

Федеральное агентство по образованию  
Дальневосточный государственный технический университет  
(ДВПИ им. В.В. Куйбышева)

**Л.Г. Дроздова, О.А. Курбатова**

**Одноковшовые экскаваторы:  
конструкция, монтаж и ремонт**

*Рекомендовано Дальневосточным региональным учебно-методическим  
центром в качестве учебного пособия для студентов  
специальностей 150402 «Горные машины и оборудование»  
и 130403 «Открытые горные работы» вузов региона*

Владивосток  
2007

УДК 621.31.  
Д 75

Дроздова, Л.Г. **Одноковшовые экскаваторы: конструкция, монтаж и ремонт:** учеб. Пособие /Л.Г. Дроздова, О.А. Курбатова. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 235 с.  
ISBN 978-5-7596-0729-8

В учебном пособии рассмотрены конструктивные и кинематические схемы одноковшовых экскаваторов, их рабочее оборудование и механизмы, а также монтаж, демонтаж, наладка, технический контроль и обслуживание.

Рассмотрены методологические основы тягового расчета, расчета и построения нагрузочных диаграмм.

Предназначено для студентов дневной, заочной и дистанционной форм обучения горных специальностей.

Рецензенты: А.И. Агошков, генеральный директор научно-производственного проектно-конструкторского объединения «Экогеопроект», д-р техн. наук, профессор, академик МАНТЭБ; Ю.А. Васянович, зав. лабораторией Проблем освоения угольных месторождений ИГД ДВО РАН, д-р техн. наук, профессор.

Печатается с оригинал-макета, подготовленного авторами

ISBN 978-5-7596-0729-8

© ДВГТУ, 2007

## Предисловие

Проводимые реформы системы образования выдвигают на первый план усилие самостоятельной работы студентов, ее продуктивность определяется достаточным обеспечением учебной методической и справочной литературой по изучаемым дисциплинам.

Основными учебниками для студентов специальности 150402 «Горные машины и оборудование» и 130403 «Открытые горные работы» являются книги, подготовленные большим коллективом московских профессоров под редакцией Р.Ю. Подерни, которых в библиотеках ДВГТУ не достаточно.

Данное учебное пособие снимет острую нехватку литературы по курсам «Механическое оборудование карьеров», «Основы эксплуатации горных машин и оборудования», «Эксплуатация карьерного оборудования» для студентов специальностей 150402 «Горные машины и оборудование» и 130403 «Открытые горные работы».

В учебном пособии рассматриваются выемочно-погрузочные одноковшовые машины и их конструктивные и кинематические схемы, рабочее и ходовое оборудование, а также техническое обслуживание: монтаж, демонтаж, ремонт, пуско-наладочные работы одноковшовых экскаваторов.

Учебное пособие может помочь студентам в выполнении курсовых проектов по дисциплинам «Механическое оборудование карьеров», «Технология открытых разработок», «Основы горного дела», «Электропривод».

В век компьютерных технологий все приведенные в пособии задачи могут быть решены на персональном компьютере, их решение позволит повысить уровень теоретической и профессиональной подготовки будущих специалистов.

В достаточном объеме в пособии приведены справочные данные одноковшовых экскаваторов.

## Введение

Горно-добывающая промышленность России на современном этапе характеризуется дальнейшим развитием открытого способа разработки полезных ископаемых. Преобладающее значение открытые разработки уже приобрели при добыче руд черных и цветных металлов, горно-химического сырья и строительных материалов.

Парк горных и транспортных машин, занятых в сфере горного производства открытым способом, требует качественных изменений за счет увеличения единичной мощности машин и грузоподъемности работающих с ними в технологической цепочке средств транспорта; создания более безопасного, надежного в эксплуатации и ремонтпригодного оборудования, обладающего комфортностью для экипажа и удобством в управлении, превосходящего по своим технико-экономическим показателям лучшие отечественные и зарубежные образцы техники.

Россия была первой из европейских стран, где начали применять экскаваторы. Уже в 1845 – 1851 гг. на строительстве железной дороги «Москва – Санкт-Петербург» работали 4 экскаватора. В 1903 г. на Путиловском заводе были созданы первые отечественные конструкции механических лопат на железнодорожном ходу. Но настоящее развитие отечественное экскаваторостроение получило лишь при советской власти, и особенно – после Великой Отечественной войны. В годы довоенных пятилеток было изготовлено несколько тысяч одноковшовых экскаваторов. Строятся машиностроительные заводы: Ковровский, Костромской, Воронежский, Уральский по выпуску горной техники.

В настоящее время производство одноковшовых экскаваторов в странах СНГ в основном сосредоточено на следующих предприятиях: НовоКраматорском (НКМЗ) и Донецком (ДМЗ) машиностроительных заводах (Украина); ГП «Крестяжмаш», а также ОАО «УЗТМ» и ОАО «Ижорские заводы», которые известны как открытое акционерное общество «Объединенные машиностроительные заводы» (группа «УРАЛМАШ-ИЖОРА») (Россия).

Учебное пособие будет полезно в изучении дисциплины «Механическое оборудование карьеров», в которой рассматриваются вопросы конструктивных особенностей машин первого, второго, третьего классов, а в частности: буровые машины, экскаваторы, скреперы, бульдозеры, рыхлители, а также драги, средства гидроотбойки и выемки горных пород.

# **РАЗДЕЛ I**

## **Выемочно-погрузочные одноковшовые машины**

**ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

**ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭКСКАВАТОРНЫХ  
ЗАБОЯХ И РАБОЧИХ РАЗМЕРАХ  
ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ**

**КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ**

**КИНЕМАТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ**

**РАБОЧЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

**ХОДОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ НА РАБОЧЕЕ  
ОБОРУДОВАНИЕ И МОЩНОСТИ ПРИВодОВ  
ГЛАВНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

**ТЯГОВЫЙ РАСЧЕТ ХОДОВОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ**

**ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЭКСКАВАТОРОВ И  
КОМПЛЕКСОВ**

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

## Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРАХ

Наиболее характерными представителями выемочно-погрузочных машин, эксплуатируемых на открытых разработках, являются одноковшовые и многоковшовые экскаваторы.

