам и дворам, а также для строительства детских площадок и ремонта дорожных покрытий. Общий вид катка представлен на рис. 14.15, техническая характеристика приведена в приложении. Каток пригоден для работы на открытом воздухе в условиях умеренного или тропического климата при температуре воздуха от минус 10 до +40° С.

Уплотнение укатываемого покрытия достигается в результате последовательных проходов катка по одному следу. Режимы работы выбираются из при-

нятых технологических процессов дорожно-строительных работ эксплуатирующей организацией.



1 - рабочее место оператора; 2 - облицовка; 3 - силовая установка; 4 - топливная система; 5 - рама передняя; 6 - скребки и смачивающая система; 7 - вибрационный валец; 8 - гидропривод хода катка; 9 - шарнир сочленения; 10 - рама задняя; 11 - статический валец.

Рисунок 14.15 - Тротуарный виброкаток RV-1,5-DD-01

Тротуарный комбинированный каток RV-3,0-DS-01 производства ОАО «Раскат», предназначен для уплотнения покрытий из различных дорожно-строительных материалов и битумно-минеральных (асфальтобетонных) смесей, а также для строительства и ремонта городских улиц и тротуаров, спортивных, парковых, пешеходных и велосипедных дорожек и площадок, обустройства территорий объектов промышленного и гражданского строительства и ямочного ремонта дорожного покрытия. Каток рекомендован для уплотнения мягких песчаных, жестких, прочных щебенистых, мелкозернистых малощебенистых и других асфальтобетонных смесей. Каток оснащен одним гладким вибрационным и одним пневмоколесным вальцом. Общий вид катка представлен на рис. 14.16.

Каток предназначен для работы на открытом воздухе в условиях умерен-

ного (исполнение У1) или тропического климата (исполнение Т1), при этом нижнее значение температуры окружающего воздуха не должно быть ниже минус 10°С.

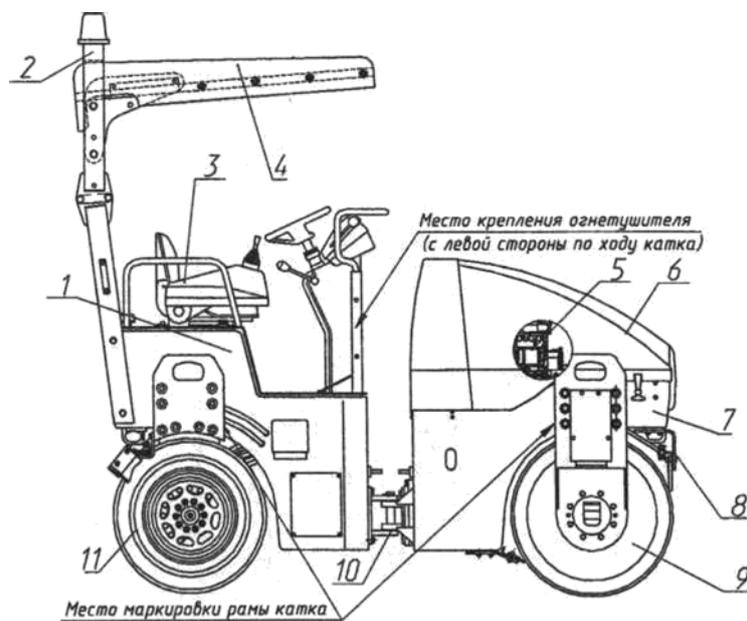
Каток RV-3,0-DS-01 (см. рис. 14.16) представляет собой самоходную машину, включающую в себя переднюю 7 и заднюю 1 рамы, силовую установку 5, рабочее место оператора 3. Рабочими уплотняющими органами катка RV-3,0-DS-01 являются вибрационный валец 9 и пневмовалец 11. Одновременно вальцы являются ходовой частью катка.

Рама катка – сварные конструкции, соединенные шарниром сочленения 8, вертикальная ось которого расположена посередине от осей вальцов, что позволяет на криволинейных участках осуществлять проход вальцов по одному следу. В передней раме 7, имеются емкости для рабочей жидкости и топлива. Силовая установка 5 смонтирована на передней раме и включает в себя двигатель и насосную станцию с гидрооборудованием. Одноместное рабочее место оператора 3 через амортизаторы закреплено на задней раме. Все рычаги управления катком и приборы индикации технического состояния катка выведены на рабочее место оператора.

Для очистки вальцов каток оснащен скребками, а для исключения налипания асфальтобетонной массы оборудован смачивающим устройством с подачей жидкости под давлением посредством диафрагменного насоса.

Катки вибрационные тандемный ДУ-96 и комбинированный ДУ-97 производства ОАО «Раскат», предназначены для уплотнения покрытий из различных асфальтобетонных и битумоминеральных смесей при больших объемах работ, на автомобильных дорогах IV-V категорий, внутрихозяйственных дорогах 1с-Пс категорий, при строительстве и ремонте городских улиц и тротуаров, спортивных, парковых дорожек и площадок, плотин, портовых сооружений, аэродромов и обустройстве территорий объектов промышленности и гражданского строительства.

Катки созданы на единой платформе и отличаются только рабочими органами - вальцами. Каток ДУ-96 оснащен двумя гладкими вибрационными вальцами.

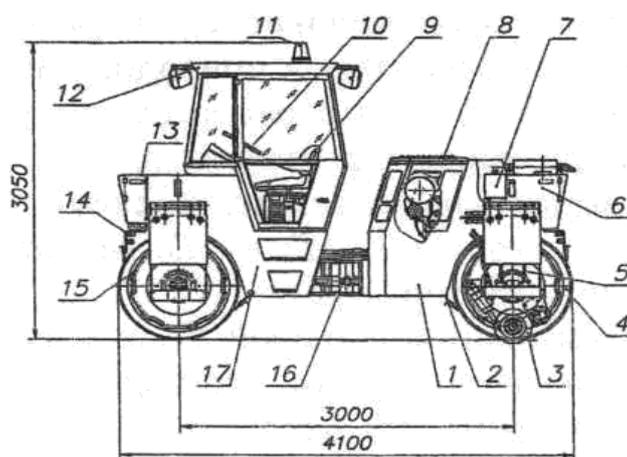


1 - рама задняя; 2 - стойка под проблесковый маячок; 3 - рабочее место оператора; 4 - солнцезащитный тент; 5 - силовая установка; 6 - капот; 7 - рама передняя; 8 - скребки и смачивающая система 9 - валец вибрационный; 10 - шарнир сочленения, 11 – пневмовалец.

Рисунок 14.16 - Комбинированный каток RV-3,0

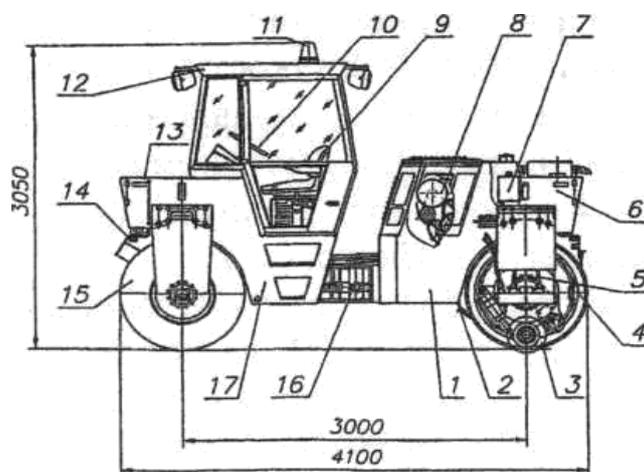
Каток ДУ- 97 - одним гладким вибрационным и одним пневмоколесным вальцом. Общий вид катка ДУ-96 представлен на рис. 14.17, катка ДУ-97 - на рис. 14.19, технические характеристики приведены в приложении. Катки предназначены для работы на открытом воздухе в условиях умеренного или тропического климата при температуре воздуха от минус 10 до +40° С.

Каток (рис. 14.17 и 14.18) представляет собой самоходную машину, в состав которой входят: силовая установка, передняя и задняя рамы, кабина, механизм обработки кромки асфальтобетона. Рабочим органом катка (в зависимости от модели) являются гладкий металлический валец со встроенным вибровозбудителем и пневмоколесный валец.



1 - рама задняя; 2, 14 - скребки; 3 - механизм обработки кромки асфальта; 4, 15 - валец вибрационный; 5 - гидросистема; 6, 13 - бак смачивающей жидкости; 7 - бак гидросистемы; 8 - силовая установка; 9 - рабочее место; 10 - рулевое управление; И - электрооборудование; 12 - кабина; 16 - шарнир сочленения; 17 - рама передняя.

Рисунок 14.17 - Двухвальный каток ДУ-96



1 - рама задняя; 2, 14 - скребки; 3 - механизм обработки кромки асфальто-бетона; 4 - валец вибрационный; 5 - гидросистема; 6, 13 - баки смачивающей жидкости; 7 - бак гидросистемы; 8 - силовая установка; 9 - рабочее место; 10 - рулевое управление; И - электрооборудование; 12 - кабина; 15 - валец пневмоколесный; 16 - шарнир сочленения; 17 - рама передняя.

Рисунок 14.18 - Комбинированный каток ДУ-97

Рамы катка соединены шарниром сочленения. Вертикальная ось шарнира сочленения равномерно расположена от осей вальцов, что позволяет на криволинейных участках осуществлять проход вальцов «след в след». На задней раме смонтирована силовая установка, имеются баки под рабочую жидкость и топливо.

Силовую установку образуют двигатель, муфта, насос фирмы «Bondioli & Pavesi», который служит для передачи и распределения крутящего момента от двигателя к рабочим механизмам, и насос рулевого управления.

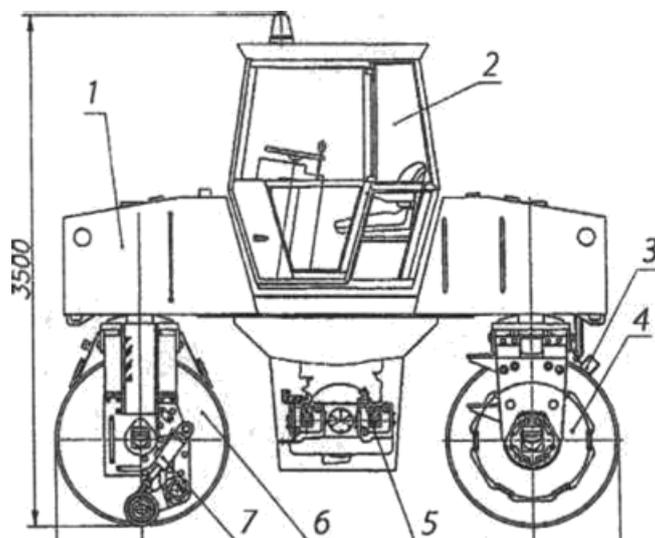
Каток оборудован кабиной со стеклоочистителями, крючком для одежды, предусмотрено место для установки термоса, огнетушителя и аптечки.

Для очистки полотна вальцов и пневмоколес каток оснащен скребками, а для исключения налипания асфальтобетонной массы - смачивающим устройством. Каток может комплектоваться смачивающей системой с подачей жидкости самотеком или под давлением, а также отопителем в кабине. Комплектацию катка определяет заказчик при заключении договора на поставку.

Каток имеет гидростатическую трансмиссию, позволяющую плавно и бесступенчато изменять скорость и направление движения. Поворот катка осуществляется гидростатическим рулевым механизмом. Привод вибратора позволяет изменять направление вращения вибровала и таким образом получать вынуждающую силу 44 или 57 кН. Оба вальца катка ДУ-96 и валец и пневмокотки катка ДУ-97 полноприводные.

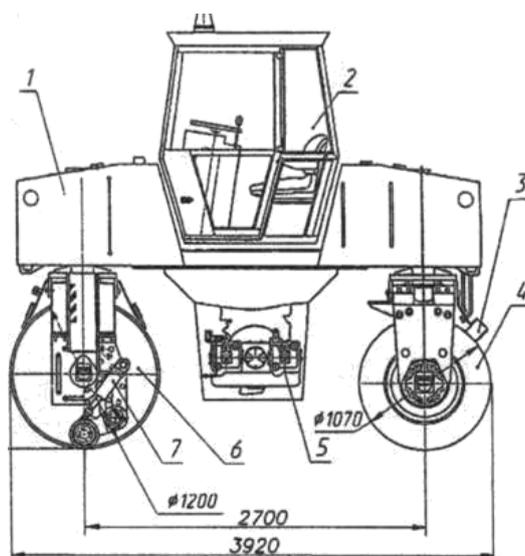
Катки вибрационные тандемный ДУ-98, комбинированный ДУ- 99 и статический пневмоколесный ДУ-100 производства ОАО «Раскат» предназначены для уплотнения покрытий из различных асфальтобетонных и битумоминеральных смесей при больших объемах работ на автомобильных дорогах общего пользования. Катки созданы на единой платформе и отличаются только рабочими органами - вальцами. Каток ДУ-98 оснащен двумя гладкими вибрационными вальцами. Каток ДУ-97 - одним гладким вибрационным и одним пневмоколесным вальцом. На катке ДУ-100 установлены два пневмоколесных вальца, кроме того, для обеспечения необходимых параметров уплотнения на нем впереди и сзади предусмотрены емкости для балласта. Общий вид катка

ДУ-98 представлен на рис. 14.19, катка ДУ-99 - на рис. 14.20, катка ДУ-100 - на рис. 14.21, технические характеристики даны в приложении. Катки предназначены для работы на открытом воздухе в условиях умеренного или тропического климата при температуре воздуха от минус 10 до +40° С.



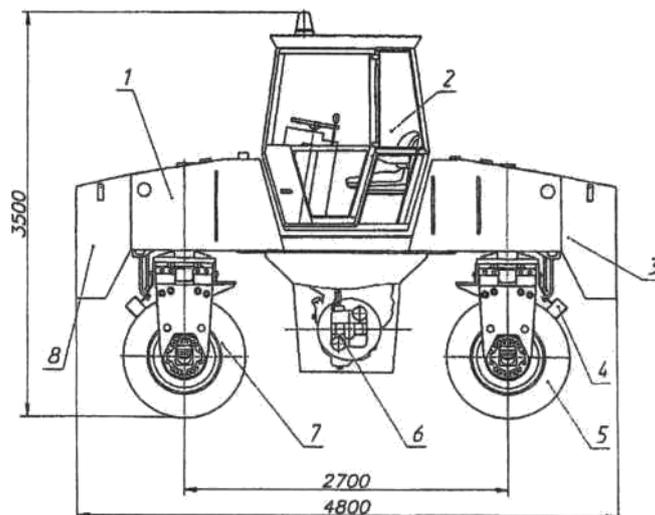
1 - рама; 2 - кабина; 3 - скребки; 4, 6 - вибровалец; 5 - силовая установка; 7 - механизм обработки кромки асфальтобетона

Рисунок 14.19 - Каток ДУ-98



1 - рама; 2 - кабина; 3 - скребки; 4 - пневмовалец; 5 - силовая установка; 6 - вибровалец; 7 - механизм обработки кромки асфальтобетона.

Рисунок 14.20 - Каток ДУ-99



1 - рама; 2 - кабина; 3, 8 - емкости для балласта; 4 - скребки; 5,7- пневмовалец; 6 - силовая установка.

Рисунок 14.21 - Каток ДУ-100

Катки (рис. 14.19, 14.20 и 14.21) представляют собой самоходную машину, в состав которой входят: силовая установка, рама, кабина, скребки, механизм обработки кромки асфальтобетона, система управления, рулевое управление, электрооборудование, топливная система, гидрооборудование. Рабочим органом катка (в зависимости от модели катка) являются гладкий металлический валец со встроенным вибровозбудителем и (или) пневмоколесный валец.

Одновременно вальцы являются ходовой частью катка. Все вальцы приводные и поворотные. Конструкция катка предусматривает механическую фиксацию заднего вальца в 2-х положениях специальным упором, жестко связывающим вилку вальца с рамой катка. В одном из положений упора (для катков ДУ-98, ДУ-99) каток движется «след в след» и ширина уплотняемой полосы равна 1,7 м. При смещении упора смещается задний валец и ширина уплотняемой полосы достигает 2 м.

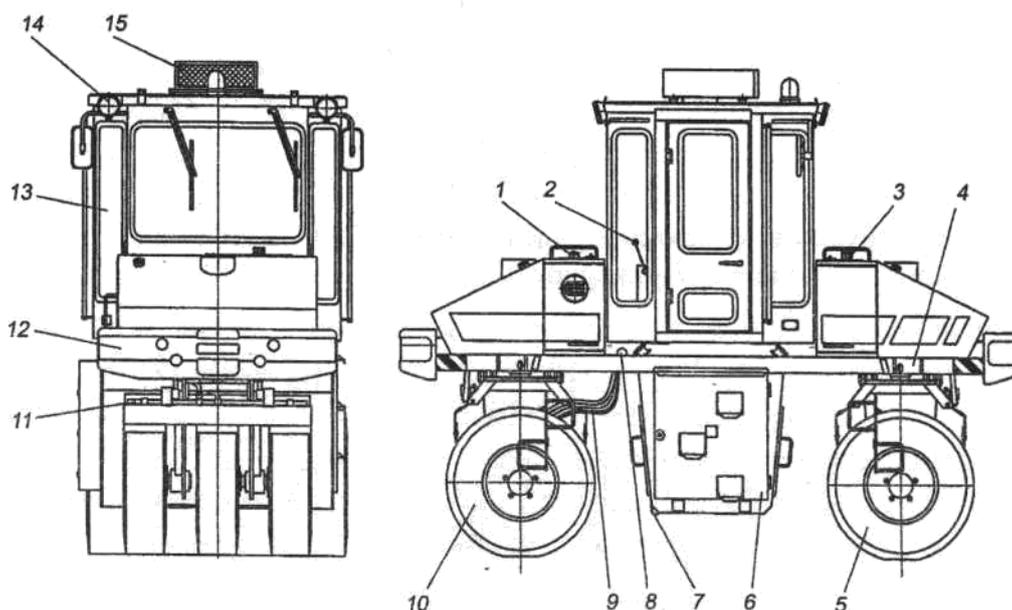
Для катка ДУ-100 смещение заднего вальца служит для обеспечения равномерного перекрытия следа передних и задних пневмовальцов на прямолинейном участке. При этом ширина уплотняемой полосы составит 2 м.

Рама катка включает в себя две шкворневые опоры, необходимые для установки и поворота вальцов, две емкости под смачивающую жидкость, а также баки под рабочую жидкость гидросистемы и для топлива.

Каток оборудован кабиной со стеклоочистителями, кронштейнами для установки термоса, огнетушителя, аптечки, крючком для одежды. Кабина в соответствии с требованиями заказчика может быть оборудована отопителем. Сидение оператора имеет регулировку по высоте и в продольном направлении.

Для очистки полотна вальцов и пневмоколес каток оснащен скребками, а для исключения налипания асфальтобетонной массы - смачивающим устройством. Конструкция катка предусматривает два варианта смачивающей системы: с подачей жидкости самотеком и с подачей жидкости под давлением. Смачивающая система аналогична устанавливаемой на катках ДУ-96.

Каток статический пневмоколесный Амкодор-6641 производства ОАО «Амкодор».



1 - бак топливный; 2 - управление; 3 - гидробак; 4 - рама; 5 - мост передний; 6 - облицовка; 7 - агрегат силовой; 8 - пневмосистема; 9 - гидросистема; 10 - мост ведущий; 11 - система смачивания; 12 - балласт; 13 - кабина; 14 - электросистема; 15 - кондиционер.

Рисунок 14.22 - Каток Амкодор-6641.

Предназначен для уплотнения асфальтобетонных покрытий и оснований различных типов (щебеночных, гравийных, шлаковых) при строительстве и ремонте автомобильных дорог, тротуаров, производственных и спортивных площадок. Общий вид катка Амкодор-6641 представлен на рис. 14.22, технические параметры приведены в приложении. Каток пригоден для использования в диапазонах температур окружающего воздуха от +5 до +40°С.

Каток (рис. 14.22) состоит из рамы 4, на которой установлены: силовой агрегат 7, передний 5 и задний 10 мосты, облицовка 6, топливный бак 1, бак гидросистемы 3 и кабина 13. Привод хода и рулевого управления осуществляется гидравлической системой катка 9. Каток также оборудован электрической системой 14 и системой смачивания 11, управлением 2.

Техническое обслуживание. Все виды технического обслуживания выполняет организация, эксплуатирующая каток. Техническое обслуживание и текущий ремонт производятся в местах, обеспечивающих температуру окружающей среды не ниже 15°С; влажность воздуха не более 70% при температуре окружающей среды не ниже 35 °С без резких колебаний в течение суток; полную защиту от атмосферных осадков, пыли, ветра и солнечной радиации. Техническое обслуживание катка рекомендуется проводить с использованием передвижной мастерской для технического обслуживания строительных машин.

Для поддержания постоянной готовности катка к работе необходимо выполнять виды технического обслуживания со следующей периодичностью:

- ежесменное техническое обслуживание (ЕТО) 8-10 ч;
- ТО-1 - 125 ч;
- ТО-2 - 500 ч;
- сезонное техническое обслуживание - при переходе к осенне-зимнему и весенне-летнему периодам эксплуатации;
- ТО-3 - 1000 ч;
- работы по обслуживанию двигателя - 2000 ч.

Замену фильтра гидросистемы производят со следующей периодичностью: 1-я замена через 10 часов работы (после проведения приемосдаточных

испытаний); 2-я - после обкатки (30 м-ч); 3-я - при ТО-1 (125 м-ч); далее через каждые 500 м-ч работы.

Не реже одного раза в квартал проверяется степень заряженности аккумуляторных батарей по плотности электролита согласно их инструкции по эксплуатации. В случае комплектования катка кондиционером техническое обслуживание последнего производится с периодичностью и в объемах, указанных в паспорте на кондиционер.

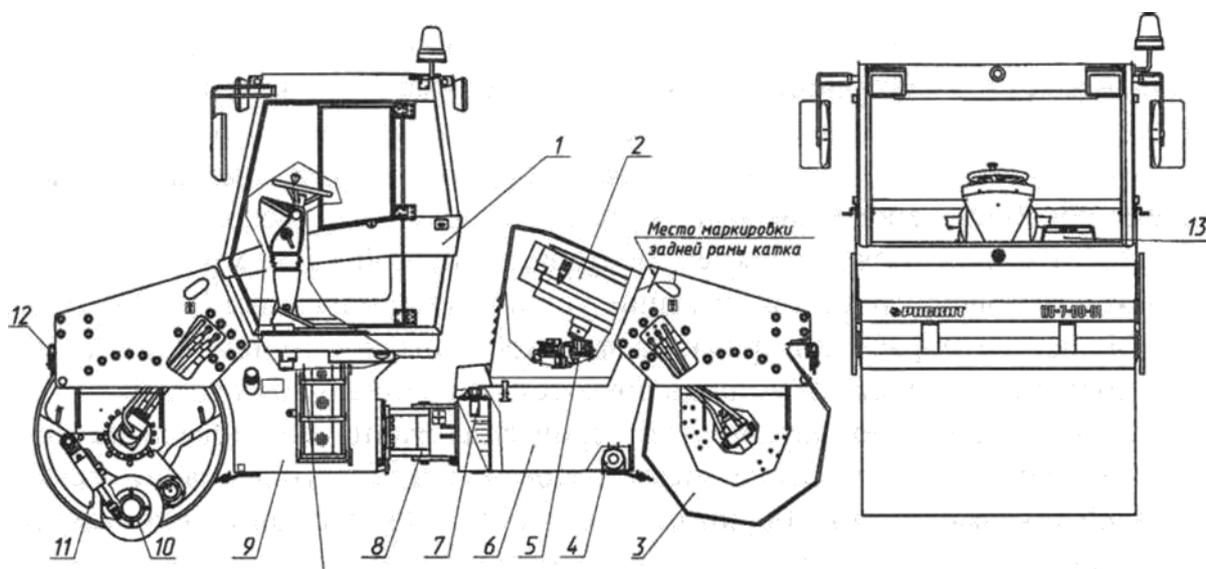
Катки вибрационные tandemные RV-7-DD-01...RV-11-DD-01 и комбинированные RV-7-DS-01...RV-11-DS-01 производства ОАО «Раскат» предназначены для уплотнения покрытий из любых асфальтобетонных и битумоминеральных смесей. Катки созданы на единой платформе и отличаются только рабочими органами - вальцами. Катки рекомендованы для строительства и ремонта дорог, городских улиц, обустройства территорий объектов промышленного назначения и гражданского строительства.