Экскаватором называется машина, предназначенная для черпания (экскавации) горной массы, перемещения ее на относительно небольшие расстояния и погрузки на транспортные средства и в отвал.

Рабочий цикл одноковшового экскаватора складывается из четырех последовательных операций: наполнения ковша (черпания), перемещения его к месту разгрузки (транспортирования), разгрузки и перемещения порожнего ковша к месту черпания для воспроизведения нового цикла. Поэтому одноковшовые экскаваторы являются машинами циклического (прерывного действия).

### 1.1. Классификация экскаваторов

Существующие типы экскаваторов в общем виде классифицируются типажом по следующим признакам:

- назначению и роду выполняемой работы;
- вместимости ковша  $E$ , м<sup>3</sup>;
- видам рабочего, ходового и силового оборудования.

По назначению одноковшовые экскаваторы подразделяют на следующие типы:

*строительные* – с ковшами емкостью от 0,15 – 2 м<sup>3</sup>, на гусеничном или пневмоколесном ходу, универсальные (снабжаются сменным рабочим оборудованием прямой или обратной лопаты, драглайна, грейфера или крана); предназначаются в основном для производства земляных и монтажных работ на строительстве;

*карьерные* – с ковшами емкостью от 4 до 12,5 м<sup>3</sup>, на гусеничном ходу, имеют рабочее оборудование прямой лопаты с относительно короткой стрелой и рукоятью; применяются главным образом на карьерах при разработке породных, рудных или угольных уступов с нижней погрузкой в транспортные сосуды;

*вскрышные* – с ковшами емкостью от 4 до 35 м<sup>3</sup>, на гусеничном ходу, оборудуются прямой лопатой, но с удлиненной стрелой и рукоятью; предназначаются в основном для разработки уступов с верхней погрузкой или с перемещением горной массы в отвал;

*шагающие драглайны* – с ковшами емкостью от 4 до 80 м<sup>3</sup> и с длинными стрелами (до 100 м); применяются для разработки уступов на карьерах с перемещением породы в отвал, для проведения траншей, рытья котлованов, насыпки дамб, плотин и др.

Одноковшовые экскаваторы следует различать также по возможности использования их с различными видами рабочего оборудования.

*Универсальными экскаваторами* называются машины, имеющие не менее четырех видов сменного рабочего оборудования. Строительные экскаваторы обычно выпускают универсальными, причем один вид рабочего оборудования может быть легко заменен другим бригадой, обслуживающей экскаватор.

*Полууниверсальными* называются экскаваторы, которые имеют два-три вида рабочего оборудования. К таким относятся машины с ковшами емкостью не более  $4 - 6 \text{ м}^3$ .

*Специальными* называются экскаваторы, имеющие только один вид рабочего оборудования. К ним обычно относятся машины с ковшами емкостью свыше  $4 \text{ м}^3$ .

Общую классификацию одноковшовых экскаваторов можно представить в табл. 1.1.

## 1.2. Основные части одноковшовых экскаваторов

Современный одноковшовый экскаватор состоит из следующих основных частей:

- рабочего оборудования;
- рабочих механизмов;
- ходового оборудования;
- поворотной платформы;
- силового оборудования.

*Рабочим оборудованием* называется та часть экскаваторов, с помощью которой они копают грунт, поднимают груз, зачерпывают и перегружают сыпучие материалы и пр. Рабочее оборудование расположено в передней части поворотной платформы экскаватора (или на поворотной колонне у неполповоротных машин). В зависимости от способа крепления рабочего органа (ковша, крюка, грейфера) различают рабочее оборудование с жесткой или гибкой подвеской рабочего органа.

*Рабочие механизмы* служат для получения рабочих движений ковша экскаватора: подъема (и тяги у драглайна) и напора. Доставку ковша к месту разгрузки производят механизмом поворота. Все эти механизмы устанавливаются на поворотной платформе (за исключением механизма напора у карьерных лопат с зубчато-реечной системой выдвижения рукояти, находящейся, как правило, на стреле).

По кинематическому признаку механизмы экскаватора подразделяются на три типа:

- с однодвигательной схемой привода всех механизмов от одного общего двигателя;
- с групповой схемой привода нескольких механизмов от общих двигателей;
- с многодвигательной схемой привода механизмов от собственных двигателей.



Первые два типа применяются на экскаваторах малой мощности – универсальных. Механизмы экскаваторов средней и большой мощности имеют индивидуальный привод постоянного тока с одним или несколькими двигателями.

*Ходовое оборудование* экскаватора может быть гусеничное, пневмоколесное, рельсовое, шагающее, рельсово-шагающее. Наиболее распространенным является гусеничное оборудование, обеспечивающее хорошую проходимость экскаватора.

Рельсовое ходовое оборудование в современных одноковшовых экскаваторах не применяется. В основном рельсами оборудуются многоковшовые экскаваторы.

Шагающее ходовое оборудование обеспечивает низкое давление на грунт, имеет небольшую массу, устойчивость машины на базе при работе. Одноковшовые экскаваторы драглайн в основном оборудованы механизмами шагания.

Рельсово-шагающее ходовое оборудование обладает высокой маневренностью, возможностью дозированного перемещения машины с высокой скоростью и плавностью, малыми давлениями на опорную поверхность. В основном служит как ходовое оборудование мощных отвалообразователей и роторных экскаваторов.

*Поворотная платформа* опирается через ролики опорно-поворотного устройства на раму ходового оборудования, относительно которой платформа может поворачиваться в горизонтальной плоскости. Одна и та же поворотная платформа может быть установлена на различное ходовое оборудование. В зависимости от угла поворота платформы экскаваторы называются полноповоротными или неполноповоротными. Одноковшовые экскаваторы в основном выпускают полноповоротными, т.е. их поворотная часть может вращаться на  $360^\circ$ . У машин этого типа на поворотной платформе устанавливают: основные рабочие механизмы, приводные электродвигатели, а также крепят рабочее оборудование.