Катки с маркировкой «DD» оснащены двумя гладкими вибрационными вальцами, катки серии «DS» - одним гладким вибрационным и одним пневмоколесным вальцом. Общий вид катка RV-7-DD представлен на Рисунок 8.63, катка RV-7-DS - на Рисунок 8.64, технические параметры приведены в прил. 5, табл. П.5.2, П.5.4. Катки пригодны для работы на открытом воздухе в условиях умеренного (исполнение У1) или тропического климата (исполнение Т1), при этом температура окружающего воздуха не должна быть ниже минус 10° С.

Катки представляют собой самоходную машину, в состав которой входят: силовая установка, передняя и задняя рамы, кабина. Рабочими органами катка (в зависимости от модели катка) являются гладкий металлический валец со встроенным вибровозбудителем и пневмоколесный валец. Одновременно вальцы являются ходовой частью катка.

Рамы катка - сварные конструкции, на которых базируются основные элементы катка (рис. 14.23): кабина, вальцы, силовая установка. В передней раме 9, имеется емкость для жидкости смачивающей системы, в задней раме 6 - для топлива и рабочей жидкости гидросистемы. Между собой передняя и зад-

няя рамы соединены шарниром сочленения 8, вертикальная ось которого равнонаправлена от осей валцов, что позволяет на криволинейных участках осуществлять проход валцов по одному следу.



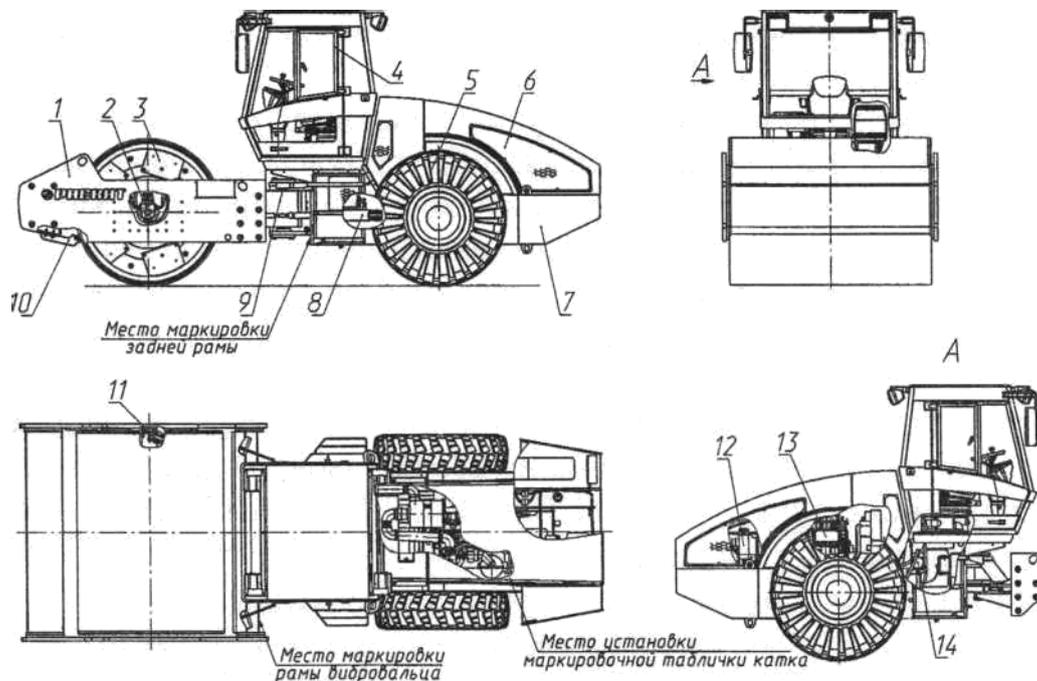
1 - кабина катка; 2 - система охлаждения двигателя; 3,11- валец вибрационный; 4 - глушитель; 5 - силовая установка; 6 - рама задняя; 7 - топливная система; 8 - шарнир сочленения; 9 - рама передняя; 10 - механизм обработки кромки асфальтобетона; 12 - скребки и смачивающая система; 13 – кондиционер.

Рисунок 14.23 - Каток RV-7-DD-01

Силовая установка 5 смонтирована на четырех амортизаторах на задней раме катка. Силовую установку, выполненную в одном жестком блоке, образуют двигатель, муфта, насос рулевого управления и насос привода хода и привода вибратора tandemного типа.

Катки вибрационные грунтовые RV-13-DT-01...RV-21-DT-01 производства ОАО «Раскат» предназначены для уплотнения предварительно спланированных грунтов из различных насыпных материалов (RV-17-DT-01, RV-18-DT-01, RV-19-DT-01 включая уплотнение дробленых скальных пород, RV-20-DT-01, RV-21-DT-01 - в том числе для крупнообломочных скальных пород, переувлажненных глинистых грунтов). Катки рекомендованы для автодорожного строительства, строительства городских улиц, плотин, портовых сооружений, аэродромов, промзон и т.п. Общий вид катка RV-17-DT-01 показан на рис.

14.24, технические параметры приведены в приложении. Катки пригодны для работы на открытом воздухе в условиях умеренного (исполнение У1) или тропического климата (исполнение Т1), в диапазоне рабочих температур от минус 40 до +45° С (по специальному заказу).



1 - рама вибровальца; 2 - привод хода; 3 - валец вибрационный; 4 - кабина; 5 - задний мост; 6 - капот; 7 - рама задняя; 8 - рулевое управление; 9 - шарнир сочленения; 10 - скребки; 11 - привод вибратора; 12 - топливная система; 13 - силовая установка; 14 - система отопления кабины и подогрева двигателя.

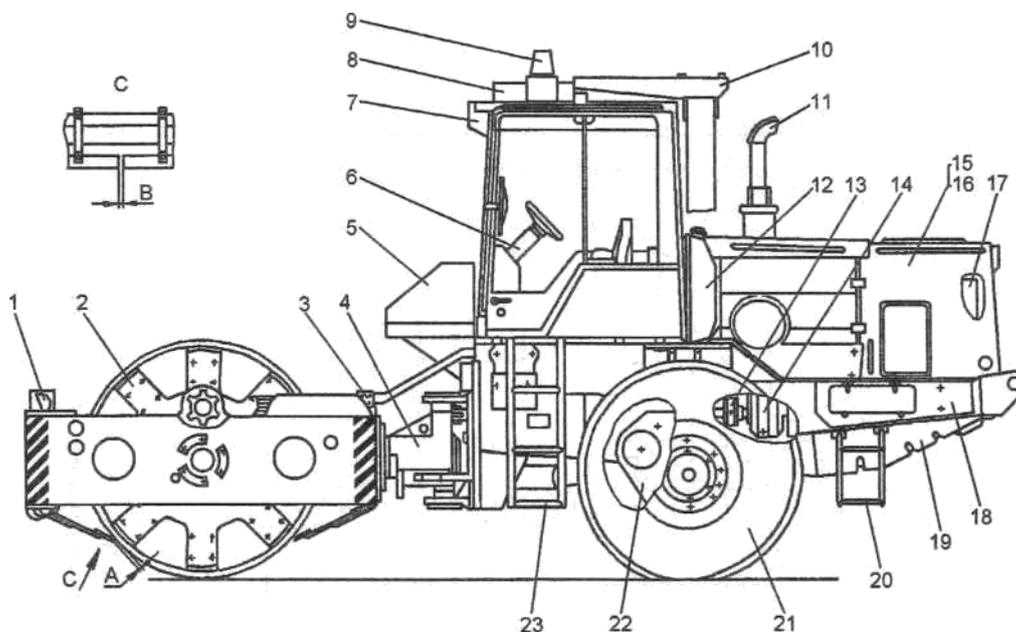
Рисунок 14.24 - Каток RV-17-DT-01.

Катки RV-13-DT-01, RV-14-DT-01, RV-15-DT-01, RV-16-DT-01, RV-17-DT-01, RV-18-DT-01, RV-19-DT-01, RV-20-DT-01, RV-21-DT-01 представляют собой самоходную машину. Конструкция всех катков данного ряда аналогична. Увеличение массы катков достигается за счет балластирования рамы вибровальца и изменения толщины листа вибровальца.

Конструкция катков в базовом исполнении состоит из вибрационного вальца; пневмоколес с протектором; силового агрегата; гидростатической трансмиссии; кабины с вентиляцией воздуха, с двумя стеклоочистителями и

омывателями стекла; рабочего места оператора с гидростатической системой управления поворота вальца; системы силовых коммуникаций и коммуникаций управления; топливного бака; бака рабочей жидкости; рамы, состоящей из сочлененных частей (рамы вибровальца и задней рамы); шарнира сочленения; капота; системы освещения рабочей зоны; скребков; защиты от опрокидывания ROPS, который является составной частью кабины; поворотных, габаритных фонарей и проблескового маяка.

Катки вибрационные грунтовые ВК 24.01 производства ООО «ЧТЗ-Уралтрак» с гладким или кулачковым вальцами предназначены для уплотнения отсыпанных и предварительно спланированных слоев грунта и материалов дорожных покрытий с автоматическим контролем качества уплотнения.



1 - электрооборудование; 2 - валец в сборе с рамой; 3 - установка стопора; 4 - шарнир; 5 - гидробак; 6 - органы управления виброкатком; 7 - кабина; 8 - отопитель-вентилятор; 9 - сигнальный проблесковый маяк; 10 - устройство защиты оператора; 11 - установка двигателя; 12 - установка топливного бака; 13 - установка передачи карданной; 14 - редуктор согласующий; 15 - капот; 16 - чехол утеплительный; 17 - установка радиаторов; 18 - ящик; 19 - установка защиты двигателя; 20, 23 - лестница; 21 - установка колес; 22 – трансмиссия.

Рисунок 14.25 - Виброкаток ВК 24.01.01

Катки применяются при строительстве автомобильных дорог, путепроводов, мостов, дамб и т. д., могут быть использованы в макроклиматических районах с теплым умеренным климатом при нижнем значении температуры окружающего воздуха минус 20°C и в макроклиматических районах с тропическим климатом. Общий вид катка ВК 24.01.01 показан на рис. 14.25, технические параметры приведены в прил. 5, табл. П.5.3. Каток может быть оснащен гладким или кулачковым вальцом, а также кулачковым вальцом и отвалом.

Базовой моделью является каток ВК 24.01.01 с гладким вальцом. Каждой модели катка присвоено условное обозначение, состоящее из буквенных и цифровых индексов:

ВК 24. XX. AA, где ВК 24 - принадлежность к семейству катков типа ВК 24; XX - цифровой индекс модификации: «01» - с двигателем ЯМЗ-236Н-5; AA - цифровой индекс комплектации: «01» - гладкий валец; «02» - кулачковый валец; «03» - кулачковый валец с отвалом.

Каток (Рисунок 14.25) состоит из двух модулей, рамы которых соединены между собой шарниром: модуль с рабочим органом (вибровальцом) и силовой модуль с моторно-трансмиссионной установкой, кабиной и пневмоколёсами.

Вопросы для самоконтроля

1. Приведите классификацию машин для уплотнения грунтов. Назовите основные признаки классификации, назначение и схемы катков различных видов.
2. Приведите схемы машин статического, вибрационного и виброударного действия. Укажите их достоинства, недостатки и область применения.
3. Назовите виды рабочих органов дорожных катков. Для уплотнения каких материалов применяется тот или иной вид?
-Как определяется диаметр гладкого вальца?
4. Какие рациональные скоростные режимы установлены для рабочего движения катка?
5. Для чего служат кулачковые вальцы?

6. В каких случаях не рекомендуется включать вибратор?

7. Какие навесные рабочие органы могут устанавливаться на каток? Какое их назначение?

8. Перечислите агрегаты гидравлической системы вибрационного катка. Укажите их назначение.

9. В чем преимущества и недостатки гидрообъемной трансмиссии привода хода дорожного катка?

10. Какой наиболее распространенный способ поворота катка? Какие еще бывают способы управления? В чем их преимущества и недостатки.

11. В чем заключается модульное проектирование катков?

12. Перечислите основные узлы ведущего вальца вибрационного катка.

13. Какие виды вибраторов Вы знаете?

14. Какие гидравлические механизмы катка могут работать одновременно?

15. Из каких сопротивлений складывается сопротивление движению катка?

15 Одноковшовые погрузчики

15.1 Общие сведения, классификация

Одноковшовым погрузчиком (по ГОСТ Р ИСО 6165-99) называется самоходная гусеничная или колесная машина с фронтальным ковшовым рабочим органом, которая выполняет главным образом погрузочные операции посредством загрузки или копания грунта ковшом при движении машины вперед.

Одноковшовые погрузчики предназначены для погрузки сыпучих и кусковых материалов, используются для выполнения земляных работ в дорожном строительстве на грунтах I и II категорий (песок, супесок, суглинок, гравий, глина легкая) с выгрузкой в отвал или в транспортные средства, планировки площадок, перемещения щебня, песка, гравия и других материалов на небольшие расстояния. Погрузчики имеют широкое применение на строительно-дорожных, монтажных и такелажных работах при строительстве и капитальном ремонте дорог, перемещении грунта в отвал или насыпь, перемещении матери-

алов и добавок при технологическом смешивании их на стационарном оборудовании, очистке дорог, городских проездов и территорий от снежных заносов, погрузке кусковых и сыпучих материалов в транспортные средства (в том числе железнодорожные вагоны).

На малообъемных работах используются *минипогрузчики*, имеющие эксплуатационную массу (по ГОСТ 27922) не более 4500 кг и предназначенные для работы в стесненных условиях, и *погрузчики с бортовым поворотом* (минипогрузчики, управляемые посредством изменения скорости или направления вращения колес (гусениц) на противоположных бортах машин).

Рабочий процесс погрузчиков определяется видом выполняемой работы и способом разгрузки ковша. У фронтальных погрузчиков при погрузке сыпучих материалов в транспорт он заключается в следующем. На первой передаче, соответствующей скорости движения погрузчика до 4 км/ч, ковш внедряется снизу в штабель сыпучего материала на глубину 0,3...0,5 м. Днище ковша при этом необходимо наклонять к опорной поверхности под углом 5...7°. Ковш погрузчика на гусеничном ходу внедряется в результате напорного усилия, развиваемого базовым тягачом. Колесные фронтальные погрузчики внедряют ковш в штабель за счет напорного усилия и запаса кинетической энергии, приобретенной в процессе разгона. Ввиду этого длина пути разгона должна составлять 3...4 м. В момент внедрения либо после него производится черпание сыпучего материала. Далее задним ходом, обычно на низшей передаче, погрузчик отходит от штабеля и маневрирует с целью быстрого подхода к транспортному средству.

Весьма ограниченное применение имеют другие типы погрузчиков, производящих разгрузку на месте, опрокидыванием ковша назад, что позволяет почти полностью исключить маневры между циклами, а также и полуповоротные, у которых рабочее оборудование может поворачиваться на 210...270. Классификация погрузчиков приведена на рис. 15.1.

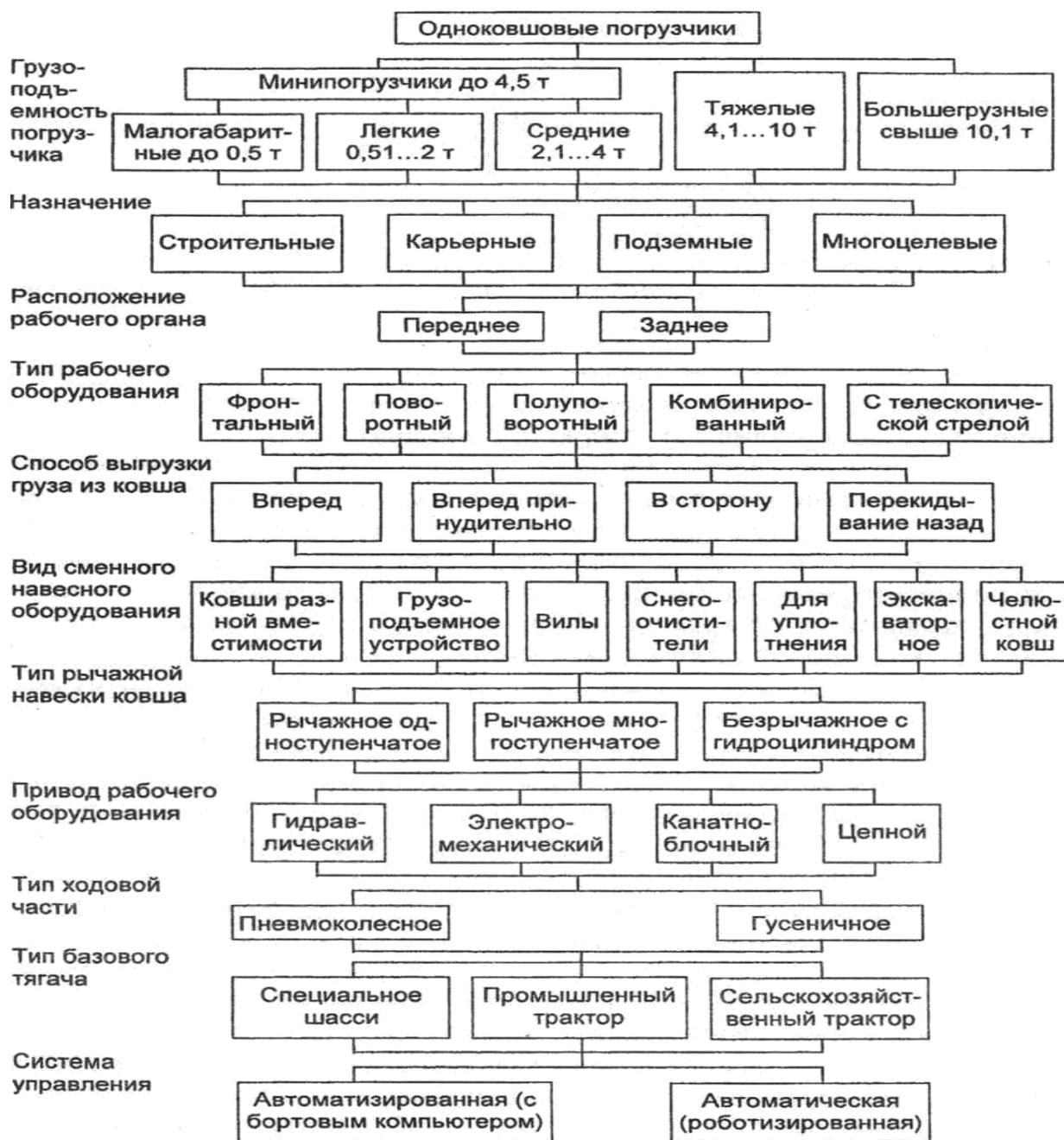
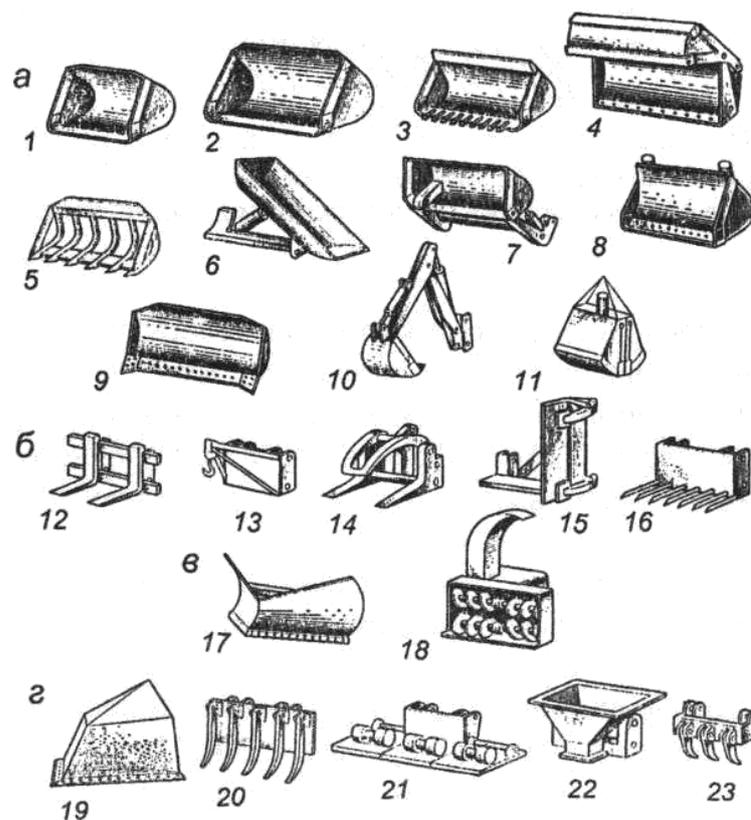


Рисунок 15.1 - Классификация одноковшовых фронтальных погрузчиков

Основными нормативными документами, регламентирующими выпуск погрузчиков в России, являются: ГОСТ 27721 (ISO 7131), ГОСТ Р 51601 и ГОСТ Р 50950.

Погрузчиком в соответствии с ГОСТ 27721 называется самоходная гусеничная или колесная машина с рычажной системой и фронтально расположенным ковшом, заполняемым при поступательном движении машины, которая поднимает, транспортирует и выгружает материал.



1 - нормальный ковш; 2 - увеличенный ковш; 3 - уменьшенный ковш; 4 - двухчелюстной ковш; 5 - скелетный ковш; 6 - ковш с боковой разгрузкой; 7 - ковш с увеличенной высотой разгрузки; 8 - ковш с принудительной разгрузкой; 9 - бульдозерный отвал; 10 - экскаватор; И - грейфер; 12 - грузовые вилы; 13 - грузоподъемный кран; 14 - челюстной захват; 15 - монтажно-поворотный захват для столбов и свай; 16 - вилы для навоза и силоса; 17 - плужный снегоочиститель; 18 - роторный снегоочиститель; 19 - кусторез; 20 - корчеватель-собиратель; 21 - виброуплотнитель; 22 - бункер-дозатор; 23 – асфальтовзламыватель.

Рисунок 15.2 - Сменное рабочее и навесное оборудование одноковшовых погрузчиков: *а* - землеройно-погрузочное; *б* - грузоподъемное; *в* - снегоочистительное; *г* – вспомогательное

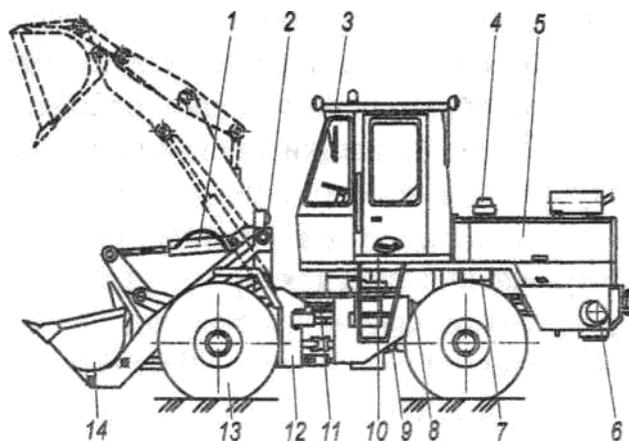
15.2 Устройство одноковшовых погрузчиков на примере конкретных производителей

В Российской Федерации и странах СНГ одноковшовые фронтальные погрузчики выпускают предприятия ЗАО «Орел-Погрузчик», ЗАО «ЧСДМ», ОАО «Промтрактор», ФГУП «ПО «Уралвагонзавод», ОАО «Донецкий экскаватор»,

ООО «ЧТЗ-Уралтрак», ОАО «Экско» (все – Россия), ОАО «Амкодор», ГП «МоАЗ», ПО «БелАЗ» (Республика Беларусь). Технические характеристики погрузчиков приведены в прил. 5, табл. П.5.1.

Погрузчик одноковшовый ПК-27 грузоподъемностью 2,7 т, вместимостью ковша 1,35 м³ выпускает ЗАО «Орел-Погрузчик». Погрузчики ПК- 27-02-00, ПК-27-03-00, ПК-33-01-00, ПК-33-02-00, ПК-40-02-00 и их модификации имеют подобную конструкцию и принцип действия. Техническая характеристика погрузчиков приведена в приложении.

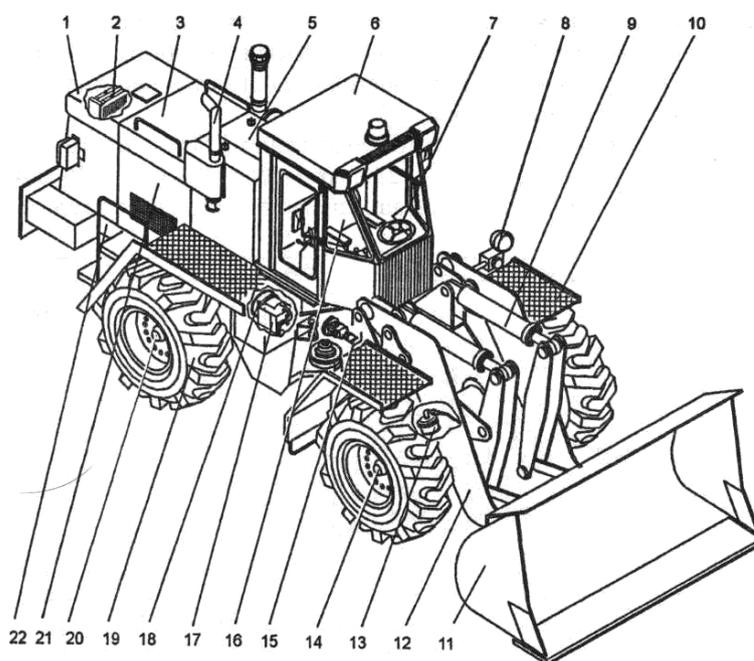
Отличительными особенностями модификаций погрузчиков ПК-27-02-01, ПК-27-03-01, ПК-33-01-01, ПК-33-02-01, ПК-40-02-01 (с быстросменными рабочими органами) по сравнению с основными моделями являются: наличие в гидравлической системе погрузочного оборудования дополнительной секции распределителя; наличие быстросменного устройства, позволяющего оператору быстро без посторонней помощи производить замену рабочего органа; наличие в кабине дополнительной рукоятки управления распределителем.



1 - гидросистема погрузочного оборудования; 2 - электрооборудование; 3 - рабочее место оператора; 4 - силовая установка; 5 - облицовка; 6 - пневмосистема; 7 - редуктор отбора мощности; 8 - гидросистема; 9 - гидромеханическая коробка передач и карданная передача; 10 - система управления; 11 - гидросистема рулевого управления; 12 - рама; 13 - ведущие мосты и колеса; 14 - погрузочное оборудование.

Рисунок 15.3 - Погрузчик ПК-27 производства ЗАО «Орел-Погрузчик»

Погрузчик одноковшовый В138 грузоподъемностью 4 т при вместимости ковша 2,2 м³ производства ЗАО «ЧСДМ», Рисунок 7.21, выполняет погрузочные работы сыпучих и кусковых материалов, а также используется для выполнения земляных работ в дорожном строительстве на грунтах I и II категорий с выгрузкой в отвал или в транспортные средства, планировки площадок, перемещения щебня, песка, гравия и других материалов на небольшие расстояния, для работ по очистке дорог и территорий от снежных заносов.



1 - капот; 2 - система охлаждения и разогрева двигателя; 3 - система смазки; 4 - система всасывания и выхлопа; 5 - топливная система; 6 - кабина; 7 - рулевое управление; 8 - электрооборудование; 9 - гидросистема; 10 - крылья; 11 - рабочее оборудование; 12 - погрузочное оборудование; 13 - система привода тормозов; 14 - подвеска переднего моста; 15 - карданная передача; 16 - площадка оператора; 17 - установка гидромеханической передачи; 18 - гидросистема гидромеханической передачи; 19 - колесо; 20 - подвеска заднего моста; 21 - силовая установка; 22 – рама.

Рисунок 15.4 - Фронтальный одноковшовый погрузчик В138 производства ЗАО «ЧСДМ»

Погрузчик изготавливается в двух исполнениях в зависимости от климатических условий: обычное исполнение – для эксплуатации в средних широтах при температуре окружающей среды от минус 45 до плюс 40° С; тропическое исполнение – для эксплуатации в районах с тропическим влажным и сухим климатом.

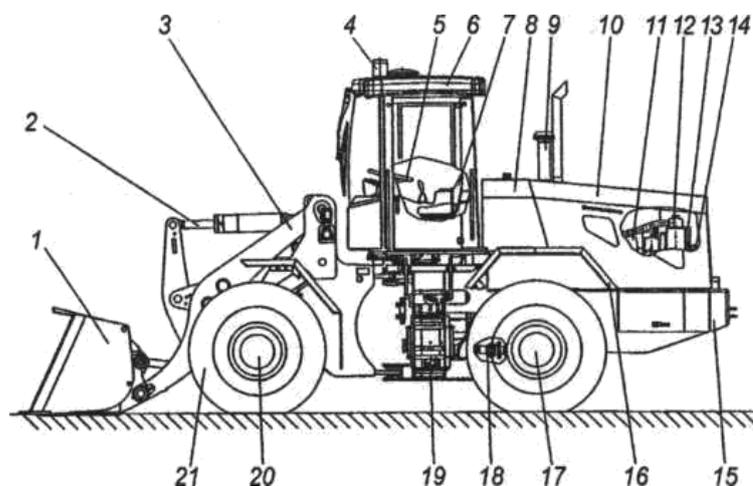
Комплектации погрузчиков отличаются от базовой модификации и между собой рабочим оборудованием см. табл. 15.1.

Таблица 15.1 - Комплектации погрузчиков рабочим оборудованием

Модель		Рабочее оборудование
Наименование	Индекс	
Базовая модификация	V138.00000	Ковш
Комплектации	V138.00010	Скальный ковш
	V138.00020	Двухчелюстной ковш
	V138.00030	Челюстной захват (V138.83.00.000)
	V138.00040	Челюстной захват (V138.84.00.000)
	V138.00050	Вилы

Погрузчик является многофункциональной самоходной строительно-дорожной машиной со взаимозаменяемыми рабочими органами всех комплектаций. На машине установлен шестицилиндровый двигатель ЯМЗ- 236М2.

Погрузчик одноковшовый фронтальный V140 грузоподъемностью 4 т при вместимости ковша 2,5 м³ производства ЗАО «ЧСДМ», рис. 15.5, обладает более совершенной гидравлической системой и импортными агрегатами трансмиссии и предназначен для замены погрузчика V138 в производственной программе ЗАО «ЧСДМ». Модификации погрузчика приведены в табл. 15.2.



1 - ковш; 2 - гидросистема рабочего оборудования; 3 - погрузочное оборудование; 4 - электрооборудование; 5 - рулевое управление; 6 - кабина; 7 - площадка оператора; 8 - топливная система; 9 - система всасывания и выхлопа; 10 - капот; 11 - силовая установка; 12 - система охлаждения и разогрева двигателя; 13 - гидросистема гидромеханической передачи; 14 - система смазки; 15 - рама; 16 - система доступа; 17 - задний мост; 18 - карданная передача; 19 - гидромеханическая передача; 20 - передний мост; 21 – колесо.

Рисунок 15.5 - Погрузчик В140 производства ЗАО «ЧСДМ»

Таблица 15.2 - Модификации погрузчиков В140

Индекс модели	Мосты	Рабочее оборудование
В140.00000	ОДМ.73.001-1-10,	Ковш
В140.00100	ZL45, Китай	Ковш
В140.00110		Скальный ковш

На погрузчике установлен дизельный двигатель ЯМЗ-236М2-4.

Трансмиссия погрузчика имеет гидромеханическую передачу 4WG- 180 (Китай).

Погрузчик одноковшовый В160 грузоподъемностью 6,2 т при вместимости ковша 3,4 м³ производства ЗАО «ЧСДМ», Рисунок 7.37. Техническая характеристика погрузчика приведена в прил. 5, табл. П.5.1. Погрузчик способен вы-

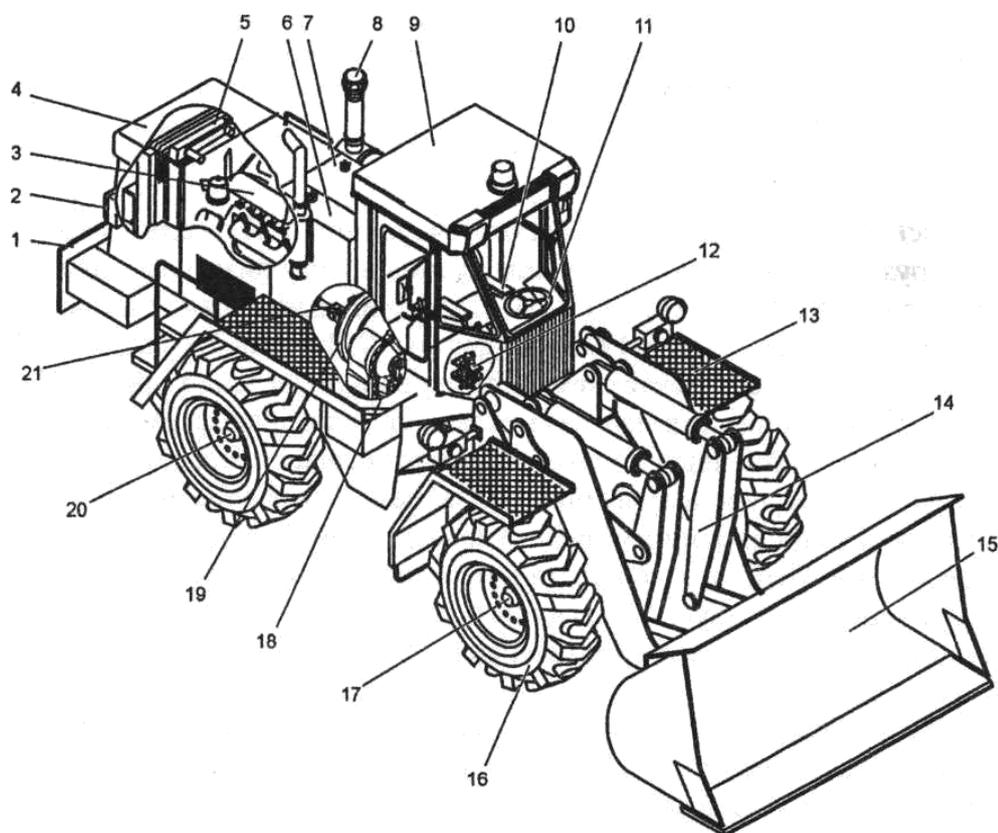
полнять все традиционные виды работ одноковшовых погрузчиков с сыпучими и кусковыми материалами, земляные работы на грунтах до II категории с выгрузкой грунта в отвал или в транспортные средства, планировки площадок, монтажные и такелажные работы на строительных площадках в промышленных, железнодорожных и строительных складах, портах и карьерах. Погрузчики изготовлены в климатическом исполнении "У" или "Т" категории и рассчитаны на эксплуатацию в районах, соответственно, с умеренным или тропическим климатом. Основные модификации приведены в табл. 15.3.

Таблица 15.3 - Основные модификации погрузчиков производства ЗАО «ЧСДМ»

Отличительный признак	Характеристика отличительного признака для моделей, индекса			Рабочее оборудование
	В 160.00000	В160.00001	В160.20001	Ковш
	В160.00010	В 160.000 И	В160.20011	Скальный ковш
Двигатель	Cummins 6СТ8.3-С215		ЯМЗ-238М2	
Гидрораспределитель	НС-D25/2	4125.24.00.000-02		

Погрузчик колесный фронтальный ПК-60.01Я грузоподъемностью 6 т, вместимостью ковша 3,5 м³ выпускает ОАО «Промтрактор», рис. 15.7.

Погрузчик выполняет погрузочно-разгрузочные работы с сыпучими и кусковыми материалами, с разрыхленными полускальными или скальными горными породами, выполняет земляные работы, планировку площадок, перемещение щебня, гравия, песка и других материалов в промышленном, дорожном, нефтегазовом и гидротехническом строительстве, горнодобывающей промышленности, а также для очистки дорог от снега.

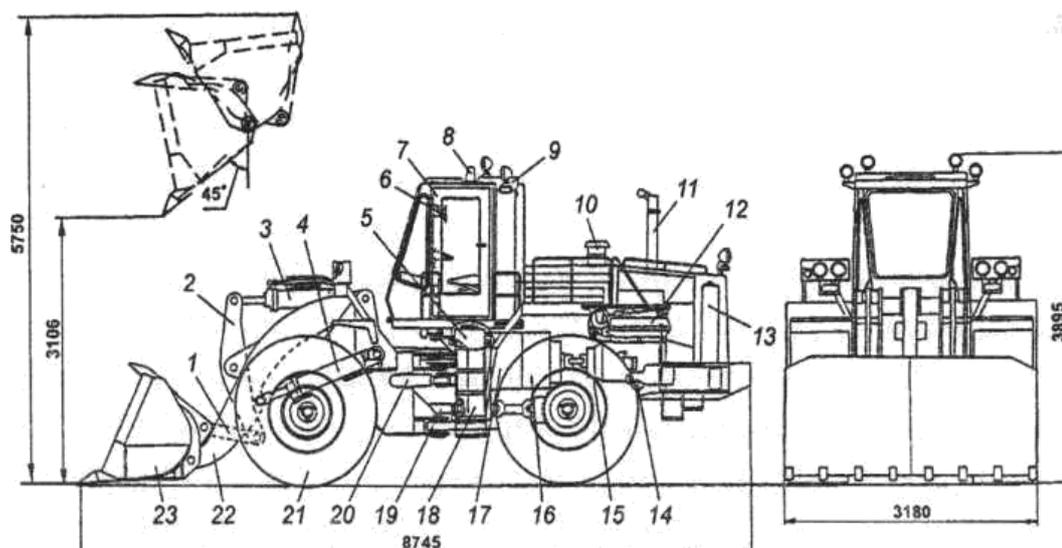


1 - рама; 2 - электрооборудование; 3 - система смазки; 4 - капот; 5 - система охлаждения и разогрева двигателя; 6 - гидросистема погрузчика; 7 - топливная система; 8 - система всасывания и выхлопа; 9 - кабина; 10 - площадка оператора; 11 - рулевое управление; 12 - система привода тормозов; 13 - крылья; 14 - погрузочное оборудование; 15 - ковш; 16 - колесо; 17 - подвеска переднего моста; 18 - установка гидромеханической передачи; 19 - гидросистема гидромеханической передачи; 20 - подвеска заднего моста; 21 - карданная передача.

Рисунок 15.6 - Погрузчик В160 производства ЗАО «ЧСДМ»

Погрузчик укомплектован ковшом с прямолинейной режущей кромкой, образованной сменными ножами и зубьями.

Погрузчик колесный фронтальный ПК-60.01Я-Л грузоподъемностью 6 т с лесопогрузочными вилами предназначен для выполнения комплексов погрузочно-разгрузочных работ с круглыми сортаментами материалов на складах, портах и различных перевалочных базах лесоматериалов. Погрузчик укомплектован лесопогрузочными вилами с верхним прижимом.



1 - тяга; 2 - коромысло; 3 - гидроцилиндр ковша; 4 - гидроцилиндр стрелы; 5 - топливный бак; 6 - зеркало заднего вида; 7 - кабина; 8 - проблесковый маяк; 9 - защитное устройство; 10 - система воздухоочистки и выпуска; 11 - выхлопная труба; 12 - дизель; 13 - радиатор; 14 - система предпускового подогрева; 15 - упругая муфта; 16 - гидротрансформатор; 17 - блок трансмиссии; 18 - масляный бак гидросистемы рабочего оборудования; 19 - карданный вал; 20 - гидроцилиндр управления поворотом; 21 - колесо; 22 - стрела; 23 – ковш.

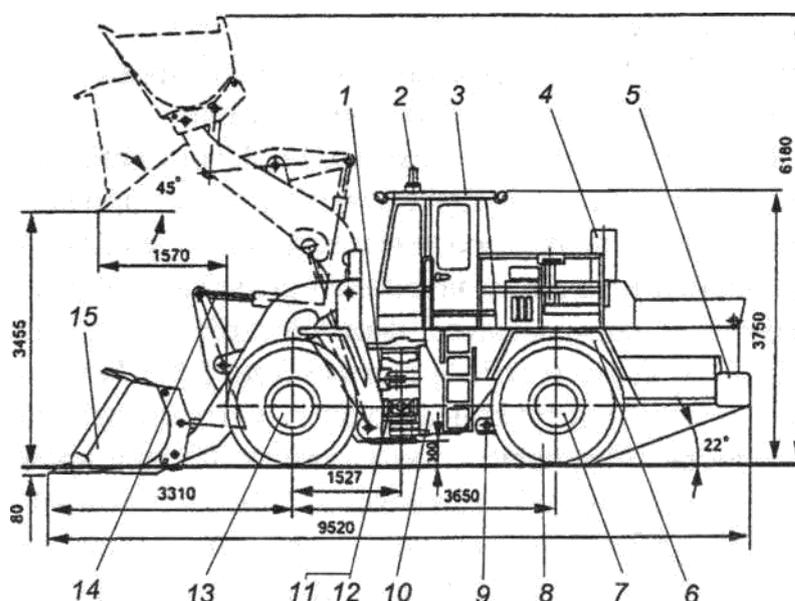
Рисунок 15.7 - Погрузчик ПК-60.01Я производства ОАО «Промтрактор»

Климатические исполнения погрузчиков – УХЛ и Т по ГОСТ 15150. Погрузчики эксплуатируются с полной нагрузкой в интервале температур окружающего воздуха от минус 50 до плюс 35° С.

Все механизмы и агрегаты погрузчика смонтированы на шарнирно сочленённых раме и полураме.

Погрузчик МоАЗ-40484 грузоподъемностью 7,5 т при вместимости ковша 3,7 м³ выпускает Могилевский автомобильный завод (Республика Беларусь), рис. 15.8.

Погрузчик эксплуатируется вне автомобильных дорог с допустимой нагрузкой на ось до 270 кН в карьерах или на площадках, имеющих продольные уклоны не более 15 % на сухом и твердом грунте.



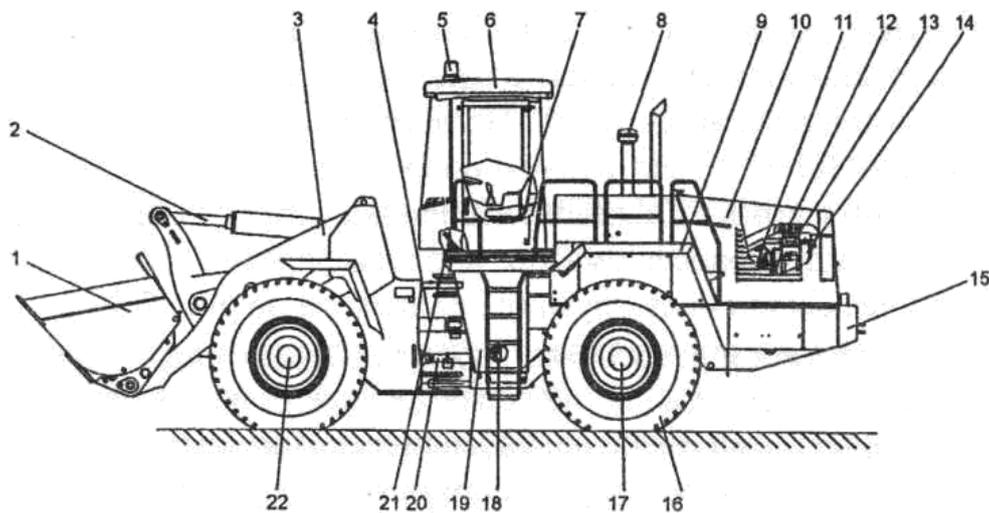
1 - рулевое управление; 2 - система электрооборудования; 3 - кабина; 4 - двигатель; 5 - рама; 6 - коробка отбора мощности; 7 - задний мост; 8 - колеса, 9 - подвеска; 10 - гидромеханическая передача; 11 - карданная передача; 12 - тормозная система; 13 - передний мост; 14 - гидросистема; 15 - погрузочное оборудование.

Рисунок 15.8 - Погрузчик МоАЗ-40484

Погрузчик выполняет работы погрузочными ковшами, основным и дополнительным, геометрической вместимостью 3,85...5 м³, на погрузочно-разгрузочных работах со взорванными и разрыхленными механическим способом полускальными и скальными горными породами мелкой, средней и крупной кусковатости (130... 170 мм) с максимальным размером отдельных кусков до 800 мм, с насыпкой, плотностью в разрыхленном состоянии от 1,3 до 2,5 т/м³, а также для выполнения погрузочных работ при выемке мягких рыхлых пород и грунтов из целины. Погрузчик с бульдозерным неповоротным отвалом выполняет работы для послойного резания и перемещения призмы грунта, выравнивания грунта на строительных площадках, на дорожном полотне, насыпях, дамбах и другим земляных сооружениях; прокладывания колонных путей для машин с засыпкой траншей, ям, канав грунтом и устройства пологих спусков для обеспечения проезда машин, а также для расчистки снега на дорогах и вне дорог.

С вилочным погрузчиком выполняются работы по погрузке, разгрузке и штабелированию штучных грузов весом до 7,5 т. Погрузчик с лесозахватом выполняются работы по погрузке из штабеля на транспортное средство бревен длиной не более 8 м. Погрузчик выполняет работы на грунтах I—II категории без предварительного разрыхления и на грунтах III—IV категории с обязательным предварительным рыхлением грунта.

Погрузчик В175 грузоподъемностью 7,5 т, вместимостью ковша 4,2 м³ выпускает ЗАО «ЧСДМ», рис. 15.9.