*Силовое оборудование* – это энергетический комплекс, содержащий приводной двигатель и машины – преобразователи энергии, например, электрические генераторы или электрические двигатели.

Комплекс двигателя с исполнительным механизмом представляет собой привод машины. Типом двигателя определяется вид двигателя, который может быть электрическим, дизельэлектрическим, дизельгидравлическим, электрогидравлическим.

На крупных одноковшовых экскаваторах для привода главных механизмов в основном используют тихоходные электродвигатели постоянного тока, которые позволяют иметь безредукторный привод, что в целом повышает надежность экскаватора. Кроме того, при одной и той же мощности тихоходные двигатели имеют меньшие потери энергии и продолжительность переходных процессов по сравнению с быстроходными.

## **Вопросы для контроля**

1. Как классифицируются экскаваторы по назначению?
2. Приведите классификацию экскаватора по ёмкости ковша?
3. Какова классификация экскаваторов по виду рабочего оборудования?
4. На какие типы экскаваторы делятся по ходовому оборудованию?
5. Как подразделяются экскаваторы по типу силового оборудования?
6. Назовите кинематические схемы механизмов экскаваторов.

## Глава 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭКСКАВАТОРНЫХ ЗАБОЯХ И РАБОЧИХ РАЗМЕРАХ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

### 2.1. Понятие об экскаваторном забое

Под забоем экскаватора понимают место его работы, его рабочую зону. Сюда относится площадка, на которой размещен экскаватор, часть поверхности, с которой вынимают породу, а также площадка для установки транспортных средств, подаваемых под погрузку. Когда разработка ведется в отвал, к забою относится также площадка для размещения выгружаемой из ковша породы.

По мере работы экскаватора забой перемещается.

Размеры и форма забоя зависят от размеров экскаватора, типа рабочего оборудования и его размеров.

На рис. 2.1 показаны основные размеры, необходимые для определения рабочего места экскаватора.

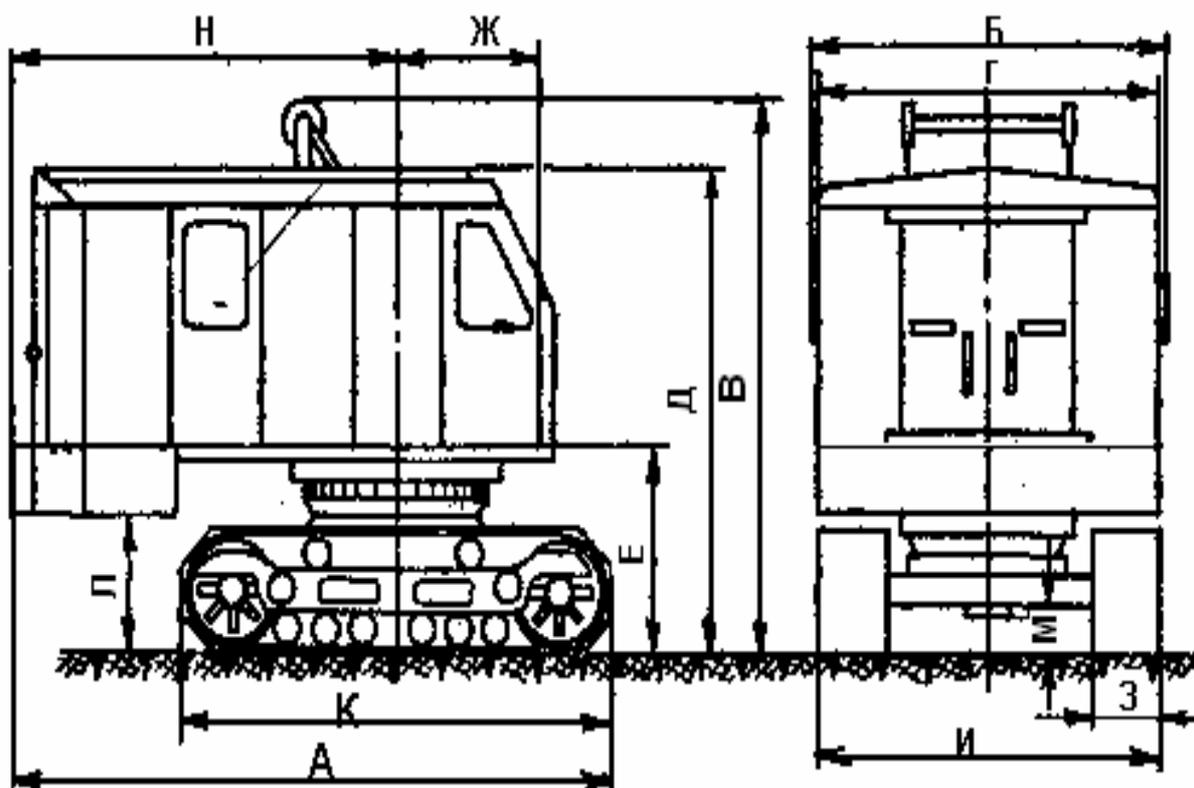


Рис. 2.1. Основные размеры экскаваторов:

- А – наибольшая длина; Б – наибольшая ширина; В – наибольшая высота; Г – ширина кузова; Д – высота по крыше; Е – высота оси пяты стрелы от уровня стоянки; Ж – расстояние от оси пяты стрелы до оси вращения; З – ширина гусеничной ленты; И – ширина гусеничного хода; К – длина гусеницы; Л – просвет под противовесной плитой; М – просвет под картером ходового механизма; Н – радиус вращения хвостовой части кузова

Так, например, радиус вращения хвостовой части кузова  $H$  необходимо знать для правильной расстановки транспортных средств или правильной установки экскаватора у откоса, так как по правилам техники безопасности при любом повороте платформы расстояние между задней частью кузова и откосом или транспортным средством должно быть не менее 1 м. Размеры  $E$  и  $Ж$  характеризуют место установки рабочего оборудования, размеры  $B$  и  $И$  определяют ширину, необходимую для обеспечения проезда экскаватора, и т. п.

При всех экскаваторных работах забой проектируют так, чтобы можно было лучше использовать оборудование, добиваться высокой производительности труда и снижения стоимости работ. В последнее время распространение получили технологические карты на установку экскаваторов в забое, в этих картах регламентированы размеры забоя, расстановка транспортных средств, величины передвижек и т. п.

## 2.2. Забой экскаватора – прямой лопаты

Прямая лопата конструктивно приспособлена для выемки породы выше уровня стоянки экскаватора. Жесткое крепление ковша позволяет работать как в отвал, так и с погрузкой в транспортные средства. Однако сравнительно небольшие размеры: делают целесообразным использование прямой лопаты в первую очередь для загрузки породы в транспортные средства. Рабочие размеры экскаваторов рассматриваемого типа определяются емкостью ковша, длиной стрелы и рукояти, а также углом наклона стрелы.

*Основным и рабочими размерами экскаватора, оборудованного прямой лопатой, являются (рис. 2.2):*

- *радиус копания* – горизонтальное расстояние от оси вращения экскаватора до зубьев ковша при копании; различают радиус копания на уровне стоянки, или радиус планировочной площадки, и наибольший радиус копания при максимально выдвинутой рукояти;
- *высота копания* – вертикальное расстояние от уровня стоянки экскаватора до зубьев ковша при копании (наибольшая высота копания соответствует максимально поднятой рукояти);
- *радиус выгрузки* – горизонтальное расстояние от оси вращения экскаватора до середины ковша при разгрузке; различают радиус выгрузки при наибольшей высоте выгрузки и наибольший радиус выгрузки;
- *высота выгрузки* – вертикальное расстояние от уровня стоянки экскаватора до нижней кромки открытого днища ковша в процессе выгрузки (наибольшая высота выгрузки соответствует максимально поднятому ковшу);
- *глубина копания* – расстояние от уровня стоянки экскаватора до зубьев ковша при копании ниже уровня стоянки.

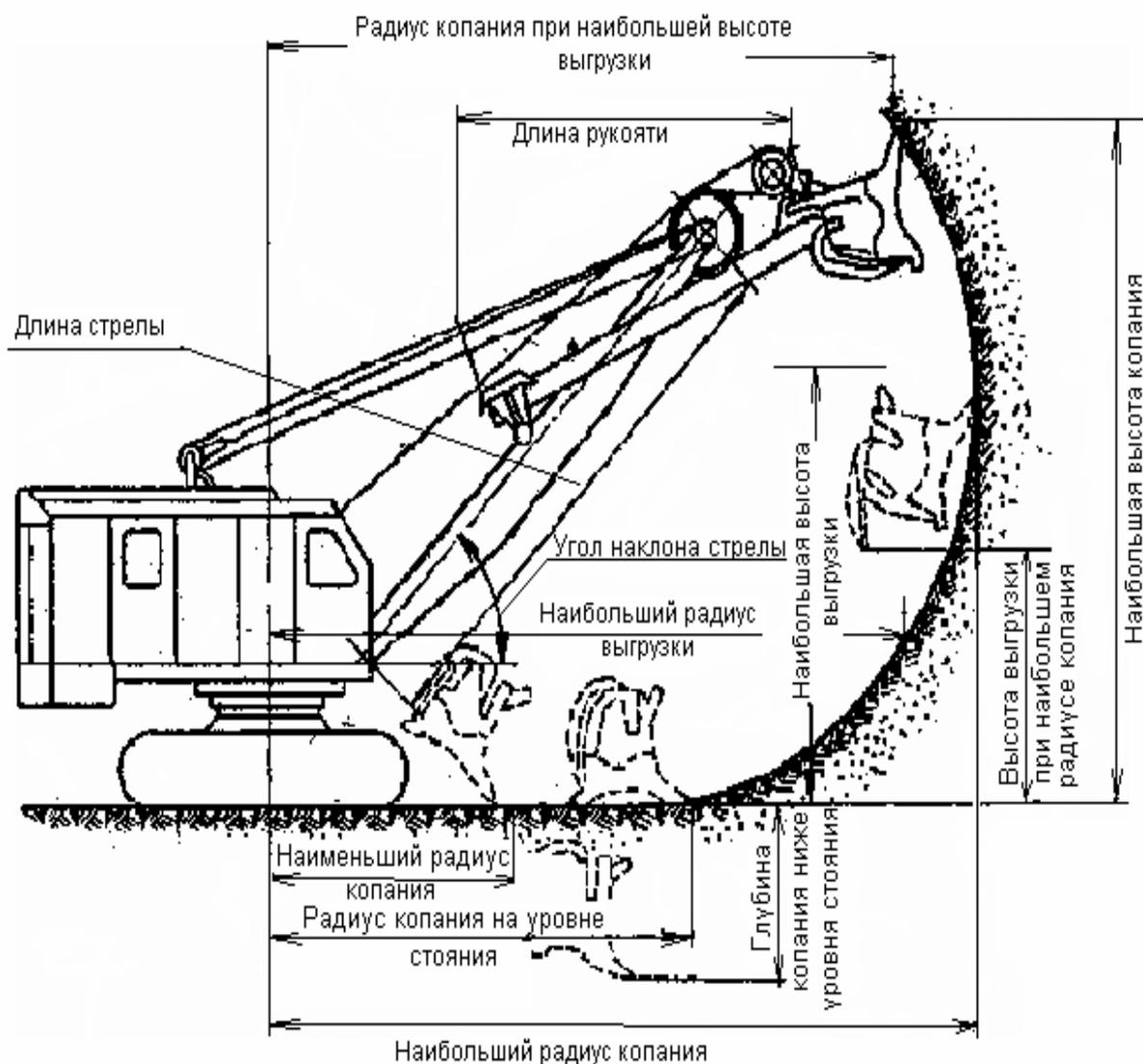


Рис. 2.2. Рабочие размеры экскаватора с прямой лопатой

Для сокращения передвижек экскаватора и числа горизонтов выгодно увеличивать высоту забоя. Однако это увеличение ограничивается соображениями безопасного ведения работ. Рациональная высота забоя определяется также длиной пути, который должен проделать ковш, снимая нормальную стружку, до полного наполнения.