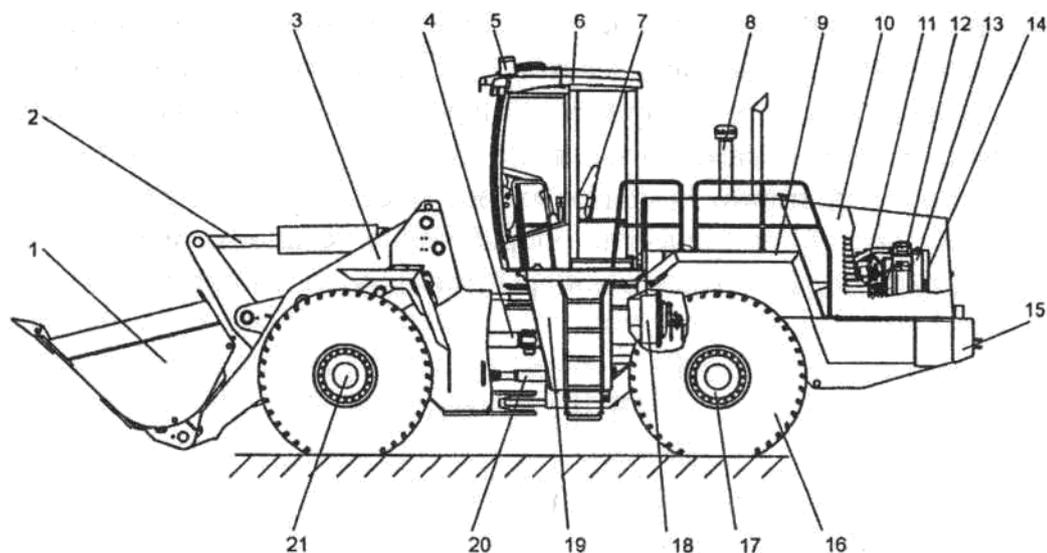


1 - ковш; 2 - гидросистема рабочего оборудования; 3 - погрузочное оборудование; 4 - рулевое управление; 5 - электрооборудование; 6 - кабина; 7 - площадка оператора; 8 - система всасывания и выхлопа; 9 - система доступа; 10 - капот; 11 - силовая установка; 12 - система охлаждения наддувочного воздуха; 13 - система охлаждения и разогрева двигателя; 14 - гидросистема гидромеханической передачи; 15 - рама; 16 - колесо; 17 - задний мост; 18 - гидромеханическая передача; 19 - топливная система; 20 - карданная передача; 21 - система привода тормозов; 22 - передний мост.

Рисунок 15.9 - Погрузчик В175 производства ЗАО «ЧСДМ»

Погрузчик В190 грузоподъемностью 9,0 т, вместимостью ковша 5,0 м³ производства ЗАО «ЧСДМ», Рисунок 7.58, предназначен для выполнения погрузочных работ с сыпучими и кусковыми материалами и земляных работ на грунтах до II категории с выгрузкой грунта в отвал или в транспортные сред-

ства. Рабочим органом погрузчика является ковш. Схема и устройство рабочего органа погрузчика аналогична рассмотренному ранее при описании погрузчиков В140, В175. На погрузчике В190 установлен дизельный двигатель ЯМЗ-238Д-2. Погрузчик имеет гидромеханическую передачу 4WG-260 фирмы "Zahnradfabrik Passau GmbH", Германия, в которую входит гидротрансформатор, коробка передач и стояночный тормоз.



1 - ковш; 2 - гидросистема рабочего оборудования; 3 - погрузочное оборудование; 4 - рулевое управление; 5 - электрооборудование погрузчика; 6 - кабина; 7 - площадка оператора; 8 - система всасывания и выхлопа; 9 - система доступа; 10 - капот; 11 - силовая установка; 12 - система охлаждения и разогрева двигателя; 13 - гидросистема гидромеханической передачи; 14 - система смазки; 15 - рама; 16 - колесо; 17 - задний мост; 18 - гидромеханическая передача; 19 - топливная система; 20 - карданная передача; 21 - передний мост.

Рисунок 15.10 - Погрузчик В190 производства ЗАО «ЧСДМ»

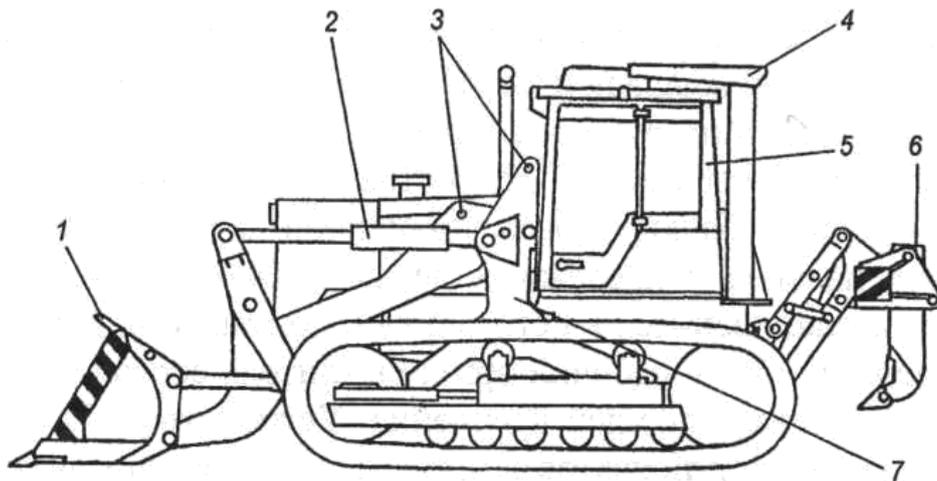
Трансмиссия погрузчика обеспечивает передачу крутящего момента от двигателя на передний и задний мосты машины. В состав трансмиссии входят: насосная станция, собранная в один блок с двигателем, гидромеханическая передача и карданная передача. *Кинематическая схема* погрузчика В190 аналогична схеме погрузчика В175. Коробка передач обеспечивает четыре передачи перед-

него хода и три заднего. Включение передач осуществляется фрикционными муфтами, управляемыми электро-гидравлическими клапанами. Передача мощности к переднему и заднему мостам осуществляется через карданную передачу.

Гидромеханическая передача состоит из гидротрансформатора, который автоматически регулирует скорость погрузчика в зависимости от нагрузки, и коробки передач, обеспечивающей четыре передачи переднего и три – заднего хода. Переключение передач осуществляется многодисковыми фрикционными муфтами с электрогидравлическим управлением. Для питания ГТ и управления фрикционными муфтами КП в гидросистему ГМП заливается гидравлическое масло. Подвод мощности на гидромеханическую передачу осуществляется через фланец входного вала ГТ, а отвод – через фланцы выходного вала КП. На фланце выходного вала установлен диск стояночного тормоза. Стояночный тормоз входит в состав гидромеханической передачи. Карданная передача состоит из верхней и нижних частей. Верхняя часть связывает насосную станцию с гидротрансформатором ГМП, нижние части связывают выходной вал ГМП с передним и задним мостами погрузчика.

Мосты погрузчика являются ведущими. Мосты служат для передачи крутящего момента, с его увеличением, от карданной передачи на колеса погрузчика.

Погрузчик одноковшовый фронтальный П4.04 грузоподъемностью 4,5 т при вместимости ковша 2,25 м³ на гусеничном тракторе класса 10 выпускает ООО «ЧТЗ-Уралтрак», рис. 15.11. На тракторе установлен двигатель Д-180 мощностью 132 кВт. Погрузчик выполняет погрузочные работы с сыпучими и мелкокусковыми материалами нормальной плотности (1,4...1,8 т/м³) в транспортные средства или отвалы; для перемещения грунта, щебня, гравия, песка и других дорожно-строительных материалов на небольшие расстояния. Техническая характеристика погрузчика приведена в приложении. Погрузчик, при соответствующем исполнении, предназначен для эксплуатации во всех климатических зонах.



1 - погрузочное оборудование; 2 - гидросистема погрузчика; 3 - отверстия для стопорения погрузочного оборудования в поднятом состоянии при проведении технического обслуживания; 4 - установка защиты оператора «ROPS-FOPS»; 5 - базовый трактор; 6 - рыхлитель; 7 – портал.

Рисунок 15.11 - Ковшовый гусеничный погрузчик П4.04 производства ООО «ЧТЗ - Уралтрак»

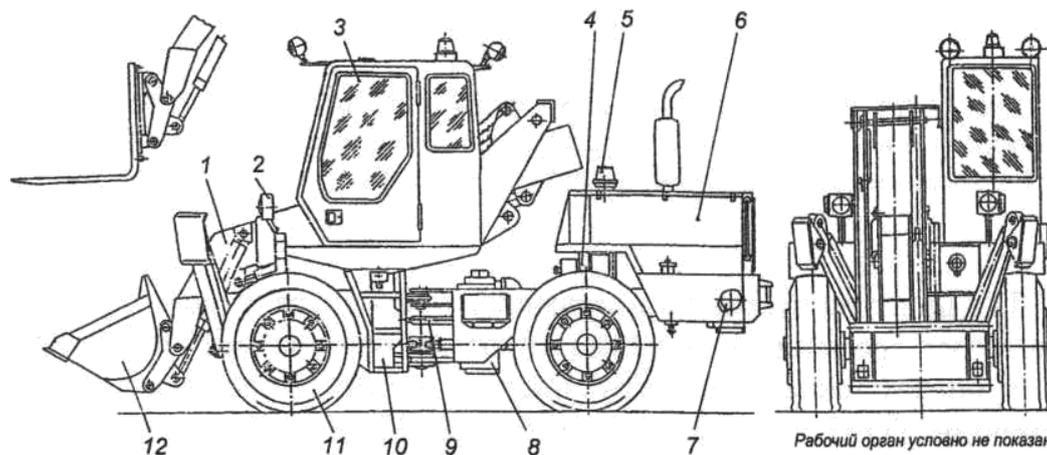
Гусеничный фронтальный погрузчик П4.04.01 и его комплектации оснащаются рабочим оборудованием с ковшом и рыхлителем. Информация приведена в табл. 15.4.

Таблица 15.4 - Комплектации гусеничного фронтального погрузчика П4.04.01

Обозначение модели погрузчика	Обозначение модели базового трактора	Характеристика
П4.04.01	T10.0001-9	Базовая модель с гидромеханической трансмиссией, пусковым двигателем
П4.05.01	T10.0000-9	Комплектация П4.04.01 с электростартерным пуском

Погрузчик с телескопической стрелой ЗТМ-213 грузоподъемностью 2,5 т и вместимостью ковша 1,25 м³ производства ОАО «Экско» предназначен для механизации погрузочных, землеройных и строительно-монтажных работ в промышленном, гражданском и дорожном строительстве, в сельском хозяйстве,

а также для выполнения операций, связанных с обработкой штучных и сыпучих грузов, обеспечивая их подъем на большую высоту, рис. 7.65. Погрузчик можно эксплуатировать в различных климатических условиях при температуре от минус 40 до плюс 40° С.



1 - гидросистема рабочего оборудования; 2 - электрооборудование; 3 - рабочее место оператора; 4 - редуктор отбора мощности; 5 - силовая установка; 6 - облицовка; 7 - пневмосистема; 8 - гидромеханическая коробка передач; 9 - гидросистема рулевого управления; 10 - рама; 11 - ведущие мосты; 12 - погрузочное оборудование.

Рисунок 15.12 - Погрузчик с телескопической стрелой ЗТМ-213 производства ОАО «Экско»

Погрузчик может комплектоваться следующими рабочими органами: ковшом, вилами, захватом для длинномерных грузов, захватом для сена, ковшом для навоза, бульдозерным отвалом, штырем для рулонов, снежным плугом, бадьей для бетона, роторным снегоочистителем, подметальной щеткой, буром, устройством для посадки деревьев и грузовым крюком. При работе отдельными видами, сменного оборудования (крюк, грузовые вилы, люлька) при работе на уклоне более 3° предусмотрена работа с выносными опорами, установленными на передней раме погрузчика и управляемыми гидроцилиндрами с рабочего места оператора. Техническая характеристика погрузчика приведена в приложении.

Пневмоколесный погрузчик с телескопической стрелой ЗТМ-213 имеет пневмоколесный движитель с двумя мостами и шарнирно-сочлененной рамой 10, состоящей из двух соединенных полурам. На рамах смонтированы силовая установка 5, рабочее место 3 с органами управления и контроля, гидромеханическая коробка передач 8, карданные валы, стояночный тормоз, электросистема 2, пневмосистема 7, погрузочное оборудование 12, гидросистема рабочего оборудования 1, управление и гидросистема рулевого управления 9, облицовка 6.

Вопросы для самоконтроля

1. Приведите классификацию одноковшовых погрузчиков. Перечислите признаки классификации. Какое назначение у машин различного класса?
2. Приведите и расшифруйте обозначение одноковшовых погрузчиков.
3. Какие виды погрузочных ковшей Вы знаете?
4. Назовите основные кинематические схемы механизмов погрузочного оборудования.
5. Какое навесное оборудование может устанавливаться на погрузчик?
6. Перечислите способы черпания материалов ковшом погрузчика.
7. Приведите технологические схемы работы погрузчика.
8. Какая допустимая грузоподъемность у колесного и гусеничного погрузчика при использовании челюстного захвата?
9. Укажите преимущества и недостатки погрузчика с телескопической стрелой.
10. Перечислите основные технико-экономические параметры, характеризующие погрузчик как объект производства и орудие труда.

16 Основные направления развития машин для земляных работ

Современное машиностроение развивается по пути снижения потребления энергии, топлива, материалов и сырья, а также уменьшения трудозатрат при изготовлении машиностроительной продукции. Следует отметить актуальность этих задач для отечественных машиностроителей из-за дефицита топли-

ва, сырья и материалов на нынешнем этапе развития экономики, а также из-за увеличенных удельных показателей энерго- и материалоемкости продукции машиностроения СНГ по сравнению с аналогичной продукцией известных производителей машин.

В настоящее время в России развитие производства строительных машин, в том числе машин для земляных работ, осуществляется по нескольким основным направлениям, характерным для мирового машиностроения:

1) совершенствование методов и средств повышения безопасности эксплуатации, эргономических и экономических характеристик машин;

2) снижение удельных показателей энерго- и материалоемкости за счет применения новых материалов с высокими и стабильными физикомеханическими характеристиками (в том числе высокопрочных полимерных композитов), более совершенных силовых установок и ресурсосберегающих технологий;

3) повышение надежности узлов и механизмов машин современными конструктивными и технологическими методами;

4) совершенствование систем привода за счет использования новых типов передач, узлов бесступенчатого регулирования скоростных характеристик машин;

5) повышение степени универсальности машин малого и среднего типоразмера за счет расширения спектра сменного рабочего оборудования;

6) расширение диапазона типоразмерных рядов путем разработки как малогабаритной техники мощностью 5-30 кВт, так и машин большой единичной мощности (500-1500 кВт);

7) повышение эффективности рабочих органов, в том числе на основе использования новых физических и физико-химических ресурсосберегающих эффектов (электрогидравлического эффекта (ЭГ-эффекта), трибоэлектричества (Т-эффекта), явления быстрого обратимого повышения эффективной вязкости неводных дисперсных систем в сильных электрических полях, т. е. электрореологического эффекта (ЭР-эффекта), механического воздействия на обрабатываемое вещество ферромагнитных частиц,двигающихся с большой скоростью в

переменном электромагнитном поле (эффекта вихревого слоя или ВС-эффекта), а также ультразвуковой обработки);

8) расширение применения автоматизированных и роботизированных систем управления на основе современных ЭВМ и микропроцессорной техники;

9) расширенное применение методов унификации, блочной компоновки и агрегатирования, дальнейшая специализация производства деталей и конструкций машин;

10) создание многофункциональных машин, имеющих расширенные технологические возможности

В настоящее время крупными предприятиями дорожного и строительного машиностроения решается несколько основных задач.

Во-первых, разрабатываются и изготавливаются модельные ряды однотипных машин с широким диапазоном изменения их главного параметра.

Во-вторых, на базе ранее разработанных конструкций расширяется номенклатура машин, обеспечивающих комплексную механизацию земляных и дорожных работ.

В-третьих, разрабатываются и изготавливаются различные виды навесного, прицепного и другого сменного оборудования. В-четвертых, осуществляется производство основных комплектующих изделий, в том числе импортозамещающих.

От отечественных производителей требуется наращивание экспортного потенциала за счет создания машин, конкурентоспособных на мировом рынке, включая рынки развитых стран. Решение этих серьезных задач базируется на современных представлениях о полном жизненном цикле (ПЖЦ) машин и их экологической совместимости с окружающей средой.

Как известно, жизненный цикл машины начинается с зарождения идеи, включает научные исследования, а также этапы проектирования и конструирования, изготовления и эксплуатации и заканчивается ее утилизацией.

На начальной стадии процесса создания машины как технического средства, предназначенного для удовлетворения потребностей общества, осуществ-

ляется анализ объема потребностей потенциальных пользователей, заинтересованных в создании машин с заданным набором технико-экономических, эксплуатационных и других показателей ее качества, т. е. проводится маркетинг. При этом анализируются современные конструкции машин, в том числе в рамках патентного поиска по нескольким странам, которые имеют передовой опыт и высокий уровень разработок в соответствующей области машиностроения.

На этапе проектирования разрабатываются структурная и конструктивная схемы машины и ее главных составных частей с учетом особенностей эксплуатации машины и возможности ее развития. На этом этапе принимаются концептуальные решения по материалам и конструкциям, технологиям изготовления и правилам эксплуатации. При этом учитывается необходимость обеспечения низких показателей удельной материало- и энергоемкости, высокой надежности и технологичности изготовления, экологичности на всех последующих этапах создания и функционирования машины.

На этой основе осуществляется конструирование, результат которого - разработка конструкторской документации, необходимой для дальнейшего изготовления машины.

Задача разработчиков при проектировании и конструировании состоит в создании новой машины, обладающей повышенными технико-экономическими, конструктивными и эксплуатационными показателями по сравнению с существующими машинами аналогичного назначения. Вместе с тем, конкурентоспособность зависит от ее экологической совместимости с внешней средой. Современные требования экологической безопасности заставляют пересмотреть традиционные методы создания и функционирования машин. Новые подходы отражены в серии международных стандартов *ISO 14000* «Система экологического управления», которая включает организацию системы экологического управления и аудита, а также оценку экологичности производства и продукции на всех стадиях жизненного цикла. Оценка экологической безопасности машин, а также их совершенствование с учетом экологии осуществляются на основе концепции ПЖЦ.

Этот подход - «конструирование для экологии» (*Design for the Environment*) - показывает важность экологического аспекта создания и функционирования машин, когда уже на этапе их проектирования планируются мероприятия (материаловедческие, конструкторские, технологические и эксплуатационные) для обеспечения экологической безопасности и энергосбережения.

Концепция ПЖЦ состоит в том, что экологическая безопасность является приоритетным звеном взаимосвязи всех этапов жизненного цикла машин, включая их утилизацию. При этом эффективность утилизации машины по окончании срока ее эксплуатации во многом является основой всех мероприятий по экологической безопасности на предшествующих этапах жизненного цикла машины.

В общем виде жизненный цикл машины можно представить схемой (рис. 16.1).

Общей целью оценки экологической совместимости машин с окружающей средой является улучшение экологических показателей машин или их отдельных узлов на всех стадиях жизненного цикла, в частности, за счет применения новых материалов и современных технологий изготовления. Помимо этого, на практике часто возникает необходимость определения влияния модернизации конструкции машины на ее экологические показатели. Такие оценки позволяют сопоставить различные варианты конструкции машин, существенно отличающихся друг от друга (например, машины с различными силовыми установками - дизельной бензиновой, гибридной; транспортные средства в двух- или трехосном исполнении и т. п.).

Оценка экологического ущерба, наносимого окружающей среде вредными выбросами, может быть использована для обоснования выбора наиболее целесообразных методов улучшения экологических показателей машин и их составных частей. Так, например, уменьшение расхода топлива и выброса вредных веществ машиной в условиях эксплуатации может быть достигнуто уменьшением ее массы, снижением сопротивления движению (аэродинамиче-

ского или сопротивления качению), улучшением технических показателей и повышением КПД двигателя и передач.

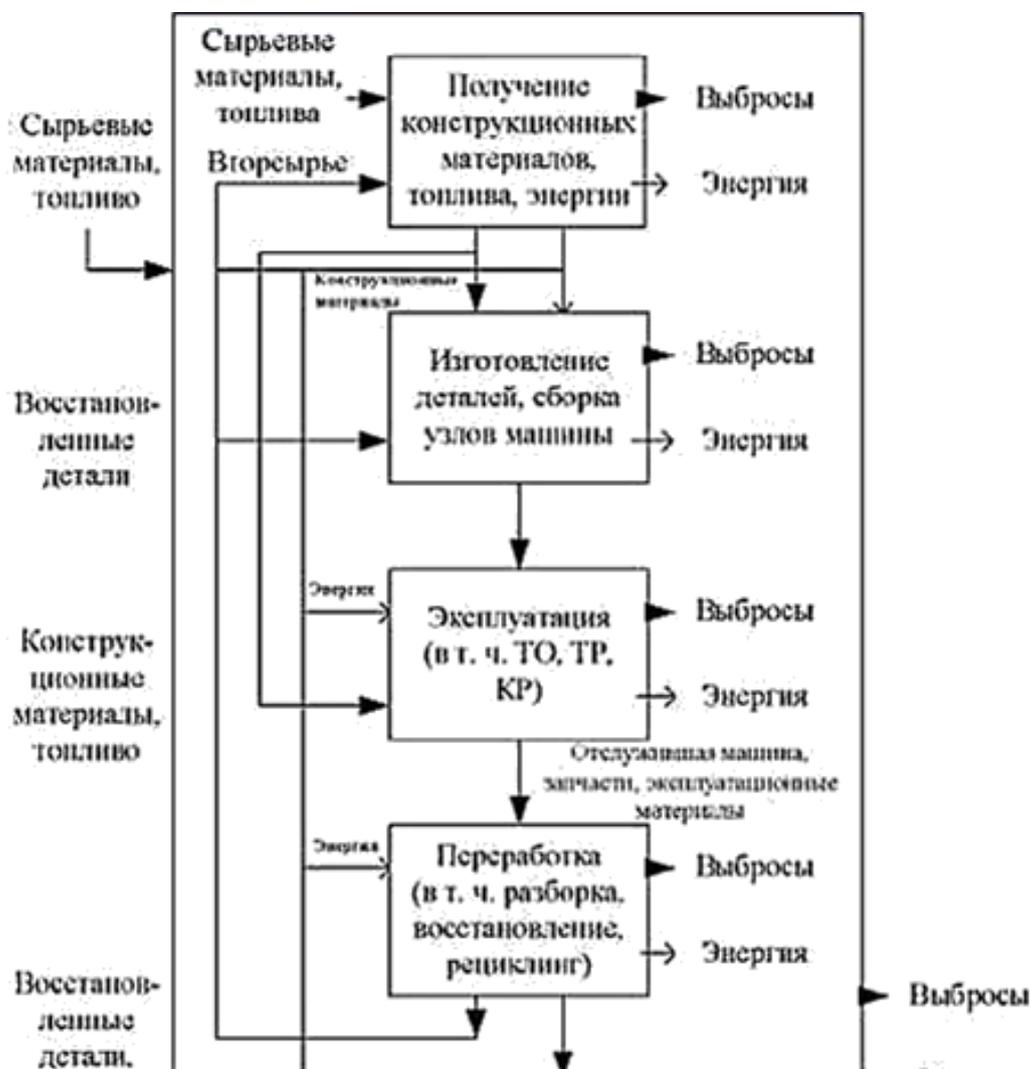


Рисунок 16.1 - Схема жизненного цикла машины с потоками веществ и энергии (под выбросами понимается любое материальное загрязнение окружающей среды)

Как отмечалось, важной стадией полного жизненного цикла машины является её *утилизация* по окончании срока службы. В 1997 г. Совет Евросоюза принял директиву «Транспортные средства, вышедшие из эксплуатации» (№ 97/с 337/02), в которую затем был внесен ряд поправок. В основе этих мероприятий - установление мер по предотвращению образования отходов, связанных с

выводом из эксплуатации машин, а также с их повторным использованием, рециклированием и другими формами восстановления. Государства-участники обязаны гарантировать реализацию этих мероприятий по предотвращению негативного воздействия, наносимого окружающей среде отслужившими свой срок машинами. В их числе совместный контроль (производителей машин, материалов и оборудования) использования вредных веществ в машинах и сокращения их содержания до минимально возможного количества; совершенствование машин с учетом необходимости предотвращения выбросов в окружающую среду. Помимо этого, поставлена задача разрабатывать новые машины, которые приспособлены к разборке, повторному использованию и утилизации (в особенности рециклированию) по окончании срока службы. Отметим, что для отечественных производителей эти мероприятия не потеряли своей актуальности и по сей день.