Ширина забоя, как правило, определяется размерами рабочего оборудования; расстояние между экскаватором и транспортными средствами выбирается таким, чтобы создавались условия для работы с наименьшими углами поворота.

### 2.3. Забой экскаватора – драглайна

Большие, чем у прямой лопаты, размеры рабочего оборудования драглайна дают преимущества при работе с выгрузкой породы в отвал или при укладке ее непосредственно в возводимое сооружение.

Гибкое крепление ковша делает несколько менее удобной выгрузку породы в транспортные средства (по сравнению с прямой лопатой). Однако, как показывает практика, погрузка драглайном в автотранспорт успешно применяется многими машинистами.

В настоящее время для погрузки породы в автотранспорт широко применяют драглайны с ковшами емкостью до  $1 \text{ м}^3$ .

Основные рабочие размеры рассматриваемого экскаватора определяются емкостью ковша, длиной стрелы, углом наклона стрелы и величиной заброса ковша за пределы горизонтальной проекции стрелы.

К рабочим размерам экскаватора-драглайна (рис. 2.3) относятся:

- *радиус выгрузки* – горизонтальное расстояние от оси вращения экскаватора до середины ковша при выгрузке;
- *высота выгрузки* – вертикальное расстояние от уровня стоянки экскаватора до нижней кромки ковша при выгрузке;
- *радиус копания* – горизонтальное расстояние от оси вращения экскаватора до зубьев ковша при копании, различают радиус копания без заброса ковша и радиус копания с забросом ковша;

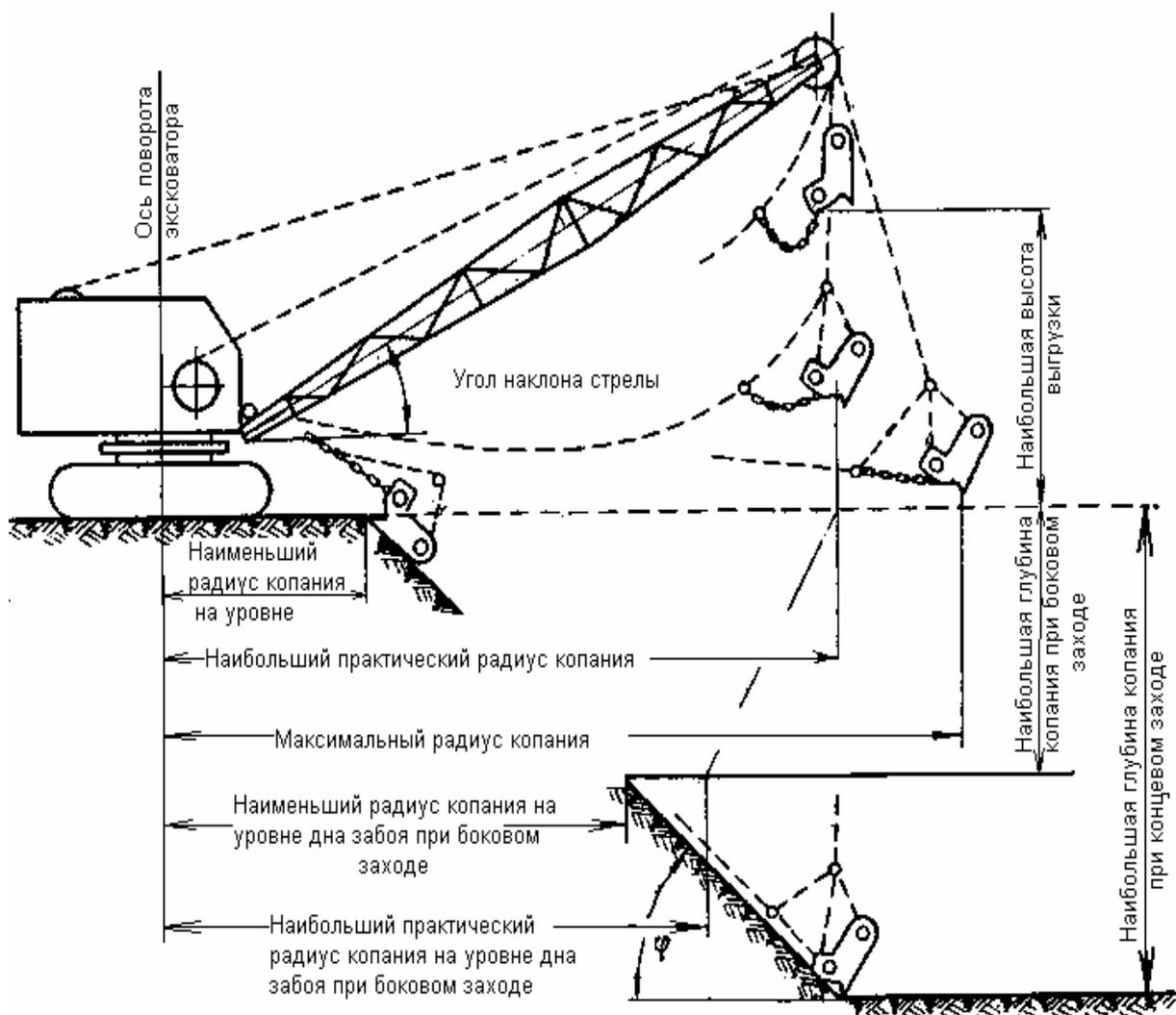


Рис. 2.3. Рабочие размеры экскаватора с драглайном

- *глубина копания* – вертикальное расстояние от уровня стоянки экскаватора до дна разрабатываемой выработки (котлована, траншеи и т. п.). Различают глубину копания при тупиковом забое и при боковом. Глубина копания драглайна при тупиковом забое значительно больше глубины копания при боковом забое (за счет второго откоса уступа или траншеи).

При продольной разработке забоя экскаватор движется вдоль его оси в пределах полосы, на которой вынимается порода, причем первоначально экскаватором разрабатываются два откоса. Породу можно укладывать в двусторонние или односторонние отвалы или грузить в транспортные средства.

При поперечной схеме экскаватор разрабатывает лишь один откос. При этом породу можно укладывать в односторонний отвал или грузить в автомашины.

Угол поворота при продольной разработке забоя составляет в среднем  $70 - 80^\circ$ . Для поперечной разработки забоя экскаватор устанавливают сбоку, и он копает поперек оси движения. При погрузке в автотранспорт средний угол поворота составляет  $80 - 90^\circ$ , а при работе в отвал  $160 - 170^\circ$ . Такая схема работ целесообразна, когда необходимо увеличить ширину выемки и дальность переноса породы.

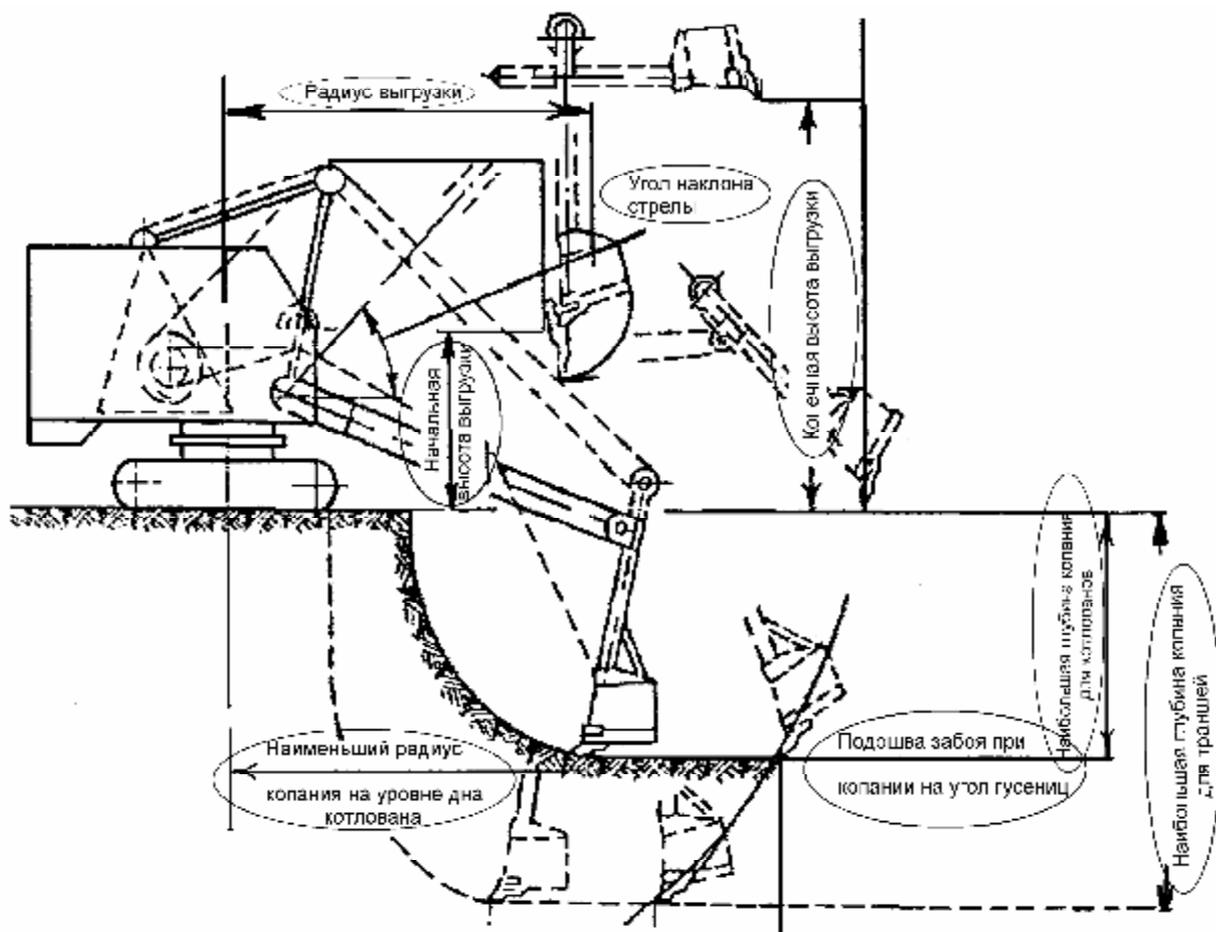


Рис. 2.4. Рабочие размеры экскаватора с обратной лопатой

## **2.4. Забой экскаватора – обратной лопаты**

Обратная лопата предназначена для выемки породы ниже уровня стоянки. Экскаваторами с обратными лопатами работы ведутся в забоях, аналогичных забоям экскаваторов – драглайнов.

На рис. 2.4 приведены рабочие размеры экскаватора обратной лопаты.

Обычно ось рабочего перемещения экскаватора для уменьшения угла поворота смещается в сторону транспортного пути. Автомобили устанавливаются таким образом, чтобы во время загрузки угол между стрелой экскаватора и продольной осью автомобиля был около 40°. Проводить ковш экскаватора над кабиной автомобиля нельзя.

### **Вопросы для контроля**

1. Что понимается под экскаваторным забоем?
2. От чего зависят форма и размеры забоя?
3. Перечислите основные рабочие размеры экскаватора – прямая лопата.
4. Дайте определение радиусу копания.
5. Каким параметром определяется глубина копания?
6. Назовите основные рабочие размеры экскаватора – драглайн.
7. Как определяются основные рабочие размеры экскаватора – обратная лопата?

### Глава 3. КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Конструктивной схемой, в отличие от кинематической, называется схематическое изображение всей машины или ее основных узлов с указанием их действительного взаимного расположения и кинематической связи.

Одним из главных признаков различия одноковшовых экскаваторов, определяющих их назначение и область применения, является рабочее оборудование (исполнительный механизм). В зависимости от назначения рабочее оборудование одноковшовых экскаваторов имеет различную конструкцию и кинематику. На универсальных экскаваторах могут применяться до десяти видов сменного рабочего оборудования. Однако экскаваторы, применяемые на открытых горных разработках, имеют, как правило, один основной вид специализированного рабочего оборудования.