С 1 января 2005 г., машины должны утилизироваться не менее чем на 95% путем рециклинга материалов и повторного использования отдельных деталей либо сжиганием отходов (с регенерацией энергии). При этом на повторное использование (или рециклинг) должно идти не менее 85 % массы машины. Кроме того, введены очень жесткие ограничения на содержание опасных и вредных веществ в узлах и агрегатах машин, таких как кадмий, свинец, ртуть и шестивалентный хром.

Таким образом, экологические стандарты требуют пересмотра всего процесса разработки новой техники. И хотя новая концепция содержит в основном апробированные рекомендации по обеспечению высокого качества машиностроительной продукции, но каждая из них рассматривается с экологической точки зрения:

- 1) использование рециклируемых и рециклированных материалов;
- 2) проектирование технологических процессов, способствующих снижению энергоемкости и уменьшению выбросов вредных веществ;
- 3) использование материалов, которые не требуют дополнительной обработки (доводки) поверхности деталей;

4) совершенствование технологических процессов с целью минимизации образования отходов и обеспечения повторного использования этих отходов в том же производственном процессе;

5) разработка модульной конструкции машин для упрощения разборки и замены узлов;

6) разработка конструкции, обеспечивающей при утилизации машины простое и удобное разделение различных материалов.

Ведущие фирмы ведут работы по внедрению в практику требований ПЖЦ по утилизации машин, вышедших из эксплуатации. Наиболее впечатляющие результаты имеют автомобилестроители: например, в фирмах «Toyota», «Volkswagen», «BMW», «Volvo», «Fiat», «Ford», «Renault» и др. степень повторного использования материалов достигает 85-90 %. Этими фирмами разработаны стандарты предприятий по «конструированию для рециклинга», а также руководств:) по разборке и утилизации машин по окончании срока их службы. Узлы машины проектируются таким образом, чтобы снизить время, требуемое для их разборки, а также уменьшить количество узлов, которые разбираются только путем предварительной разборки других узлов.

Концепция рассмотрения машиностроительной продукции в рамках полного жизненного цикла вызывает необходимость ее информационного сопровождения на всех стадиях создания и функционирования машин. Эту задачу решают С4/Л-технологии (*Continuous Acquisition and Lifecycle Support* - непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла), в основу которых было положено единообразное представление информации о конструкции изделий, их характеристиках, технологической оснастке, технологиях производства и обслуживания, ремонта и утилизации.

CALS представляет собой единую информационную среду всех этапов жизненного цикла продукции, обеспечивающей интеграцию информационных и электронных технологий описания изделий, применяемых на различных предприятиях. Она позволяет объединять в единое целое интегрированные автоматизированные системы управления технологическими процессами и техническую информацию, необходимую на этапах проектирования и производства.

На этапе производства используют автоматизированные системы планирования и управления предприятием, включая разработку производственных процессов, с учетом возможностей предприятия.

Кроме того, имеются системы управления поставками (*Supply Chain Management - SCM*), предназначенные для автоматизации и управления снабжением предприятия. Их применение существенно снижает затраты на логистику и закупку сырья. С помощью этих систем осуществляют планирование структуры и оптимизацию поставок внутри логистической сети предприятия (с учетом планируемых продаж).

В числе основных задач по созданию информационных технологий и программного обеспечения являются:

- создание нормативно-методической базы, регламентирующей электронный обмен данными;
- разработка и внедрение на предприятиях информационных систем, поддерживающих процессы жизненного цикла продукции;
- сокращение объемов опытно-экспериментальных работ, оптимизация технических характеристик изделий, снижение их материало- и энергоемкости;
- обеспечение информационно-технического перевооружения предприятий;
- уменьшение брака в проектировании и производстве;
- сокращение издержек на эксплуатацию и ремонт изделий.

Информационные системы, поддерживающие процессы жизненного цикла продукции, внедряются, например, на основных машиностроительных предприятиях Беларуси (Амкодор, МТЗ, МАЗ, БелАЗ и др.). Во взаимоотношениях между передовыми предприятиями становится нормой требование компьютерного представления (и обмена данными) о поставляемой продукции на всех этапах ее жизненного цикла. Предприятия в рамках международного сотрудничества, в частности, при продаже сложных наукоемких изделий и лицензий на их производство, также должны соблюдать требования стандартов *CALS* применительно к поставляемой с изделием технической документации в электронной форме. Компьютерная информационная поддержка должна быть обеспечена

на и для процессов технического обслуживания, материально-технического снабжения, заказа запасных частей и ремонта.

CALS -технологии включены в международные стандарты серии ИСО 10303 *STEP - Standard for the Exchange of Product Model Data* (Стандарт по обмену данными о продукции). Это весьма обширные документы, состоящие из множества томов. В качестве примера можно привести стандарт ИСО 10303-214 (по автомобилестроению). В нем представлена исчерпывающая информация о процессе проектирования механических частей автомобиля. В этих документах приводятся самые разнообразные сведения, в их числе:

- конструкторская документация об изделии;
- характеристики моделирования для описания кинематических структур;
- размерные параметры, включая данные о допусках;
- данные о форме изделия;
- информация об изменениях, которые внесены на этапе конструирования;
- идентификация стандартных и оригинальных элементов и узлов;
- информация об объемах выпуска изделий;
- данные об изделиях производителей и их поставщиков, включая детали, сборочные единицы, инструментальные средства, комплексы инструментальных средств и сырьевые материалы;
- технологическая информация, используемая для производства и управления взаимосвязями между промежуточными стадиями разработки инструментов или деталей;
- данные о поставщике изделия с необходимой контактной информацией.

Важным фактором повышения эффективности эксплуатации дорожных машин является *контроль за местом нахождения и работой машин*, позволяющий оперативно реагировать на чрезвычайные ситуации. В ряде стран, в том числе в России, налажена радионавигационная система для определения места нахождения машины. Наличие радиосвязи между диспетчерским пунктом и машиной позволяет оперативно реагировать на непредвиденные обстоятельства. Кроме того, наличие комплекта датчиков контроля за работой машины,

бортового компьютера и аппаратно-программных средств обеспечения позволяет записывать и затем анализировать всю статистическую и динамическую информацию об эффективности эксплуатации машины. В России успешно эксплуатируется радионавигационная система «Дорожник» для обеспечения эффективной уборки городских улиц Москвы.

При разработке соответствующих автоматизированных радионавигационных систем контроль и слежение за машинами для земляных работ и другими подвижными объектами можно существенно улучшить за счет комплексного использования спутниковых навигационных систем *GPS* и Глонасс.

В конце XX столетия ведущими космическими странами были созданы глобальные системы навигации: в США - *GPS (Global Positioning System)*, в России - Глонасс (Глобальная навигационная спутниковая система). Аналогичные системы разрабатывают также Евросоюз (*Galileo*) и Китай.

В это же время в США (затем в Японии) началось широкомасштабное освоение этих систем для проведения землеройных, профилировочных и уплотнительных работ с помощью специализированных машин.

Управление машинами для земляных работ (автогрейдерами, бульдозерами, скреперами, катками, экскаваторами) с использованием *GPS* обеспечивает оптимизацию и ускорение технологических процессов (резания, копания, уплотнения и др.) за счет точного позиционирования рабочего органа и машины в целом в любой момент времени. При этом обеспечиваются стабильность и точность курсовой устойчивости машины в соответствии с проектными требованиями.

Технологии производства земляных работ с использованием *GPS* базируются на трех системах:

- а) спутниковом комплексе;
- б) наземном комплексе слежения за спутниками;
- в) комплексе оборудования производителя работ (т. е. машины с установленными на ней антеннами и приемником-накопителем информации - реси-

вером). Как правило, ресивер монтируется на машине, а антенна - на рабочем органе (с присоединением к ресиверу с помощью кабеля).

Основой технологии *GPS* является система спутников, перемещающихся в космическом пространстве по заданным орбитам. Передавая радиосигналы, спутники сканируют заданный район и находят нужный объект на местности.

За спутниковым комплексом *GPS* идет непрерывное слежение несколькими земными радарными станциями США. Слежение за спутниковой системой Глонасс осуществляется аналогичным образом радарными станциями России.

Работа ресивера накопительного блока станции сводится к определению траектории движения машины в трехмерной системе координат. Определяются координаты позиционирования в режиме реального времени, при этом в его памяти сохраняется вся необходимая информация со всех спутников системы, которая позволяет определить, где и в какое время находится машина. Компьютер в кабине машины сравнивает локационную информацию ресивера с рабочей документацией проекта по карте данных и с информацией о фактических координатах машины. При необходимости посредством имеющегося интерфейса (электроника-гидравлика) осуществляется изменение положения рабочего органа в соответствии с требованиями проекта.

Применение системы *GPS* существенно ускоряет производство земляных работ, а также значительно сокращает число машин по сравнению с традиционными технологиями.

Глобализация современного мира, активное международное научнотехническое сотрудничество, наличие надгосударственной инфраструктуры предприятий машиностроительного комплекса, широкие возможности размещения производств в регионах с дешевой рабочей силой ставят перед отечественным машиностроением задачи по обеспечению конкурентоспособности своей продукции. В их числе модернизация материально-технической базы, включая оснащение автоматизированными линиями специализированных производств, замена устаревших технологий более современными, обеспечивающими качественный рост потребительских свойств продукции, сокращение потребления

импортных комплектующих и организация производства их высококачественных отечественных аналогов. Их решение может расширить гамму отечественных машин, обладающих низкими удельными показателями материало- и энергоемкости и отвечающих жестким требованиям международных стандартов по энергосбережению, экологии и эргономике.

В России производители техники и оборудования для производства земляных работ выпускают широкую номенклатуру машин и легкоосменных рабочих органов к основному оборудованию различного вида и назначения. Отечественная техника в основном соответствует современным технико-экологическим и социально-эргономическим нормам и требованиям. Осуществляются мероприятия по совместному производству землеройной техники с ведущими машиностроительными фирмами. Ведущие отечественные производители ГУП «ПО «Уралвагонзавод», ОАО «Тверской экскаватор», ООО «ЧТЗ-Уралтрак», ЗАО «ЧСДМ», ОАО «Промтрактор» ОАО «Брянский Арсенал» и др. уделяют значительное внимание вопросу повышения уровня надежности, универсальности, комфортабельности оператора, экологичности, потребительской стоимости, культуры сервисного сопровождения и организации перспективных исследований в области инновационной техники.

На современном рынке строительной техники потребитель стремится приобрести не только хорошую машину, необходимую для выполнения соответствующих строительных работ. Появилась потребность в приобретении сопутствующих не материальных услуг, обеспечивающих реализацию все потенциальных возможностей, заложенных в машину производителем техники. Возникает необходимость в приобретении услуг технического сервиса и рекомендаций по оптимальному производственному использованию техники. Важно обеспечить использование машины в тех условиях, где она дает наибольший эффект и позволяет получить большую прибыль.

Число зарубежных производителей техники на строительном рынке РФ существенно увеличилось. Появился значительный сегмент рынка реализации техники бывшей в употреблении. Предлагается большое число машин различ-

ного типа, назначения и качества. Потребителю необходимы рекомендации по обоснованному выбору техники для конкретных условий эксплуатации, которые имеют место у клиента.

Задачи такого типа решаются методами оптимизации параметров зависимости от влияющих факторов. Определение оптимальных параметров эксплуатации землеройных машин осуществляется методом минимизации продолжительности рабочего цикла машины, рассмотренном в учебном пособии. Метод основан на анализе теоретической модели четвертой координаты (времени) рабочего процесса машины. Разработанная методика позволяет решить две задачи – выбрать машину обеспечивающую оптимальный результат в зависимости от условий эксплуатации методом минимизации продолжительности рабочего цикла машины, и обобщить полученный результат на подобные объекты техники и условия эксплуатации.

Существующие методики расчета должны быть дополнены методом определения оптимальных технико-эксплуатационных параметров в зависимости от условий эксплуатации. Прежде чем приступить к проектированию машины, необходимо обосновано установить главные исходные технические параметры (массу машины, мощность, размеры рабочего органа), которые в обычной практике задаются ориентировочно, используя зарубежные аналоги или опыт конструктора.

Методика, основанная на минимизации времени выполнения технологических операций, дополняет существующие методы расчета в части установления характера влияния на технические параметры машин факторов, определяющих условия эксплуатации. Методика позволяет установить оптимальное значение основных технических параметров машины (массу $m_{\text{опт}}$, энергонасыщенность N/m , мощность N и др.) в зависимости от условий эксплуатации.

На этапе проектирования установленные технические параметры $m_{\text{опт}}$, N/m , N , Π являются исходной базой для традиционных расчетов.

На этапе эксплуатации методика позволяет устанавливать рациональное значение основных технических параметров машин m , N/m , Π и других, по которым осуществляется выбор техники в зависимости от условий эксплуатации.

Эффективность землеройной машины с механическим воздействием на среду и цикличным рабочим процессом по основным показателям эффективности: времени цикла $t_{\text{ц}}$, производительности Π , обобщенному показателю удельной энергоемкости и материалоемкости, стоимости машино-часа и единицы вырабатываемого продукта и другим имеет оптимальную величину при определенной величине массы и энергонасыщенности агрегата.

Технические параметры землеройной машины определяются на основании обобщенного положения, что величина силовых и энергетических параметров машин с механическим воздействием на среду определяется видом выполняемых технологических операций, видом сил сопротивлений и характером их приложения, а также вероятностью появления сопротивлений и действующими технико-эксплуатационными факторами.

Оптимальная масса $m_{\text{опт}}$ и энергонасыщенность $(N/m)_{\text{опт}}$ являются функцией технико-эксплуатационных параметров машины. Производительность землеройных машин имеет максимальное значение, а время цикла обладает минимальным значением при определенной величине массы агрегата и зависит от мощности двигателя, рабочей скорости, свойств разрабатываемой среды и ряда других технико-эксплуатационных факторов.

Главным техническим параметром землеройной машины с механическим воздействием на среду и операциями транспортировки и холостых перемещений следует считать массу машины m .

Важным техническим параметром землеройной машины является величина отношения мощности установленного двигателя к массе машины N/m , или энергонасыщенность агрегата. Обеспечение высоких показателей эффективности целесообразно осуществлять за счет определенного увеличения мощности при сохранении неизменной оптимальной массы машины. Машина с оптимальной массой в пределах изменения величины $m_{\text{опт}} = + 5... 7 \%$ от оптимального значения $m_{\text{опт}}$ эффективно работает в широком диапазоне изменения удельных сопротивлений грунта копанию в пределах $+ 25... 29 \%$ от средних значений, по которым была установлена величина $m_{\text{опт}}$.

Выбор землеройной машины из имеющихся в парке или на рынке следует осуществлять по величинам $m_{\text{опт}}$ и $(N/m)_{\text{опт}}$, рассчитанным по среднемаксимальным наиболее вероятным факторам, определяющим условия эксплуатации, в которых машину предполагается использовать. Из имеющихся выбирают машину с параметрами m и N/m , ближайшими к расчетным $m_{\text{опт}}$ и $(N/m)_{\text{опт}}$. При выборе машины с параметрами, ближайшими к оптимальным, расчет следует уточнять по экономическим показателям (стоимость машины, себестоимость единицы продукции). Предпочтение следует отдать машине той фирмы, которая обеспечит выбранной машине качественный сервис и поставку запчастей на весь период срока службы.

Разработанная методика обеспечивает установление условий эксплуатации, в которых землеройная машина с заданными параметрами позволяет получить наибольший эффект. Эксплуатация техники вне рекомендуемых параметров и условий приводит к потере производительности, росту ресурсозатрат и снижению прибыли.

Метод анализа продолжительности времени рабочего цикла машины осуществляется последовательно. Определяется место машины в технологическом процессе. Устанавливается структурная модель процесса. Устанавливается последовательность выполнения операций в структуре рабочего цикла, возможность их совмещения и вероятность появления. Формируются математические модели для расчета продолжительности времени каждой операции в зависимости от технических и эксплуатационных параметров системы. Формируется математическая модель для расчета продолжительности времени всего рабочего цикла. Осуществляется анализ полученной функции и оптимизация значений влияющих факторов. Адекватность результата метода минимизации продолжительности рабочего цикла машины эксперименту зависит от ряда факторов. От степени подобия математических моделей процессу. От точности определения безразмерных и размерных коэффициентов учитывающих условия эксплуатации. На эти факторы необходимо обратить внимание при расчетах.

Традиционные механические методы копания грунтов землеройными

машинами практически исчерпали возможности существенной интенсификации процессов разработки грунта на основе совершенствования традиционного рабочего органа. Рабочие органы землеройных машин с традиционным воздействием на грунт хорошо изучены. Исследования в этой области выполнены в основном во второй половине XX столетия в Советском Союзе отечественными учеными Н.Г. Домбровским, А.Н. Зелениным, Ю.А. Ветровым и др. Установлены рациональная геометрия, размеры, форма, скоростные режимы рабочих органов экскаваторов, бульдозеров, рыхлителей и другой землеройной техники.

Дальнейшее существенное повышение эффективности земляных работ связывают с реализацией перспективных тенденций развития машиностроения: компьютеризации (широкое использование бортовых компьютеров и др.), интеллектуализации (создание самообучающейся и самотрансформирующейся техники), гибридизации (создание многоцелевой техники), создание широкой номенклатуры легко сменяемых рабочих органов различного назначения, экологизации (создание машин с безотходной технологией работ), эргономизации (обеспечение высокого уровня комфорта и безопасности для оператора и др.), повышения надежности и ресурса техники, обеспечения сервисного сопровождения и запчастями в течение срока службы машины, оптимизации параметров машин (использование существующей техники в условиях, где она дает наибольший эффект и совершенствование технико-эксплуатационных параметров машин).

Использование достижений фундаментальных наук и физико-технических эффектов (нанотехнологических материалов, газовой динамики, ультра- и инфракрасных колебаний, СВЧ) открывает новые пути повышения эффективности землеройной техники. Использование для привода машин энергосовершенных и экологически чистых двигателей важный фактор интенсификации строительства.

Наиболее доступным и менее затратным методом интенсификации землеройной техники является компьютерная реализация управления рабочим процессом в зависимости от условий эксплуатации. На современном этапе развития строительной и дорожной техники появилась возможность интеллектуа-

лизации процесса землеройных работ. Встраиваемые в рабочие органы землеройных машин датчики позволяют с помощью системы спутниковой навигации (ГЛОНАСС, GPS) определять не только место нахождения машины, производить диагностику и ТО основных ее систем, но и передавать на центральный пункт управления такие важные сведения об эксплуатации машины как характеристики разрабатываемой среды, режимы работы двигателя, продолжительность работы, простоя машины и соответствие работы машины проекту. Используя приведенный в настоящем пособии аналитический аппарат, можно выбрать наиболее эффективную машину и добиться получения максимально эффективной эксплуатации парка машин, используемых предприятием. Интеллектуализация землеройной техники обеспечивает повышение качества работ и снижение уровня криминализации строительства.

Совершенствование землеройной техники связано с удорожанием систем. В этих условиях большое значение приобретает методы использования виртуальных перенастраиваемых моделей инновационных систем. Материал, рассмотренный в учебном пособии, будет способствовать активизации студентов, магистрантов, аспирантов, докторантов и инженерно-технических работников по созданию и совершенствованию землеройной техники.

Фронтальные одноковшовые погрузчики

Модель	Грузо-подъемность, кг	Вместимость ковша, м ³	Ширина ковша, м	Высота выгрузки, м	Двигатель	Мощность, кВт/л.с.	Скорость вперед/назад, км/ч	Масса, кг	Габарит, м	Производитель
К-700Т-04-ПК	6000	3,0	2,97	3,2	ЯМЗ-238НД4	184/250	35/33	21000	8,86x2,97x3,74	ТЗТМ, г. Тихвин
Д-3365	6300	3,0	3,09	3,215	Cummins 6СТА	169/230	36/36	20900	8,27x3,09x3,87	«Дормаш», Орел
ДЗ-133 (А-133)	750	0,44	1,6	2,6	Д-243	57,4/78	33,4/9	4945	5,64x2,37x3,195	«Амкодор», г. Минск, Беларусь
Амко дор-320	1800	0,95	2,0	2,55	Д-245.43Б2	60/81	28/28	5500	6,15x2,0x2,75	
ТО-18К (А-325)	2500	1,4	2,5	2,63	Д-245	73,6/100	25/25	8700	6,48x2,5x3,3	
Амко дор-3 32В	3400	1,9	2,5	2,8	Д-260.2	98/133	36/36	10500	7,1x2,5x3,4	
ТО-18Б2(А-333А)	3400	1,9	2,5	2,8	А-01МКС	95/130	40/40	10700	7,1x2,5x3,4	
ТО-28А(А-342В)	4000	2,3	2,55	3,07	Д-260.1.4	109/148	36/36	12300	7,24x2,55x3,45	
Амкодор-352	5000	2,6	2,65	3,07	Д-260.9	132/180	35/35	13500	7,9x2,65x3,45	
Амкодор-361	6000	3,4	3,09	3,215	ЯМЗ-238НДЗ	172/235	36/36	20500	8,17x3,09x3,58	
Амкодор-371	7000	3,8	3,19	3,125	Cummins 6СТА	194/264	30/30	21000	8,9x3,19x3,87	
В138	4000	2,2	2,6	3,15	ЯМЗ-236М2	132/180	30/20	14540	7,65x2,63x3,8	
В140	4000	2,5	2,5	3,05	ЯМЗ-236М2-4	132/180	36,5/21	14600	7,86x2,53x3,85	
В160	6200	3,4	2,9	3,2	Cummins 6СТ8.3	160/215	37/26	20100	9,0x3,05x4,0	
В160.20	6200	3,4	2,9	3,2	ЯМЗ-238М2	176/240	36/25,3	20570	9,0x3,05x4,0	

Продолжение приложения А1

В175	7500	4,2	3,22	3,3	ЯМЗ-238БЕ2	220/300	32/23	26000	9,3х3,23х3,9	
В190	9000	5,0	3,21	3,1	ЯМЗ-238Д-2	243/330	34/24	27000	10,2х3,23х4,03	
МоАЗ-40484	7500	3,7	3,3	3,455	ЯМЗ-238Б	220/300	46/6,8	37000	9,52х3,3х3,75	МоАЗ, Беларусь
БелАЗ-7822	10000	6	3,9	4,05	ЯМЗ-8424.10	312/425	32/25	53000	11,64х3,9х4,15	БелАЗ, Беларусь
ПК-60.01Я	6000	3,7	3,18	3,106	ЯМЗ-238НД4	184/250	37/26,1	21440	8,745х3,18х3,895	«Промтрактор»,
ПК-12.02	12000	5,5	4,06	4,102	ЯМЗ-850.10-01	383/520	25,9/35	52900	10,76х4,06х4,76	г. Чебоксары

Виброкатки тандемные

Виброкатки тандемны модель	Масса, кг	Распределение массы на вальцы, кг	Экспл. мощность, кВт/л. с.	Ширина и диаметр вальца, м	Амплитуда колебаний вальца, мм	Частота колебаний, Гц,	Центробежная сила вибратора, кН	Габаритные размеры (длинах ширинах высота), мм	Скорость рабочая трансп., км/ч	Радиус поворота, м	Производитель
КВ Д-1-1,5-02	1350	475+665	8/11	0,75x0,5	н.д.	55	16	2470x895x1550	6	4,5	«Ирмаш»
RV-1,5DD-01	1500	750+750	14/18	0,85x0,68	0,3	55	12	2400x1050x2560	11	3,4	
RV-1,7DD-01	1700	850+850	14/18	0,85x0,68	0,3	55	12	2400x1050x2560	11	3,4	«Раскат»,
RV-2,0DD-01	2000	1000+1000	14/18	1,0x0,68	0,3	55	20	2400x1200x2560	9	3,5	г. Рыбинск
RV-2,2DD-01	2200	1100+1100	14/18	1,0x0,68	0,3	55	20	2400x1200x2560	9	3,5	
RV-2,4DD-01	2400	1200+1200	14/18	1,2x0,68	0,3	55	25	2400x1320x2560	9	3,6	
RV-3,5DD-01	3500	1750+1750	25,7/35	1,3x0,8	0,48	64	32	2950x1400x2900	8,4	4,5	
ДУ-82	3500	1750+1750	25,7/35	1,3x0,8	0,48	64	32	2950x1400x2900	8,4	4,5	
RV-7-DD-01	7500	3750+3750	70,6/96	1,7x1,2	0,8/0,4	40/55	77/57	4900x1800x2800	6/12	8,0	
ДУ-96	7800	3900+3900	44/60	1,5x1,07	0,54/0,27	40/50	57/44	4050x1850x3500	5,5/10,5	5,8	
RV-8-DD-01	8000	4000+4000	70,6/96	1,7x1,2	0,8/0,4	40/55	77/57	4900x1800x2800	6/12	8,0	
RV-9-DD-01	9000	4500+4500	70,6/96	1,7x1,2	0,8/0,4	40/55	88,5/65	4900x1800x2800	6/12	8,0	
RV-10-DD-01	10000	5000+5000	70,6/96	1,7x1,2	0,8/0,4	40/55	88,5/65	4900x1800x2800	6/12	8,0	
RV-11-DD-01	11000	5500+5500	70,6/96	1,7x1,2	0,8/0,4	40/55	100/79	4900x1800x2800	6/12	8,0	
ДУ-98	11500	5750+5750	57,5/78	1,7x1,2	0,7/0,39	40/50	75/42	3920x2200x3500	7/10	6,0	
CA242K	2500	1250+1250	21,3/29	1,2x0,7	0,5	58	30	2435x1290x2697	11	3,72	«Саста»,
W854-2	8950	4475+4475	54/75	1,6x1,2	0,26/0,65	33/50	55/49	4140x2070x3000	9/12	5,0	Рязанская обл
W1103	11100	5800+5300	85/116	2,1x1,5	1,6/0,6	28/36	210/107	5500x2250x3140	6,5/11,5	6,84	
A-6223A	2700	1350+1350	18/25	1,26x0,7	0,24	43	21	2470x1420x1800	7,5	4,7	«Амкодор»,
A-6622A	10000	5000+5000	57,5/78	1,68x1,1	0,75/0,41	40/50	70/60	4100x2260x3490	6,6/13,5	6,0	Минск

Катки грунтовые

Модель	Колесная формула или тип	Масса, кг	Распределение массы на оси, кг	Экспл. мощность, кВт/л.с. или тягач	Ширина и диаметр вальца, м	Обозначение шин	Амплитуда колебаний вальца, мм	Частота колебаний, Гц	Центробежная сила вибратора, кН	Габаритные размеры (длинах ширинах высота), мм	Скорость рабочая трансп., км/ч	Радиус поворота, м	Производитель
ДУ-94	Прицеп	8200	8200	44/60	2,0x1,6	-	2,4	25	150	5000x2200x1700	8/18	-	«Раскат», Рыбинск
ДУ-85	3x3	13000	7000+6000	109/149	2,0x1,6	16.00-24	2,4	24	150	6000x2400x3200	5,4/8	7,0	
RV-13DT-01	3x3	13000	8450+4550	129/175	2,2x1,6	16.00-24	1,9/0,9	28/35	255/180	6350x2350x3000	6/10	6,0	
RV-14DT-01	3x3	14000	9450+4550	129/175	2,2x1,6	16.00-24	1,9/0,9	28/35	265/190	6350x2350x3000	6/10	6,0	
RV-15DT-01	3x3	15000	10450+4550	129/175	2,2x1,6	16.00-24	1,9/0,9	28/35	280/195	6350x2350x3000	6/10	6,0	
RV-16DT-01	3x3	16000	11450+4550	129/175	2,2x1,6	16.00-24	1,9/0,9	28/35	290/205	6350x2350x3000	6/10	6,0	
RV-17DT-01	3x3	17000	12450+4550	155/211	2,2x1,6	16.00-24	1,9/0,9	28/35	350/240	6350x2350x3000	6/10	6,0	
RV-18DT-01	3x3	18000	13450+4550	155/211	2,2x1,6	16.00-24	1,9/0,9	28/35	360/250	6350x2350x3000	6/10	6,0	
RV-19DT-01	3x3	19000	14450+4550	155/211	2,2x1,6	16.00-24	1,9/0,9	25/30	355/250	6350x2350x3000	6/10	6,0	
RV-20DT-01	3x3	20000	15450+4550	155/211	2,2x1,6	16.00-24	1,9/0,9	25/30	365/260	6350x2350x3000	6/10	6,0	
RV-21DT-01	3x3	21000	16450+4550	155/211	2,2x1,6	16.00-24	2,2/1,0	25/30	420/280	6350x2350x3000	6/10	6,0	
С Д-801	Прицеп	7000	7000	Т-150К	2,0x1,6	-	1,8±0,3	25	150	4300x2100x2000	8/18	-	Волгодонский машзавод
СД-130	Прицеп	10000	10000	Т-170	2,15x1,6	-	1,8±0,3	25	180	3850x2310x1600	6/10	-	
А-6712В	3x3	12100	7100+5000	73,5/100	2,1x1,5	21.3R24	1,9/0,9	28/32	220/120	5540x2318x3485	5,5/10,5	6,5	«Амкодор», г. Минск
А-6811	3x3	16000	н.д.	109/149	2,2x1,5	21.3R24	1,8/0,9	30/36	280/200	5540x2318x3485	5,5/10,5	7,0	
ВК-24.01.01	3x3	23000	12700+10300	169/230	2,875x1,58	20.5-25	1,98/1,39	18/30	360/180	6740x3200x3570	5,0/8,0	6,2	«ЧТЗ-Уралтрак»
ВК-24.01.02	3x3	24900	14600+10300	169/230	2,875x1,836	20.5-25	1,98/1,39	18/30	360/180	6740x3200x3570	5,0/8,0	6,2	
МоА3-64428-9890	3x2	40500	15500+25000	165/225	2,6x1,22	21.00-28, 14.00-20	-	-	-	9625x2810x3300	5/20	7,0	МоА3

Катки комбинированные вибрационные и статические пневмоколесные

Модель	Экспл. масса, кг	Распределение массы на валец и колеса, кг	Экспл. мощность, кВт/ л.с.	Ширина и диаметр вальца/ пневмоколеса, м	Количество шин	Обозначение шин	Амплитуда колебаний вальца, мм	Частота колебаний, Гц	Центробежная сила вибратора, кН	Габаритные размеры (длинах ширинах высота), мм	Скорость рабочая трансп., км/ч	Радиус поворота, м	Производитель
RV-3-DS-01	3000	1500+1500	25,7/35	1,3x0,8/0,78	4	7.50-15SMC1	0,48	64	32	2950x1400x2900	9,0	4,5	
RV-7-DS-01	7500	3750+3750	70,6/96	1,7 1,2/1,07	4	11.00-20	0,8/0,4	40/55	77/57	5300x1800x2800	6/12	8,0	
ДУ-97	7600	4200+3400	44/60	1,5x1,07	4	11.00-20	0,54/0,27	40/50	57/44	4050x1850x3050	5,5/10,5	5,8	
RV-8-DS-01	8000	4000+4000	70,6/96	1,7x1,2/1,07	4	11.00-20	0,8/0,4	40/55	77/57	5300x1800x2800	6/12	8,0	«Раскат»
RV-9-DS-01	9000	4500+4500	70,6/96	1,7x1,2/1,07	4	11.00-20	0,8/0,4	40/55	88,5/65	5300x1800x2800	6/12	8,0	г. Рыбин
RV-10DS-01	10000	5000+5000	70,6/96	1,7x1,2/1,07	4	11.00-20	0,8/0,4	40/55	88,5/65	5300x1800x2800	6/12	8,0	
ДУ-99	10500	5800+4700	57,5/78	1,7x1,2/1,07	4	11.00-20	0,7/0,39	40/50	75/42	3920x2200x3500	7/10	6,0	
RV-11DS-01	11000	5500+5500	70,6/96	1,7x1,2/1,07	4	11.00-20	0,8/0,4	40/55	88,5/65	5300x1800x2800	6/12	8,0	
ДУ-84	14000	7000+7000	109/149	2,0x 1,6	4	11.00-20	2,4/0,84	24/33	150/30	6000x2400x3200	5,4/8	7,0	
ДУ-100	14000	7000+7000	57,5/78	2,0x1,07	8	11.00-20	-	-	-	4800x2200x3500	5,5/20	6,0	
A-6632	9200	4600+4600	57,5/78	1,68x1,1	4	11.00-20	0,75/0,41	40/50	70/60	4100x2260x3490	6,5/13	6,0	«Амкодс»
A-6641	9600	4800+4800	57,5/78	1,8x1,07	7	11.00-20	-	-	-	4610x2240x3490	9,6/19,2	6,5	

Уплотнители (компакторы) промышленных и бытовых отходов

Мо- дель	Ко- лесная фор- мула	Эксплу- атаци- онная масса, кг	Рас- преде- ление массы на оси, кг	Эксплуа- тацион- ная мощ- ность, кВт/л.с.	Длина и вы- сота отвала, м	Шири- на и диа- метр вальца, м	Пре- одоле- ваемый подъем, град.	Угол попе- речной устой- чивости,	Дорож- рож- ный про- свет, мм	Габаритные размеры (длина x ширина x вы- сота) без отвала, мм	Скорость рабочая транс- портная, км/ч	Наруж- ный радиус пово- рота, м	Произво- дитель
БКК-1	4x4	21555	8112+ 13443	169/230	3,35x 1,75	-	20	41	540	7385x3230x3643	4,3/8	7,224	«ЧТЗ- Урал- трак»
РЭМ- 25	2x2	26000	13000+ 13000	220/300	3,7x1,0	2,4x1,6	45	15	980	9200x3300x4150	4,5/7,5	8,75	«Раскат»

Экскаваторы-погрузчики

Модель	Базовый трактор	Экскаватор				Погрузчик			Эксплуатационная мощность, кВт/л.с.	Транспортная скорость, км/ч	Габаритные размеры, м	Масса, кг	Изготовитель
		емкость ковша, м ³	глубина копания, м	радиус копания, м	высота выгрузки, м	емкость ковша, м ³	высота выгрузки, м ³	вирина ковша, м					
ЭОП-2621В2	ЗТМ-62Л	0,25	4,15	5,3	3,2	0,63	3,3	2,0	44,1/60	19	8,77х2,2х3,8	6700	ЗТМ, г. Омск
ЭБП-5	МТЗ-82П	0,25	4,28	5,37	3,8	0,5	2,65	2,0	57,4/78	33,4	7,295х2,26х3,63	6700	«Беловеж»
ЭБП-7	МТЗ-82	0,25	4,43	5,35	3,4	0,5	2,65	2,0	57,4/78	33,4	6,1х2,24х3,48	6700	«Беловеж»
ДЭМ-114	МТЗ-82П	0,25	4,42	5,35	3,4	0,8	2,64	2,2	57,4/78	33,4	6,1х2,24х3,48	6500	«Дорэлектромаш»
ТО-49 (А-702)	МТЗ-82	0,28	4,2	5,45	3,5	0,44	2,6	1,6	57,4/78	18	7,63х2,5х3,8	6350	«Амкодор»
ЭО-2626	МТЗ-82	0,28	4,15	5,3	3,2	0,5	2,5	1,2	57,4/78	20	8х2,25х3,8	7120	«Сарэкс», г. Саранск
ЭО-2626А	МТЗ-82	0,28	4,15	5,3	3,2	0,5	2,5	1,2	57,4/78	20	6,6х2,25х3,8	7400	«Сарэкс», г. Саранск
Lex ЭО-2626	ЮМЗ-6АКМ	0,28	4,3	5,2	3,7	0,38	2,68	1,6	44,1/60	24,9	8х2,25х3,8	6400	«LEX»
Lex ЭО-2626	МТЗ-80УК	0,28	4,3	5,2	3,7	0,48	2,68	2,0	57,4/78	33,4	8х2,25х3,8	6400	«LEX»
Борекс-2101	ЮМЗ-8244.2	0,28	4,3	5,5	3,6	0,8	3,0	2,2	57,4/78	30	8,0х2,2х3,8	6700	«Борекс», Бородеянка
Борекс-2106	ЮМЗ-8244.2	0,28	4,3	5,5	3,6	0,8	3,0	2,2	57,4/78	20	6,4х2,2х3,8	7100	«Борекс», Бородеянка
Борекс-2201	МТЗ-82.2	0,28	4,3	5,5	3,6	0,8	3,0	2,2	57,4/78	33,4	8,0х2,2х3,8	6600	«Борекс», Бородеянка
Борекс-2206	МТЗ-82.2	0,28	4,3	5,5	3,6	0,8	3,0	2,2	57,4/78	33,4	6,4х2,2х3,8	7000	«Борекс», Бородеянка
Борекс-3106	Спецшасси	0,28	4,3	5,5	3,6	1,1	2,9	2,25	57,4/78	30	6,4х2,3х3,7	8000	«Борекс», Бородеянка
ЭО-2626	МТЗ-82.1	0,28	4,25	5,3	3,2	0,8	4,0	н.д.	57,4/78	20	8,5х2,5х3,9	6700	«Златэкс», г. Златоуст
ЭО-3626	МТЗ-1221	0,32	4,25	5,3	3,2	1,0	4,0	Н.д.	95,6/130	20	8,5х2,5х3,9	9000	«Златэкс», г. Златоуст
АТЕК-999Е	Спецшасси	0,32	4,8	5,63	3,5'4	1,0	2,64	2,24	57,4/78	30,3	7,67х2,28х3,65	7780	«АТЕК», г. Киев
ПК-301	Шарнирно-сочлененное шасси	0,48	4,2	5,6	3,5	1,5	2,75	2,45	77/105	30	6,4х2,45х3,6	11500	«Муроммашзавод»

Технические параметры тракторных двигателей

Производитель, модель	Тип двигателя	Число цилиндров	Степень сжатия	Номинальная мощность при частоте вращения,			Макс, крутящий момент при частоте вращения,			Расход, топлива, кВт • ч	Масса, кг	Габаритные размеры: длина x ширина x высота, мм
				кВт	л. с.	мин ⁻¹	Нм	кгс-м	мин ⁻¹			
ТМЗ-450Д-04	Д	1В	н.д.	8,1	И	3600	26	2,65	2600	280	62	410x465x545
ТМЗ-520Д-05	Д	1В	н.д.	8,8	12	3000	31	3,16	2300	263	63	410x465x551
ЧТЗ В2Ч 8,2/7,8	Д	2V	н.д.	8,83	12	3000	38	3,9	1700	258	85	455x550x510
ВТЗ Д-120-36	Д	2РВ	16,5	19,5	26,5	1800	103	10,5	1260	241	264	689x628x865
ВТЗ Д-120	Д	2РВ	16,5	23,5	32	2000	111	11,3	1400	245	264	689x628x865
ВТЗ Д-130	Д	3РВ	н.д.	34	46	2000	174	17,7	1400	241	323	772x672x860
ВТЗ Д-130Т	ДТН	3РВ	н.д.	44,5	60,5	2000	231	23,5	1500	230	347	801x672x846
ВТЗ Д-144-80	Д	4РВ	16,5	31	42	1600	184	19	1200	239	375	919x741x848
ВТЗ Д-144-32	Д	4РВ	16,5	39	53	1800	205	21	1300	241	375	919x741x848
ВТЗ Д-144-09	Д	4РВ	16,5	46	63	2000	221	22,5	1500	242	375	919x741x848
ВТЗ Д-145Т	ДТН	4РВ	16,5	59	80	2000	284	29	1300	235	400	1045x728x920
РМЗ Д-65М	Д	4РВ	17,3	45,6	62	1750	290	30	1200	232	492	1081x610x1292
РМЗ Д-65Н	Д	4РВ	17,3	45,6	62	1750	290	30	1200	232	570	1236x652x1292
ММЗ Д-241 Л	Д	4РВ	16	52,9	72	2100	269	27,5	1400	220	490	993x631x1255
ММЗ Д-242С	Д	4РВ	16	47,5	65	1800	288	29	1500	220	430	993x631x1255
ММЗ Д-243С	Д	4РВ	16	60	81,6	2200	290	30	1400	220	430	993x631x1255
ММЗ Д-244С	Д	4РВ	16	44	60	1700	278	28	1400	220	430	993x631x1255
ММЗ Д-245С	ДТН	4РВ	15,1	79	107	2200	390	40	1400	220	450	1046x689x1335
ММЗ Д-260.1С	ДТН	6РВ	15	116	158	2100	616	63	1400	221	650	1277x670x1111
ММЗ Д-260.2С	ДТН	6РВ	15	98	133	2100	528	54	1400	226	650	1208x670x1111
ММЗ Д-260.9-57	ДТН	6РВ	15	136	185	2100	716	73	1400	215	650	1277x670x1111
ММЗ Д-260.4С2	ДТНПО	6РВ	н.д.	156	212	2100	900	91,7	1400	220	700	1277x670x1111

Продолжение приложения А7

Производитель, модель	Тип двигателя	Число цилин- дров	Сте- пень сжа- тия	Номинальная мощность при частоте вращения,			Макс, крутящий момент при частоте вращения,			Расход, Г кВт ч	Масса, кг	Габаритные размеры: длина x ширина x высота, мм
				кВт	л. с.	мин ¹	Нм	кгс-м	мин ¹			
ММЗ Д-260.7С2	ДТНПО	6РВ	н.д.	184	250	2100	990	101	1400	218	750	1277x670x1111
СМД-18Н	ДТНПО	4РВ	15,5	73,6	100	1800	426	43,4	1350	224	720	1060x765x1104
АМЗ А-41	Д	4РВ	16	69	94	1750	433	44,2	1300	217	960	1428x797x1072
АМЗ Д-440-11	дтн	4РВ	16	93,5	127	1750	587	60	1300	220	940	1428x763x1388
АМЗ Д-440-22	Дтн	4РВ	16	84,6	115	1800	532,5	54,3	1300	220	940	1428x786x1388
АМЗ Д-442-47	ДТНПО	4РВ	16	115	157	1850	710	72,4	1400	220	770	1317x767x1280
АМЗ Д-442ВИ	ДТНПО	4РВ	16	116	158	1850	706	72	1400	220	934	1598x833x1158
АМЗ-442ВСИ	ДТНПО	4РВ	16	125	170	2000	720	73,4	1500	220	928	1401x810x1158
АМЗ Д-340Т	дтн	4РВ	н.д.	147	200	2100	843	86	1300	198	600	1080x660x1005
АМЗ А-01М	д	6РВ	16	99	135	1700	683	69,6	1300	221,5	1200	1777x825x1423
АМЗ Д-461-11	дтн	6РВ	16,5	118	160	1700	906	92,4	1300	215	1203	1777x796x1252
АМЗ Д-461 ВИ	ДТНПО	6РВ	16,5	147	200	2000	900	91,8	1600	215	1240	1569x883x1204
АМЗ Д-461ВСИ	ДТНПО	6РВ	16,5	162	220	2000	926	94,5	1500	215	1209	1569x826x1204
АМЗ Д-461-51	ДТНПО	6РВ	16,5	173	235	2000	950	96,8	1550	215	1203	2086x768x1174
ХЗТД СМД-60	дтн	6V90	15	118	160	2000	608	62	1450	228	955	1348x989x1132
ХЗТД СМД-63	ДТН	6V90	15	129	175	2100	638	65	1400	228	920	1371x914x1132
ХЗТД СМД-63А.02	ДТНПО	6V90	15	132,5	180	1900	760	77,5	1450	223	1035	1649x989x1132
КамаЗ-740.02-180	дтн	8V90	н.д.	132	180	2200	657	67	1400	224	740	1103x897x1210
КамаЗ-740.22-240	ДТНПО	8V90	16	176	240	2000	980	100	1400	215	880	1118x897x1050
ЯМЗ-236ЕК	д	6V90	н.д.	110	150	1750	667	68	1150	220	990	1470x1045x1030
ЯМЗ-236Д-2	д	6V90	16,5	129	175	2100	716	73	1300	220	890	1020x1040x1070
ЯМЗ-236ДК-4	д	6V90	16,5	136	185	2000	716	73	1300	220	1065	1530x980x1030
ЯМЗ-238КМ2-2	д	8V90	16,5	140	190	2100	687	70	1250	224	1075	1194x1006x1220
ЯМЗ-238АМ2	д	8V90	16,5	165	225	2100	824	84	1250	228	1075	1200x1006x1072
ЯМЗ-238АК	д	8V90	н.д.	173	235	2000	932	95	1300	220	1250	2100x980x1030

Продолжение приложения А7

Производитель, модель	Тип двигателя	Число цилин- дров	Диаметр и ход поршня, мм	Рабо- чий объ- ем, л	Сте- пень сжа- тия	Номинальная мощность при частоте вращения,			Макс, крутящий момент при частоте вращения,			К _з , %	о О	Рас ход, г кВт • ч	Мас са, кг	Габаритные размеры: длина х ширина х высота, мм
						кВт	л. с.	мин ¹	Нм	кгс-м	мин ¹					
ЯМЗ-238НДЗ	ДТН	8V90	130x140	14,86	16,5	173	235	1700	1108	113	1100	н.д.	Ж	220	1135	1346x1045x1072
ЯМЗ-238НД4	дтн	8V90	130x140	14,86	16,5	184	250	1900	1108	113	1100	н.д.	ж	220	1135	1346x1045x1072
ЯМЗ-238БК	ДТН	8V90	130x140	14,86	н.д.	213	290	2000	1128	115	1300	н.д.	ж	216	1300	2100x1045x1072
ЯМЗ-238ДК	дтн	8V90	130x140	14,86	н.д.	243	330	2000	1294	132	1300	н.д.	ж	216	1300	1840x1045x1072
ЯМЗ-238Б-21	дтн	8V90	130x140	14,86	15,2	220,6	300	2000	1177	120	1200	н.д.	ж	224	ИЗО	1320x1045x1130
ЯМЗ-240БМ2	Дтн	12V75	130x140	22,3	16,5	220,6	300	1900	1275	130	1300	н.д.	ж	265	1670	1688x1016x1374
ЯМЗ-7511.10-18	дтнпо	8V90	130x140	14,86	16,5	260	354	1700	1650	168	1200	н.д.	ж	209	1250	1425x1045x1100
ЯМЗ-850.10	дтнпо	12V90	140x140	25,86	н.д.	412	560	1900	2695	275	1300	н.д.	ж	211	2050	1910x1230x1300
ЯМЗ-8501.10	дтн	12V90	140x140	25,86	н.д.	324	440	1800	2230	227	1300	н.д.	ж	211	2020	1910x1230x1300
ЯМЗ-8502.10	дтнпо	12V90	140x140	25,86	н.д.	478	650	2100	2450	250	1300	н.д.	ж	219	2050	1910x1230x1300
ТМЗ-8423	дтн	8V90	140x140	17,24	15,2	257	350	1900	1570	160	1300	н.д.	ж	220	1410	1521x1008x1210
ЧТЗ Д-160.01	дтн	4РВ	150x205	14,48	14	128,7	175	1250	1170	119	800	15	ж	218	1571	1795x1187x1741
ЧТЗ Д-180.000	м дтн	4РВ	150x205	14,48	н.д.	132	180	1250	1300	133	900	25	ж	218	1890	1730x1190x1730
ЧТЗ В-31 М2	д	12V60	150x180	38,88	15	246	335	1400	1715	175	1000	11	ж	224	1000	1794x825x897
ЧТЗ В-35ИН	д	12V60	150x180	38,88	н.д.	276	375	1400	н.д.	н.д.	н.д.	8,5	ж	220	1100	1900x896x1095
ВгМЗ В-400	дтнпо	8V90	150x160	22,6	14,5	305	415	1750	1668	170	1250	12	в	240	2130	2230x1210x1500
ЧДЗ 6V396ТС4	дтнпо	6V	165x185	23,7	15	308	420	1700	2249	229	1300	30	ж	218	1970	1745x1352x1517
ЧДЗ 8V396ТС4	дтнпо	8V	165x185	31,6	17,8	386	525	1850	2590	264	1400	30	ж	218	2530	1975x1352x1536
ЧДЗ 12V396ТС4	дтнпо	12V	165x185	47,5	17,8	600	816	1800	4138	422	1400	30	ж	218	3460	2515x1526x1670
ВД 6ЧН21/21 (210 Д)	дтнпо	6РВ	210x210	43,64	н.д.	450	612	1000	4710	480	800	н.д.	ж	210	4275	3400x1042x1872
ВД 6ЧН21/21	дтнпо	6РВ	210x210	43,64	н.д.	710	966	1400	5150	525	1000	н.д.	ж	200	4275	3400x1042x1872
ВД 6ДМ-21-Б	дтнпо	6V	210x210	43,64	н.д.	831	ИЗО	1500	5393	550	1500	н.д.	ж	199	5260	1495x1590x2606
ВД 6ДМ-21БМФ	дтнпо	6V	210x210	43,64	н.д.	965	1312	1500	6668	680	1500	н.д.	ж	208	5260	1495x1590x2606

Примечание: Д – дизель; ТН – турбонаддув; ПО – промощление; М – многотопливный; РВ – рядное вертикальное; V90 – V-образное под углом 90°; К_з – коэффициент запаса крутящего момента; Ж – жидкостное; В – воздушное; н.д. нет данных.