Основные виды рабочего оборудования одноковшовых экскаваторов, применяемого на открытых работах – прямая напорная лопата и драглайн; более ограниченно используются гидравлические прямые и обратные лопаты, ковшовые погрузчики, грейфер, струг и кран. Выпускаются три вида рабочего оборудования прямой лопаты: напорная прямая с выдвижной рукоятью, напорная колено-рычажная и безнапорная. Напорная лопата имеет систему принудительной подачи рукояти и ковша в забой, действующую от какого-либо привода. У безнапорной лопаты подача ковша в забой осуществляется под действием сил тяжести ковша и рукояти со стрелой (применяется только на экскаваторах с небольшой емкостью ковша – до 2 м<sup>3</sup> и здесь не рассматривается).

#### 3.1. Механическая прямая напорная лопата

*Прямая напорная лопата с выдвижной рукоятью* (рис. 3.1) состоит из: ковша 1, рукояти 2, удерживаемой седловым подшипником 3 и деталями напорного механизма. Стрела опирается на поворотную платформу с помощью пятового шарнира 4 и поддерживается с помощью подвески 5. Подъемный канат от лебедки  $O_1$  проходит через головной блок 6 стрелы и в точке В с подвеской 7 ковша образует подвижное звено.

В зависимости от системы напорного механизма и конструкции стрелы различают четыре основных типа прямой лопаты:

- с зубчато-реечным механизмом напора (рис. 3.1, а), расположенным на стреле 8, и передающим усилие на зубчатую рейку 9 рукояти через кремальберную шестерню 10 с осью вращения  $O_2$  и точки контакта ползунков седлового подшипника с рукоятью (точка А);
- с канатным механизмом напора (рис. 3.1,б) и стрелой, которую шарнир  $O_2$  делит на две части – верхнюю 8 и нижнюю 9, поддерживаемую подкосом 10. Напорная лебедка 11 располагается на платформе. Выдвижение и возврат рукояти производятся канатами 12 и 13, которые огибают центральные блоки 14, закрепленные на оси  $O_2$  и полублоки 15 и 16, закрепленные на рукояти.

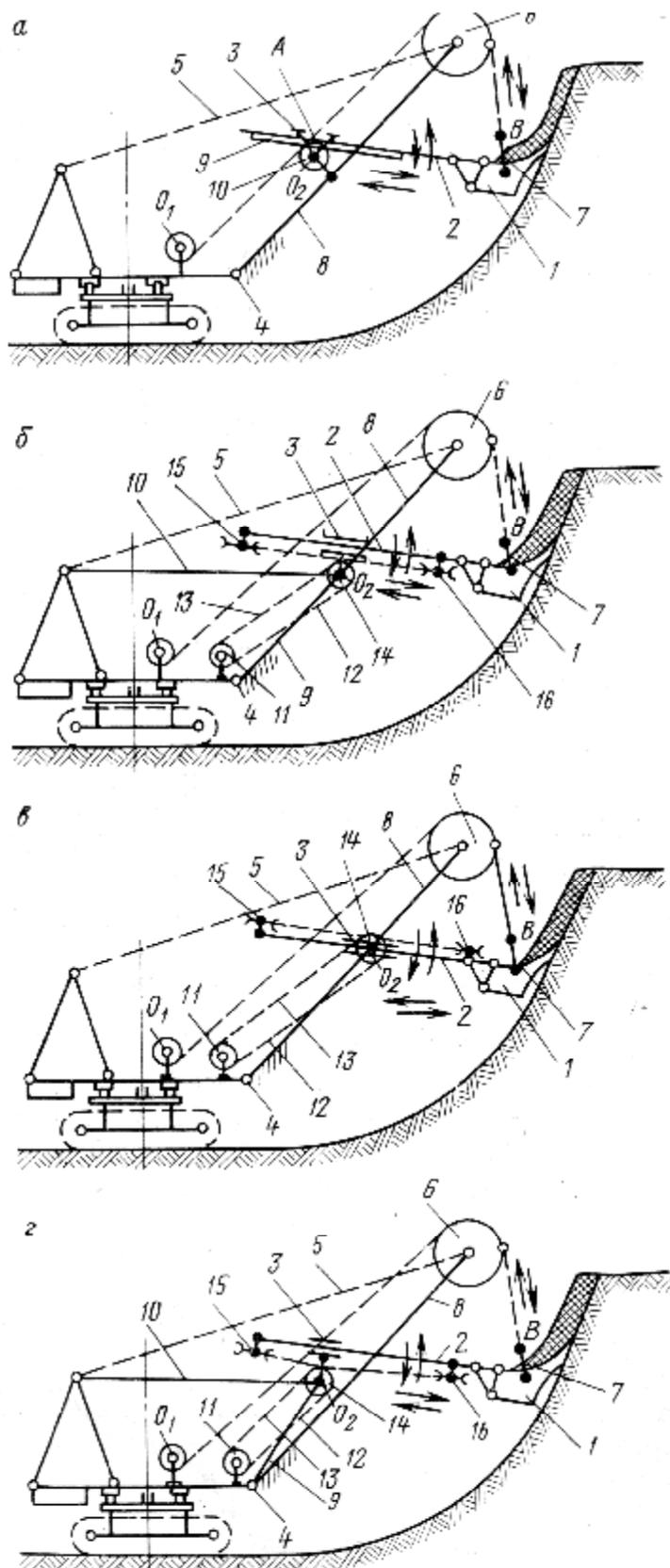


Рис. 3.1. Конструктивные схемы прямой напорной лопацы с выдвжной рукоятью:  
 а) с зубчато-реечным механизмом напора; б) с канатным механизмом напора и стрелой; в) с канатным механизмом напора и неразрезной стрелой; г) с канатным механизмом напора и неразрезной двухбалочной стрелой

- с канатным механизмом напора (рис. 3.1, в) и неразрезной стрелой 8. Седловой подшипник 3 и центральные блоки 14 укрепляются на оси  $O_2$  в стреле. Выдвижение и возврат рукояти осуществляются лебедкой 11 так же, как и на схеме, показанной на рис. 3.1, б;

- с канатным механизмом напора (рис. 3.1, г) и неразрезной двухбалочной стрелой 8. Седловой подшипник 3 установлен в шарнире стойки 9, не связанной со стрелой. Стойка поддерживается подкосом 10. Напорная лебедка 11 расположена в передней части платформы. Выдвижение и возврат рукояти осуществляются так же, как на схеме, показанной на рис. 3.1, б.