Одноковшовые неполноповоротные экскаваторы на базе колесных тракторов

Модель	Базовый трактор	Экскаватор				Бульдозер			Эксплуатационная мощность, кВт/л.с.	Транспортная скорость, км/ч	Габаритные размеры, м	Масса, кг	Изготовитель
		вместимость ковша, 3 м	глубина копания, м	радиус копания, м	высота выгрузки, м	ширина отвала, м	глубина резания, м	угол поворота, град.					
ЭО-1621	МТЗ-82.1	0,14	3,4	4,5	3,0	1,98	0,1	30	57,4/78	33,4	8,528x1,97x2,785	6000	«Лесхозмаш»
Борекс-2102	ЮМЗ-8244.2	0,28	4,3	5,5	3,6	2,2	0,1	-	57,4/78	32,52	7,2x2,2x3,8	6100	«Борекс», Бородянка
Борекс-2103	ЮМЗ-8244.2	0,28	4,3	5,5	3,6	2,5	0,1	30	57,4/78	32,52	7,2x2,32x3,8	6000	«Борекс», Бородянка
Борекс-2106/3	ЮМЗ-8244.2	0,28	4,3	5,5	3,6	2,5	0,1	30	57,4/78	32,52	6,4x2,32x3,8	6700	«Борекс», Бородянка
Борекс-2202	МТЗ-82.2	0,28	4,3	5,5	3,6	2,2	0,1	-	57,4/78	33,4	7,2x2,2x3,8	6000	«Борекс», Бородянка
Борекс-2203	МТЗ-82.2	0,28	4,3	5,5	3,6	2,5	0,1	30	57,4/78	33,4	7,2x2,32x3,8	6000	«Борекс», Бородянка
Борекс-2206/3	МТЗ-82.2	0,28	4,3	5,5	3,6	2,5	0,1	30	57,4/78	33,4	6,4x2,32x3,8	6500	«Борекс», Бородянка
ЭО-2621В2	ЗТМ-80	0,25	4,15	5,3	3,2	2,0	0,05	-	61/83	20	7,0x2,0x3,8	6100	ЗТМ, Омск
ПЭ-Ф-1Б обратил.	ЗТМ-60Л	0,27	2,5	3,9	2,5	2,0	0,05	-	44,1/60	24,5	5,5x2,25x3,7	6000	Юргинский машзавод
ПЭ-Ф-1Б грейфер	ЗТМ-60Л	0,56	2,5	3,9	3,7	2,0	0,05	-	44,1/60	24,5	4,99x2,25x3,7	6000	Юргинский машзавод
ЭО-2621В3	ЮМЗ-611	0,28	4,25	5,3	3,2	2,3	0,05	-	44,1/60	20	7,0x2,5x3,9	6100	«Златекс», Златоуст
ЭО-2621В3-ЗЛ	ЛТЗ-60АВ	0,28	4,25	5,3	3,2	2,3	0,05	-	42/57,5	20	6,7x2,5x3,9	5500	«Златекс», Златоуст
ЭО-2621В-3	МТЗ-82.1	0,28	4,25	5,3	3,2	2,3	0,05	-	57,4/78	20	7,0x2,5x3,9	6600	«Златекс», Златоуст

Продолжение приложения А8

ЭО-2621В-3	Foton FT	0,28	4,25	5,3	3,2	2,3	0,05	-	60,3/82	20	7,0x2,5x3,9	6100	«Златекс», Златоуст
ЭО-2621В-3	ЮМЗ-6	0,28	4,15	5,3	3,2	2,0	0,05	-	44,1/60	20	7x2,5x3,8	6100	«Сарэкс», г. Саранск
ТО-49-40 (А-702В)	МТЗ-82УК	0,28	4,2	5,45	3,5	2,55	н.д.	-	57,4/78	18	6,75x2,55x3,8	6300	«Амкодор»
Lex ЭО-2621МСТ	ЛТЗ-60АВ	0,28	4,3	5,2	3,7	2,0	0,05	-	12/57,5	30	6,7x2,5x3,8	6100	«LEX»
БехЭО-2621	ЮМЗ-6АКМ	0,28	4,3	5,2	3,7	2,0	0,05	-	44,1/60	32,35	6,9x2,4x3,8	5600	«LEX»
ЭО-2621В-3	ЮМЗ-6	0,32	4,0	5,3	3,0	2,0	0,05	-	44,1/60	20	7x2,5x3,8	6100	«Сарэкс», г. Саранск
АТЕК-999Е	Спецшасси	0,32	4,8	5,63	3,54	2,0	0,05	-	57,4/78	30,3	7,67x2,28x3,65	7700	«АТЕК», г. Киев

Одноковшовые полноповоротные экскаваторы

Модель	Тип	Двигатель	Мощность, кВт/л.с.	Рабочее оборудование	Вместимость ковша, м ³	Глубина копания, м	Радиус копания, м	Высота выгрузки, м	Время цикла с	Скорость, км/ч	Масса, кг	Габарит, м	Производитель
АТЕК-851	К	Д-245	73,6/100	обрати, л.	0,5-0,8	5,26-4,56	8,28-7,58	7,43-6,8	16	20	12500	6,0x2,5x4,0	«АТЕК», Украина, г. Киев
АТЕК-881	К	СМД-17Н	73,6/100	обрати.л.	0,63-1,25	6,0-4,4	9,2-7,8	5,5-4,5	19	20	20000	10,0x2,84x3,9	
АТЕК-ОИА	А	СМД-17Н	73,6/100	обрати, л.	0,75	4,8	8,5	6,3	19	75	20600	10,9x2,5x4,0	
АТЕК-731	Г	Д-245	73,6/100	обрати, л.	0,50-0,80	5,55-4,85	8,16-7,48	6,05-5,60	18	3,2	13000	7,5x2,6x3,2	
АТЕК-761	Г	Д-260.2	96,5/130	обрати, л.	0,75-1,30	6,5-5,0	9,45-7,75	5,2-4,1	н.д.	2,7	19400	9,9x2,9x3,45	
АТЕК-781	Г	ЯМЗ-238ГМ2	129/175	обрати, л.	1,1-1,8	8,4-6,5	12,0-10,2	7,7-6,8	н.д.	3,1	31500	10,77x3,2x3,0	
ЕК-8	К	Perkins 1104С	61/83	обрати, л.	0,32	4,0	6,9	5,9	14	23	8800	6,72x2,5x3,05	«Тверской экскаватор»
ЕК-12-05	К	Д-243	57,4/78	обрати, л.	0,65	4,8	8,06	6,4	15	20	12500	8,0x2,5x3,12	
ЕК-12-20	К	Д-243	57,4/78	обрати, л.	0,5	5,08	7,86	6,5	15	20	12400	8,075x2,5x3,05	
ЕК-14	К	Д-245	73,6/100	обрати, л.	0,8	4,89	8,2	5,72	16	20	13400	8,2x2,5x3,14	
ЕК-18	К	Д-245	73,6/100	обрати, л.	1,0	5,77	9,1	6,24	18,5	20	18000	9,4x2,5x3,3	
ЕК-18-45	К	Д-245	73,6/100	грейфер	0,6	6,7; 9,7	11,5	8,2	18,5	15	20240	9,4x2,5x3,23	
5846 (ЕА-17)	А	Д-243	57,4/78	обрати, л.	0,65	4,0	6,8	4,4	15	70	17500	8,1x2,5x3,95	
ЕТ-14	Г	Д-245	73,6/100	обрати, л.	0,65	5,2	8,2	5,42	16	2,4	14800	8,2x2,75x2,91	
ЕТ-16	Г	Д-245	73,6/100	обрати, л.	0,65	5,4	8,4	5,7	16,5	2,4	16000	8,2x3,15x3,07	
ЕТ-18	Г	Д-245	73,6/100	обрати, л.	1,0	6,6	9,8	6,27	18,5	2,4	18500	9,4x2,75x3,18	
ЕТ-18LC	г	Д-245	73,6/100	обрати, л.	1,0	7,38	10,78	7,69	18,5	2,4	18800	9,4x3,15x3,18	
ЭО-43211	К	ЯМЗ-236Г	110/150	обрати, л.	1,05	5,7	9,35	6,55	18	20	19500	9,75x2,5x3,55	«Вэкс», г. Воронеж
ВЭКС-30Б	Г	ЯМЗ-236Б	184/250	обрати, л.	1,25	6,8	10,4	7,2	20	3,5	30800	10,8x3,2x3,87	
ВЗКС-30L	Г	ЯМЗ-236Б	184/250	прямая л.	1,6	н.д.	8,27	4,9	17	3,5	30600	10,8x3,2x3,87	
ЭО-5126	Г	ЯМЗ-238ГМ2	125/170	обрати, л.	1,25	6,25	9,6	5,9	20	4,0	32000	10,05x3,17x3,5	
ЭО-5221	Г	ЯМЗ-238ГМ2	125/170	обрати, л.	1,55	6,5	10,0	5,8	25	3,5	42000	11,1x3,4x4,8	
ЭО-5225	Г	ЯМЗ-238Б	220/300	обрати, л.	1,85	6,6	10,8	6,5	20	3,4	38100	11,8x3,2x3,95	
ЭО-6123А-1	Г	н.д.	186/253	обрати, л.	2,1-2,65	7,35	11,6	5,8	29	1,5	62300	10,77x4,1x6,0	
ЭО-6123А-1	Г	н.д.	186/253	прямая л.	2,85-3,8	4,5	10,3	5,95	23	1,5	61700	10,77x4,1x6,0	
ЭО-6124	Г	ЯМЗ-240БМ2	257/350	обрати, л.	2,1-2,65	8,5	13,1	6,5	29	1,5	63300	10,77x4,1x6,0	
ЭО-6124	Г	ЯМЗ-240БМ2	257/350	прямая л.	2,85-3,8	4,5	10,3	5,95	23	1,5	62700	10,77x4,1x6,0	

Продолжение приложения А9

Модель	Тип	Двигатель	Мощность, кВт/л.с.	Рабочее оборудование	Вместимость ковша, м ³	Глубина копания, м	Радиус копания, м	Высота выгрузки, м	Время цикла /ц, С	Скорость, км/ч	Масса, кг	Габарит, м	Производитель	
ЭО-33211	К	ЯМЗ-236	110/150	обрати, л.	0,4-1,3	5,8	9,2	6,5	17	25	18000	9,5x2,5x3,68	«Урал вагон-завод»	
30-4126	Г	ЯМЗ-238ГМ2	125/170	обрати, л.	0,85-1,6	6,2	9,6	5,9	20	4,0	28500	10,375x3,17x3,1		
ЭО-5126	Г	ЯМЗ-238ГМ2	125/170	обрати, л.	1,0-1,25	6,2	9,6	5,8	20	4,0	32000	10,05x3,17x4,0		
30-4112А	Г	Д-180.121-6	66/90	обрати, л.	0,65	5,8	9,2	3,6	18,1	3,5	22850	5,315x3,1x3,4*	«Донецкий экскаватор»	
30-4112А	Г	Д-180.121-6	66/90	прямая л.	0,75	7,9	7,9	5,6	15	3,5	23300	5,315x3,1x3,4*		
30-4112А	Г	Д-180.121-6	66/90	драглайн (L=10/13,7 /15 м)	0,65-1,0	7,3	Н,1	3,5	19,5	3,5	21600	5,315x3,1x3,4*		
					0,65-0,8	10,0	14,3	5,3	19,5	3,5	23600	5,315x3,1x3,4*		
					0,65-0,8	11,0	15,3	6,3	19,5	3,5	24500	5,315x3,1x3,4*		
30-4112А	Г	Д-180.121-6	66/90	грейфер	0,65	6,0	8,0	7,6	23,5	3,5	22320	5,315x3,1x3,4*		
ЭО-4225А-071	Г	ЯМЗ-236Г2	110/150	обрати, л.	0,6-1,42	6,0	9,3	5,15	19	4,2	26450	10,25x3,15x3,3	Экскаваторный завод «Ковровец»	
						7,3	10,3	5,4	19	4,2	26450	10,25x3,6x3,3		
Кит-26	Г	ЯМЗ-236М2	132/180	обрати, л.	0,8-1,42	6,52	10,1	6,52	16-18	4,25	27000	10,35x3,0x3,34	«МК Кранэкс», г. Иваново	
ЕК-240	Г	Deutz ВF6М 2012С				1,0	6,38	9,66	6,29	12	5,3	23000		9,91x2,98x3,22
						1,0	6,97	10,2	6,7	12	5,3	24100		9,9x3,18x3,1
ЕК-240LC	Г	ВF6М 2012С	127/172	обрати, л.	1,2	6,38	9,66	6,29	12	4,7	25400	9,9x3,58x3,2		
ЕК-270LC-05	Г	ЯМЗ-236М2	132/180	обрати, л.	1,2	6,3	10,0	7,5	12	4,4	27700	10,4x3,25x2,9		
						7,0	10,7	8,0	12	4,4	29000	10,45x3,55x2,91		
						7,7	И,1	7,8	12	4,4	31000	10,48x3,85x3,95		
ЕК-330	Г	Deutz ВF6М 1013FC	183/250	обрати, л.	1,6	6,76	10,48	7,14	н.д.	5,0	32000	11,14x3,19x3,415		
						7,38	11,0	7,2	н.д.	5,0	32000	11,14x3,19x3,415		
ЕК-400-05	Г	ЯМЗ-238Б	220/300	обрати, л.	1,9	7,4	И,4	7,4	15	4,0	42000	12,04x3,45x3,93		
ЕК-450FS	Г	ЯМЗ-238Б	220/300	прямая л.	2,6	4,3	8,76	7,37	н.д.	4,0	45000	12,0x2,98x3,22		
30-5119	Г	ЯМЗ-236М2	132/180	обрати, л.	1,2-1,5	6,9	10,9	8,6	23	2,0	33450	6,06x3,2x3,78*		«Экско», г. Кострома
30-5119	Г	ЯМЗ-236М2	132/180	прямая л.	1,2-1,5	6,5	9,2	5,0	17	2,0	34950	6,06x3,2x3,78*		
30-5119	Г	ЯМЗ-236М2	132/180	грейфер (L = 12,5/15м)	1,0	6,0	12,2	4,3	28	2,0	36450	6,06x3,2x3,78*		
					1,0	6,0	12,0	8,7	28	2,0	36650	6,06x3,2x3,78*		

Примечание: Г – гусеничный; К – колёсный; А – на автомобиле; обратн. л. – обратная лопата; прямая л. - прямая лопата;

* - без рабочего оборудования.

Экскаваторы-планировщики

Модель	Шасси	Вместимость ковша, м ³	Глубина копания, м	Радиус копания, м	Высота выгрузки, м	Ход стрелы, м	Двигатель	Мощность, кВт/л.с.	Скорость, км/ч	Масса, т	Габарит, м	Производитель
ЭО-43214	КамАЗ-43118	0,5	5,7	9,0	5,8	3,7	Д-243	57,4/78	70	20,1	8,52x2,5x3,9	«Мотовилихинские заводы», г. Пермь
ЭО-43212	КамАЗ-53228	0,5	5,8	9,0	5,7	3,7	Д-243	57,4/78	70	19,5	8,4x2,5x3,8	
ЭО-43213	Урал-4320	0,5	5,7	9,0	5,8	3,7	Д-243	57,4/78	70	20,7	9,4x2,5x3,9	
ЕТ-4322	КамАЗ-43118	0,63	6,9	11,3	6,15	4,15	Д-245.9	100/136	60	21,3	9,5x2,5x3,9	
ТЭП-18	КамАЗ-65111	0,63	6,1	10,0	6,0	4,15	Д-24582	88/120	70	21	9,05x2,5x3,9	«Твэкс»
АТЕК-012	КрАЗ-65101	0,55	4,47	9,12	5,52	3,4	СМД-17Н	73,6/100	75	22,7	9,895x2,5x3,98	«АТЕК», Украина
EW-25M1	КамАЗ-53228	0,63	5,45	10,45	6,1	4,15	Д-245.9	100/136	60	22,3	9,3x2,55x4,0	«Святовит», Беларусь - Литва
			6,8	11,8	6,8	4,15	Д-245.9	100/136	60	22,3	9,3x2,55x4,0	
EW-25M1	МАЗ-6303	0,63	5,45	10,45	6,1	4,15	Д-245.9	100/136	60	21,87	8,7x2,55x4,0	
			6,8	11,8	6,8	4,15	Д-245.9	100/136	60	21,87	8,7x2,55x4,0	
EW-25M1	МАЗ-631705	0,63	5,45	10,45	6,1	4,15	Д-245.9	100/136	60	25,5	10,3x2,55x4,0	
			6,8	11,8	6,8	4,15	Д-245.9	100/136	60	25,5	10,3x2,55x4,0	
EW-25M1	Урал-4320	0,63	5,45	10,45	6,1	4,15	Д-245.9	100/136	60	21,88	9,8x2,55x4,0	
			6,8	11,8	6,8	4,15	Д-245.9	100/136	60	21,88	9,8x2,55x4,0	
EW-25T1	МЗКТ-8007	0,63	5,26	10,45	6,25	4,15	Д-245	73,6/100	60	24,82	9,785x2,5x3,975	
			6,76	10,97	6,25	4,15	Д-245	73,6/100	60	24,82	9,785x2,5x3,975	
EW-25M1	ТТМ-6902Э	0,63	4,3	10,5	3,6	4,15	Д-245	73,6/100	18	26	10,7x4,16x4,1	
ЕС-22-К2	гусеничное	0,63	5,91	10,2	5,91	4,15	Д-245.9	100/136	2,4	21,2	9,3x3,0x3,5	
			6,43	И,7	6,43	4,15	Д-245.9	100/136	2,4	22,35	9,3x3,3x3,5	
ЭО-3533М	МАЗ-5337	0,4-0,5	4,5	8,2	4,1	3,2	Д-243	57,4/78	60	16	7,9x2,5x3,85	Кохановский экскаваторный завод, Беларусь
ЭО-3533У	Урал-4320	0,5	4,5	8,2	4,1	3,1	Д-243	57,4/78	70	18,6	8,98x2,5x2,74	
UDS-114А	Tatra-815-2	0,6	6,6	9,3	6,3	4,5	Zetor- 8701.176	84,5/115	70	21,8	8,83x2,5x3,95	«CSM TISOVEC», Словакия
UDS-214.il	Tatra-815-2	0,6	6,6	9,3	6,3	4,5		84,5/115	70	22,8	8,84x2,5x4,0	
UDS-114R	Tatra-815-2	0,6	6,6	9,3	6,3	4,5	John Deere	104/141	70	22,3	8,84x2,5x4,0	
UDS-114R	КамАЗ-65111	0,6	6,6	9,3	6,3	4,5	4045HF275	104/141	70	24,07	9,04x2,5x3,99	«ЦСМ Руслан»
UDS-232	пневмоколес.	0,6	6,6	9,3	6,3	4,5	Zetor-8604	115/156	20	17,3	8,84x2,6x3,53	«CSM TISOVEC»,
UDS-211	гусеничное	0,6	6,6	9,3	6,3	4,5	Zetor-8604	115/156	3,7	18,0	8,9x3,0x3,45	Словакия

Бульдозеры и рыхлители

Модель	с S H	Тяго- вый класс	Экспл. мощ- ность, кВт/л. с.	Бульдозерный отвал						Рыхлитель		Скорость вперед/ назад, км/ч	Экспл. масса, кг	Габарит, м	Производи- тель
				тип отвала	ширина и высота от- вала, м	подъ- ем, м	опус- кание, м	пере- ре- кос, ⁰	пово- рот, ⁰	число зубьев	глу- бина, м				
ДТ-75ДРС2	Г	3	69/94	прямой	2,52 0,8	0,5	0,41	-	-	-	-	11,5/8,5	7390	4,98x2,52x2,65	ВгТЗ
ДЗ-42	Г	3	70/95	прямой	2,56x0,8	0,635	0,3	-	-	-	-	11,5/8,5	7610	4,65x2,56x2,65	СМЗ, Сло- бодской
ДЗ-42П	Г	3	70/95	прямой	2,8x0,8	0,635	0,3	-	±25	-	-	11,5/8,5	7710	5,2x2,8x2,65	
Т-402Б	Г	4	110/150	прямой	2,6x1,05	0,7	0,3	±6	-	-	-	11,9/7,8	9860	5,545x2,6x2,84	АТЗ
Т-4АП2Б-РН-4	Г	4	96/130	прямой	2,845x1,05	0,7	0,3	±6	-	1...3	0,4	9,32/6,1	11600	5,545x2,6x2,84	
Т-150КД-05	К	4	129/175	прямой	2,52x1,06	0,7	0,3	-	±25	-	-	12,67/6,03	9544	8,155x2,52x2,945	ХТЗ
Т-150Д-05	г	5	129/175	прямой	2,52x0,95	0,8	0,4	8	-	-	-	3,64/7,9	9025	5,89x2,52x2,68	
К-700Т-06БК	к	5	162/220	прямой	3,62x1,13	0,9	0,3	-	±25	-	-	33,1/31	14650	7,57x3,62x3,84	ТЗТМ
БК ОМТЗ-700А	к	5	162/220	прямой	3,65x1,3'	U	0,45	±16	±25	-	-	30/23	20800	8,6x2,915x3,8	ОМТЗ
К-703МА-ДМ15	к	5	173/236	прямой	4,515x1,43	1,0	н.д.	±15	±27	-	-	33,8/23	17000	9,0x4,515x3,735	Кировский завод
702МБА-01-БКУ	к	5	162/220	прямой	3,8x1,3	1,1	0,45	±16	±25	-	-	39/38	20800	8,6x2,975x3,735	
702МВА-УДМ2	к	5	162/220	прямой	3,36 1,2	1,3	0,52	±11	±26	-	-	39/38	23000	10,25x3,36x3,785	
МоАЗ-40489	к	5	220/300	прямой	3,94x1,4	0,73	0,39	±12	±25	-	-	46/6,8	30400	8,735x3,94x4,0	МоАЗ
МоАЗ-40486	к	5	257/350	прямой	4,34x1,4	0,73	0,39	±12	±25	-	-	46/6,8	36700	9,02x4,34x3,755	
Б10МБ.0120	г	9	103/140	прямой	4,26x1,35	1,22	0,47	-	-	-	-	8,9/8,7	19560	6,255x4,26x3,145	ЧТЗ
Т-9.01 Я	г	9	114/155	п/сф.	3,15x1,25	1,0	0,5	±7	-	3	0,46	11,1/14,4	16800	6,386x3,15x3,1	ЧЗПТ
ТС-10.01	г	10	132/180	п/сф.	3,24x1,2	0,9	0,3	±10	-	1/3	0,5	9,2/9,2	16860	6,42x3,24x3,20	ЧСДМ
Б-100	г	10	121/165	п/сф.	3,2x1,2	0,9	0,4	±10	-	1/3	0,5	9,5/9,5	16500	6,38x3,24x3,15	«Дормаш», Орел
Б-120	г	10	133/181	п/сф.	3,44: 1,36	0,9	0,4	±10	-	1/3	0,5	9,5/9,5	19900	6,3x3,44x3,24	
Б10М2.0000ЕР	г	10	132/180	п/сф.	3,31x1,31	1,02	0,44	±10	-	3	0,5	8,8/10,9	21310	6,495x3,31x3,25	«ЧТЗ- Уралтрак»
Б10М2.6000ЕР	г	10	140/190	п/сф.	3,31x1,31	1,02	0,44	±10	-	3	0,5	10,9/13,5	20680	6,495x3,31x3,25	
Б10М2.0000ЕН	г	10	132/180	п/сф.	3,31x1,31	1,02	0,44	±10	-	1	0,65	8,8/10,9	20620	6,495x3,31x3,25	
Б10М2.6000ЕН	г	10	140/190	п/сф.	3,31x1,31	1,02	0,44	±10	-	1	0,65	10,9/13,5	19990	6,495x3,31x3,25	
Б10М2.0000ВР	г	10	132/180	прямой	3,42x1,31	1,02	0,44	±10	-	3	0,5	8,8/10,9	21180	6,355x3,42x3,25	
Б10М2.0000ВН	г	10	132/180	прямой	3,42x1,31	1,02	0,44	±10	—	1	0,65	8,8/10,9	20480	6,355x3,42x3,25	
Б11.6000ЕР	г	10	140/190	п/сф.	3,31x1,31	1,02	0,44	±10	-	3	0,5	10,9/13,5	21800	6,67x3,31x3,25	
Б12.6020ЕР	г	12	158/215	п/сф.	3,73x1,5	1,19	0,55	±10	-	3	0,5	9,6/11,9	24520	7,49x3,73x3,25	

Модель	Тип	Тяго- вый класс	Экспл. мощ- ность, кВт/л.с.	Бульдозерный отвал						Рыхлитель		Скорость вперед/ назад, км/ч	Экспл. масса, кг	Габарит, м	Производи- тель
				тип отвала	ширина и высота от- вала, м	подъ- ем, м	опус- кание, м	пере- ре- кос, ®	пово- во- рот,®	число зубьев	глу- бина, м				
Б12.6020ВН	Г	12	158/215	прямой	3,7х1,345	1,24	0,52	±10	-	1	0,65	9,6/11,9	23630	7,148х3,7х3,25	«ЧТЗ-
Б13.6020ВН	Г	12	158/215	прямой	3,7х1,345	1,24	0,52	±10	-	1	0,65	9,6/11,9	23630	7,148х3,7х3,25	«Уралтрак»
Т-11.01Я	г	И	127/173	п/сф.	3,34х1,45	1,0	0,55	±9	-	3	0,53	11/14,4	20300	6,48х3,34х3,492	«Пром- трактор»
Т-11.01ЯМ	г	И	127/173	п/сф.	4,06х1,45	1,1	0,55	±9	-	3	0,53	10,9/14,3	23500	6,769х4,06х3,65	
Т-11.01С	г	И	127/173	п/сф.	3,31х1,46	1,1	0,55	±9	-	1	0,64	11/11	18720	6,48х3,31х3,492	(ЧЗПТ)
Т-11.01П	г	И	127/173	п/сф.	3,65х1,17	1,21	0,47	±5	±25	3	0,53	10,9/14,3	22550	6,929х3,65х3,56	
Т-15.01Я	г	15	170/231	п/сф.	3,82х1,52	1,15	0,56	±10	-	1	0,83	11,1/14,7	28020	7,35х3,82х3,88	
				сфер.	4,18х1,65	1,15	0,56	±10	-	3	0,7	11,1/14,7	28560	7,35х4,18х3,88	
				прям.	4,05х1,49	1,15	0,56	±10	-	3	0,7	11,1/14,7	28200	7,35х4,05х3,88	
Т-15.01ЯМ	г	15	170/231	п/сф.	4,10х1,52	0,9	0,45	±10	-	3	0,51	11,1/14,2	30500	7,38х4,103х3,678	
Т-20.01 Я	г	20	205/278	п/сф.	3,94х1,7	1,25	0,59	±10	-	3	0,78	10,4/13,3	36000	8,32х3,94х3,695	
				сфер.	4,225х1,7	1,25	0,59	±10	-	1	1,13	10,4/13,3	36110	8,32х4,225х3,695	
ДЭТ-250М2Б1Р1	г	25	237/323	п/сф.	4,25х1,85	1,4	0,37	±12	-	1	1,48	15,3/15,3	41340	9,44х4,25х3,215	ЧТЗ
ТК-25.02Я	к	25	382/520	п/сф.	5,05х1,55	1,6	0,5	±14	-	-	-	27,2/37,9	48570	9,07х5,05х4,76	«Пром- трактор»
Т-25.01 Я	г	25	294/400	п/сф.	4,32х1,89	1,29	0,69	±10	-	3	0,9	12,6/15,2	46200	8,88х4,32х3,97	
				сфер.	4,5х1,7	1,425	0,6	±10	-	1	1,15	12,6/15,2	47700	8,88х4,5х3,97	
ТМ-25.01	г	25	294/400	п/сф.	5,2х1,89	1,29	0,69	±10	-	3	0,9	12,7/15,3	51000	8,96х5,52х4,25	
				сфер.	4,65х1,7	1,425	0,6	±10	-	1	1,15	12,7/15,3	50980	8,96х4,65х4,25	
БелАЗ-7823	к	25	312/425	п/сф.	4,9х1,47	1,5	0,45	±9	-	-	-	25/32	51000	10,5х4,8х4,15	БелАЗ
ДЭТ-320Б1Р2	г	32	243/330	п/сф.	4,25х1,85	1,21	0,44	±12	-	1	1,55	15,7/15,7	46018	8,72х4,25х3,99	ЧТЗ
Т-35.01Я	г	35	353/480	п/сф.	4,71х2,21	1,68	0,73	±10	-	3	0,9	12,8/15,5	60500	9,692х5,05х4,165	«Пром- трактор»
				сфер.	5,2х2,21	1,61	0,72	±10	-	1	1,54	12,8/15,5	61350	9,692х4,71х4,165	
Т-35.01ЯБЛ	г	35	382/520	п/сф.	3,68х2,21	1,8	0,72	±10	-	3	0,9	12,8/15,5	58300	9,692х3,68х4,165	
Т-40.01Я,	г	40	434/590	п/сф.	4,73х2,23	1,5	0,75	±13	-	1	1,52	12,7/15,6	68000	9,393х4,73х4,304	
Т-40.01К										3	1,02	12,7/15,6	67850	9,393х4,73х4,304	
Т-50.01К	г	50	552/750	п/сф.	5,46х2,27	1,61	0,73	±10	-	3	1,15	12/14,2	95500	10,726х5,46х4,63	
				сфер.	5,9х2,25	1,6	0,72	±10	-	1	1,76	12/14,2	94800	10,726х5,9х4,632	

Примечание: Г – гусеничный; К – колёсный; п/сф. – полусферический; сфер. – сферический.

Скреперы

Модель	Вид скрепера, тип загрузки	Колесная формула	Двигатель	Мощность, кВт/л. с.	Вместимость ковша		Грузоподъемность, кг	Снаряженная масса, кг	Ширина резания, м	Скорость, км/ч	Габаритные размеры, м	Производитель
					геометрическая	номинальная						
МоАЗ-6014	Самоход.	4x2	ЯМЗ-238АМ2	165/225	8,3	11,5	16000	20000	3,0	44	11,215x3,245x3,5	МоАЗ, г. Могилев, Беларусь
МоАЗ-60146	Самоход.	4x2	ЯМЗ-238Б	220/300	8,3	11,5	16000	20000	3,0	44	11,215x3,245x3,5	
МоАЗ-60147	Самоход.	4x2	Cummins M11C-330	243/330	9,3	12,5	18000	20000	3,0	44	11,215x3,245x3,5	
МоАЗ-6014-040	Самоход.	4x2	Cummins M11C-350	257/350	9,3	12,5	18000	20000	3,0	44	11,215x3,245x3,5	
МоАЗ-6007	Самоход.	4x2	ЯМЗ-8481.10	257/350	11	14	22000	30000	3,0	50	12,7x3,3x3,66	
МоАЗ-60071	Самоход.	4x2	Cummins МПС-350	257/350	11	15,3	22000	28000	3,0	44	12,7x3,3x3,66	
С АТ-611	Самоход.	4x2	Cat-3306	197/268	8,5	11,0	16340	23900	2,9	44,4	12,02x3,27x3,24	«Caterpillar», США
САТ 621F	Самоход.	4x2	Cat-3406C	246/330	10,7	15,3	21775	32070	3,02	51	12,93x3,47x3,71	
САТ 631E	Самоход.	4x2	Cat-3408	365/490	16,1	23,7	34020	43945	3,49	53	14,28x3,94x4,29	
САТ 65 1E	Самоход.	4x2	Cat-3412	410/550	24,5	33,6	47175	60950	3,85	53	16,14x4,35x4,71	
САТ 627F	Самоход.	4x4	Cat-3406C + Cat-3306	246/330 168/225	10,7	15,3	21775	36538	3,02	51	12,93x3,47x3,71	
САТ 663 7E	Самоход.	4x4	Cat-3408 + Cat-3306	365/490 187/250	16,1	23,7	34020	50845	3,51	53	14,56x3,94x4,29	
САТ 657E	Самоход.	4x4	Cat-3412 + Cat-3408	410/550 298/400	24,5	33,6	47175	68860	3,85	53	16,2x4,35x4,71	
САТ613С	Элеватор.	4x2	Cat-3116	131/175	н.д.	8,4	11975	15264	2,35	35	10x2,44x3,06	
САТ615С	Элеватор.	4x2	Cat-3306	198/265	Н.д.	13	18506	25605	2,89	44,4	11,6x3,05x3,59	
САТ 623F	Элеватор.	4x2	Cat-3406C	272/365	Н.д.	17,6	24905	35290	3,5	48	12,61x3,55x3,94	
САТ 633E	Элеватор.	4x2	Cat-3408	365/490	Н.д.	26	37200	51107	3,5	53	14,81x4,05x4,24	
ДЗ-172.1	Прицепн.	Т-170.01	Д-180	125/170	8,8	11,0	16500	25205	2,754	10,4	14,33x3,15x3,3	ЧСДМ, Россия
ДЗ-172.5	Прицепн.	Т-170.401	Д-180	125/170	8,8	11,0	16500	25385	2,754	10,41	14,33x3,15x3,3	

Примечание: Самоход. – самоходный; Элеватор. – с элеваторной загрузкой; Прицепн. – прицепной, тягач трактор Т-170.

Автогрейдеры

Модель	Класс	Колесная формула	Двигатель	Мощность, кВт/л.с.	Длина отвала, м	Высота отвала, м	Угол срезаемого откоса, °	Боковой вынос, м	Угол склад. рамы, °	Радиус поворота, м	Скорость, км/ч	Масса, кг	Габарит, м	Производитель
АТЕК-421	100	1x2x3	СМД-17Н	73,6/100	3,242	0,6	90	н.д.	±20	н.д.	35	12000	н.д.	«АТЕК»
ГС-10.01	100	1x1x2	Д-243	59,6/81	2,73	0,47	90	0,5	±26	4,75	35	7500	7,14x2,44x3,33	«Брянский Арсенал»
ГС-14.02	140	1x2x3	Д-442-25	99/135	3,74	0,62	90	0,8	±26	7,5	33	13500	9,34x2,5x3,475	
ГС-14.03	140	1x2x3	Deutz BF4M 1013FC	117/160	3,66	0,63	90	0,7	±26	7,8	38	14650	10,2x2,55x3,65	
ГС-18.05	180	1x2x3	ЯМЗ-236Д4	121/165	3,74	0,63	90	0,6	±26	8,0	40	16650	10,86x2,55x3,59	
ГС-18.07	180	1x2x3	Deutz BF6M 1013EC	147/200	4,27	0,7	90	0,7	±26	7,8	28	17900	10,2x2,55x3,665	
ГС-25.09	250	1x3x3	ЯМЗ-236БЕ2	176/240	4,27	0,7	90	0,7	±26	7,8	40	19500	10,2x2,55x3,665	
ГС-25.11	250	1x2x3	ЯМЗ-236БЕ2	176/240	4,88	0,8	90	0,8	±26	8,0	40	22950	10,23x2,974x3,8	
ДЗ-122Б	140	1x2x3	Deutz BF04M 1013	104/141	3,744	0,632	90	0,8	±30	6,8	37	13500	10,2x2,5x3,62	
ДЗ-122Б-6	140	1x2x3	ЯМЗ-236М2	132/180	3,744	0,632	90	0,8	±30	6,8	37	14300	9,79x2,5x3,62	
ДЗ-122Б-7	140	1x2x3	ЯМЗ-236М2	132/180	3,744	0,632	90	0,8	-	н.д.	37	13900	9,79x2,5x3,62	
ДЗ-298	250	1x2x3	Deutz BF06M 1013ECP	179/244	4,6	0,80	90	1,09	±25	8,0	47	24000	12,3x3,22x3,985	
А-120	140	1x2x3	А-01МС-3	99/135	3,7	0,65	90	0,83	±25	8,5	40	15690	10,77x2,55x3,79	ЧСДМ
А-120.1	140	1x2x3	ЯМЗ-236М2	132/180	3,7	0,65	90	0,83	±25	8,5	40	15690	10,03x2,55x3,79	
ДЗ-98ВЗ	250	1x3x3	ЯМЗ-238НДЗ	173/235	4,1	0,70	90	0,9	-	18,0	46,7	21800	11,0x3,25x4,0	
ДЗ-98М	250	1x3x3	ЯМЗ-238НДЗ	173/235	4,1	0,70	90	0,9	-	18,0	39	20800	11,0x3,084x4,0	

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамович В.А., Довгяло В.А. Расчет гидропривода механизмов одноковшового экскаватора. Гомель: БелГУТ, 2003. 49 с.
2. Арсеньев Ю.Д. Теория подобия в инженерных экономических расчетах. М.: Изд-во «Высшая школа», 1967. 257 с.
3. Баловнев В.И. Многоцелевые дорожно-строительные машины: учеб, пособие. Омск: Омский Дом печати, 2006. 320 с.
4. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1994. 432 с.
5. Баловнев В.И. Определение параметров и выбор землеройных машин: учеб, пособие. Омск: ЗАО «Полиграф», 2010. 224 с.
6. Баловнев В.И. Оценка инновационных предложений в дорожной и строительной технике: учеб, пособие. М.: МАДИ (ГТУ), 2008. 100 с.
7. Баловнев В.И., Данилов Р.Г. Автомобили и тракторы: Краткий справочник. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 384 с.
8. Баловнев В.И., Данилов Р.Г. Базовые гусеничные тракторы строительных и дорожных машин: учеб, пособие. М.: МАДИ (ГТУ), 2004. 70 с.
9. Баловнев В.И., Хмара Л.А. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве. М.: Транспорт, 1993. 383 с.
10. Беккер М.Г. Введение в теорию систем местность-машина. М.: Машиностроение, 1973. 520 с.
11. Беркман И.Л., Раннsv А.В., Рейш А.К. Одноковшовые строительные экскаваторы. М.: Высшая школа, 1986. 272 с.
12. Бульдозеры и рыхлители / Б.З. Захарчук, В.Д. Телушкин, Г.А. Шлойдо и др. М.: Машиностроение, 1987. 240 с.
13. Дорожно-строительные машины / А. В. Вавилов [и др.]. Мн.: УП «Технопринт», 2000. 515 с.
14. Ветров Ю.А., Баладинский В.А. Машины для земляных работ. К.: Вища школа, 1980. 190 с.

15. Добронравов С.С. Строительные машины и оборудование. М.: Высшая школа, 1991. 456 с.
16. Добронравов С.С., Дронов В.Г. Строительные машины и основы автоматизации. М.: Высшая школа, 2003. 575 с.
17. Довгяло В.А., Бочкарев Д.И. Двигатели внутреннего сгорания путевых и дорожностроительных машин. Гомель: БелГУТ, 2006. 229 с.
18. Домбровский Н.Г., Гальперин М.И. Строительные машины: учебник для студентов вузов. В 2-х ч. Ч. 2. М.: Высш, шк., 1985. 224 с.
19. Домбровский Н.Г., Гальперин М.И. Строительные машины. Ч. 2. М.: Высшая школа, 1985. 224 с.
20. Дорожно-строительные машины и комплексы / В. И. Баловнев и др. Москва-Омск: Изд-во СибАДИ, 2001. 528 с.
21. Дорожно-строительные машины и комплексы: учебник для вузов / В.И. Баловнев, С.В. Абрамов и др.; под общей ред. В.И. Баловнева. Москва-Омск: СибАДИ, 2001. 425 с.
22. Дорожные машины. Машины для устройства дорожных покрытий. Ч. 2. / К.А. Артемьев и др. М.: Машиностроение, 1982. 396 с.
23. Дорожные машины. Теория, конструкция и расчет / под ред. Н.Я. Хархуты. М.: Машиностроение, 1976. 468 с.
24. Дорожные машины. Машины для земляных работ. Ч. 1. / Т. В. Алексеева и др. М.: Машиностроение, 1972. 504 с.
25. Дорожные машины: учебник для вузов. В 2 ч.: Ч. 1: Машины для земляных работ. 3-е изд., перераб. и доп. / Т.В. Алексеева и др. М.: Машиностроение, 1972. 504 с.
26. Живейнов Н.Н. Копание грунтов ковшами гидравлических экскаваторов: учеб. пособие. М.: МАДИ, 1995. 60 с.
27. Зеленин А.Н., Баловнев В.И., Керов И.А. Машины для земляных работ. М.: Машиностроение, 1975. 424 с.
28. Землеройно-транспортные машины / А.М. Холодов, В.В. Ничке и др. Харьков: Вища школа, 1982. 192 с.

29. Казарновский В.Д. Основы инженерной геологии, дорожного грунтоведения и механики грунтов: краткий курс. М.: ООО «Интрансдорнаука», 2007. 284 с.
30. Грифф М.И., Зорин В.А., Рубайлов А.В. Качество, эффективность и основы сертификации машин и услуг: учеб. пособие. М.: МАДИ (ТУ), 2000. 148 с.
31. Кудрявцев Е.М. Комплексная механизация, автоматизация и механизация строительства: учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1989. 330 с.
32. Локшин Е.С., Рубайлов А.В. Строительные и дорожные машины: обзор современной отечественной самоходной техники: учеб, пособие. М.: РИА «Росбизнес», 2004. 304 с.
33. Машины для земляных работ / под общ. ред. Д. П. Волкова. М.: Машиностроение, 1992. 448 с.
34. Машины для земляных работ / под ред. Н. Г. Гаркави. М.: Высшая школа, 1982. 335 с.
35. Машины для земляных работ / Ю.А. Ветров и др. Киев: Вита школа, 1981. 383 с.
36. Машины для земляных работ: учебник для вузов / Д.П. Волков и др.; под общей ред. Д.П. Волкова. М.: Машиностроение, 1992. 448 с.
37. Моделирование проявления горного давления / Г.Н. Кузнецов и др. Л.: Недра, 1968. 279 с.
38. Недорезов И.А. Интенсификация рабочих органов землеройнотранспортных машин. М.: МАДИ, 1979. 51 с.
39. Николаев С.Н. Качественный сервис - это, как минимум, вторая машина. // Строительная техника и технологии. 2002, № 2. -С. 76-79.
40. Новоселов В. Золотая ручка: экскаваторы-планировщики в СССР и СНГ. // Строительная техника и технологии. 2008. № 8. С. 84-98.
41. Проектирование машин для земляных работ / под ред. А.М. Холодова. Х.: Вища школа. Изд-во при Харьковском университете, 1986. 272 с.
42. Растегаев И.К. Разработка мерзлых грунтов в северном строительстве. Новосибирск: Наука, 1992. 351 с.

43. Российская энциклопедия самоходной техники: основы эксплуатации и ремонта самоходных машин и механизмов. Т. 1 / В.А. Зорин, Ю.П. Бакагин, В.Н. Луканин и др. М.: Просвещение, 2001. 408 с.
44. Самойлович В.Г. Организация производства и менеджмент. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 336 с.
45. Самоходные пневмоколесные скреперы и землевозы / под ред. Д.И. Плешкова. М.: Машиностроение, 1970. 271 с.
46. Севров К.П., Горячко Б.В., Покровский А.А. Автогрейдеры: конструкция, теория, расчет. М.: Машиностроение, 1970. 192 с.
47. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1972. 375 с.
48. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. М.: Наука, 1976. 273 с.
49. Справочник конструктора дорожных машин / Б.Ф. Бондаков и др.; под ред. И.П. Бородачева. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1973. 504 с.
50. Справочник конструктора дорожных машин / под ред. И.П. Бородачева. М.: Машиностроение, 1973. 503 с.
51. Строительные машины: справочник. В 2 т. Т. 1. Машины для строительства промышленных, гражданских сооружений и дорог / под общ. ред. Э. Н. Кузина. М.: Машиностроение, 1981. 496 с.
52. Строительные машины: справочник. В 2-х т. / под ред. д-ра техн. наук В.А. Баумана, Ф.А. Лапира. Т. 1. Машины для строительства промышленных, гражданских, гидротехнических сооружений и дорог. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1976. 502 с.
53. Теория, конструкция и расчет строительных и дорожных машин / под ред. Л.А. Гобсрмана. М.: Машиностроение, 1988. 407 с.
54. Подольский В.П., Глаголев А.В., Поспелов П.И. Технология и организация строительства автомобильных дорог. Т. 1: Земляное полотно: учеб. пособие; под ред. проф. В.П. Подольского. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. архит. строит. ун-та, 2005. 528 с.

55. Ульянов Н.А., Роненсон Э.Г., Соловьев В.Г. Самоходные колесные землеройно-транспортные машины. М.: Машиностроение, 1976. 359 с.
56. Федоров Д.И. Рабочие органы землеройных машин. М.: Машиностроение, 1990. 368 с.
57. Хагодов А.М. Проектирование машин для земляных работ. Киев: Вшца школа, 1986. 374 с.
58. Щемелев А.М., Довгяло В.А. Расчет скреперов. Гомель: БелГУТ, 1995. 69 с.
59. Чижик Е.И. Машины для земляных работ. Могилев, 2005. 250 с.
60. Шестопалов К.К. Строительные и дорожные машины. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 384 с.
61. Щемелев, А. М. Проектирование гидропривода машин для земляных работ. Могилев: ММИ, 1995. 322 с.
62. Щемелев А.М. Расчет бульдозера. Могилев: МГТУ, 2001. 137 с.

Учебное издание

Кузнецов Владимир Васильевич

Машины для земляных работ

Учебно-методическое пособие

для обучающихся по направлению подготовки

23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы

(уровень бакалавриата)

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 16.09.2019 г. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Усл. п. л. 25,73. Тираж 25 экз. Изд. 6472.

Издательство Брянской государственной сельскохозяйственной академии.
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