Положение рукояти в седловом подшипнике позволяет ей вращаться вокруг оси  $O_2$  крепления седлового подшипника под действием усилия в подъемном канате, а также поступательно перемещаться в седловом подшипнике в результате действия напорного механизма и проворачиваться вокруг продольной оси. Таким образом, рукоять имеет три степени подвижности. Рабочие движения ковша во времени определяются сложением векторов перемещений, обеспечиваемых подъемным и напорным механизмами при вращательном движении барабанов лебедок напора и подъема.

Напорные прямые лопаты предназначены для разработки массивов, расположенных, как правило, выше уровня стояния машины, и способны осуществлять черпание ниже уровня стояния на незначительную глубину, достаточную только для самозаглубления машины при проходке траншей.

Прямые колено-рычажные напорные лопаты (рис. 3.2) имеют рукоять, кинематически не связанную со стрелой и перемещающуюся между стойками двухбалочной неразрезной стрелы. Такого рода лопаты наиболее распространены с двумя системами подачи: зубчато-реечной (рис. 3.2, а) и канатной (рис. 3.2, б).

Элементами рабочего оборудования лопаты являются ковш 1, рукоять 2, стрела 3 с головными блоками 4 и пятой 5, балансир 6, подвеска ковша 7, стреловой полиспаст 8, подъемный канат 9.

У колено-рычажных лопат седловой подшипник А вынесен на двуногую стойку, а подача рукояти на забой осуществляется напорной балкой 10, перемещаемой посредством либо зубчато-реечной системы 11 (рис. 3.2, а), либо системы канатов 12 и 13 (рис. 3.2, б).

В кинематическом отношении неподвижным звеном исполнительного механизма экскаватора является поворотная платформа с двуногой стойкой и стрелой. Напорный механизм передает напорно-возвратное движение балке 10, шарнирносоединенной с балансиром 6. Рукоять и ковш образуют вращательные пары в шарнире D и в точке B. Ковш подвешивается к подъемному канату 9 через подвеску ковша 7. Колено-рычажный механизм воспроизводит движение прямой лопаты в результате вращательного движения кремальерной шестерни вокруг оси  $O_2$ , а также барабанов лебедок относительно точек  $O_1$  и  $O_3$ . Траектории копания определяются в результате сочетания поворотного относительно точки D и поступательного относительно седлового подшипника А движений напорной балки 10 рукояти.

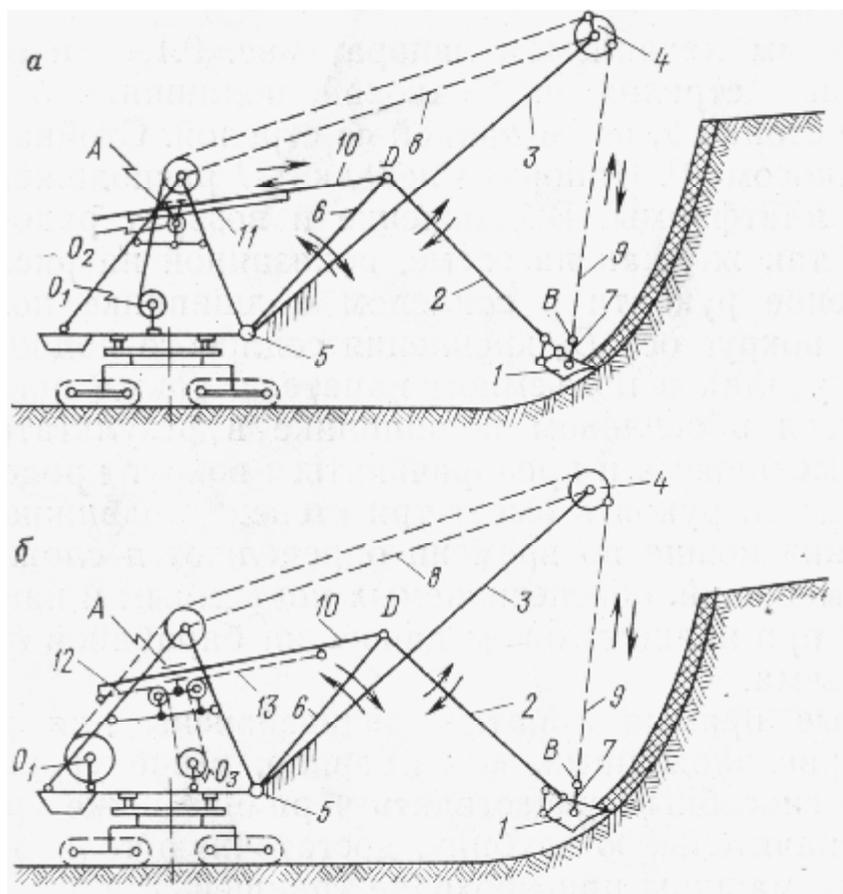


Рис. 3.2. Конструктивные схемы колено-рычажных прямых лопат:  
а) с зубчато-реечной системой подачи; б) с канатной системой подачи

### 3.2. Гидравлический экскаватор

*Гидравлическая прямая лопата с поворотным ковшом* (рис. 3.3, а) имеет следующие элементы рабочего оборудования: стрелу 1, рукоять 2 и ковш 3, соответственно поворачивающиеся относительно шарниров  $O_1$ ,  $O_2$  и  $O_3$  с помощью гидравлических цилиндров подъема – опускания стрелы 4, напора 5 рукояти и поворота 6 ковша. Гидроцилиндр 6 крепится к угловой тяге 7, соединенной шарниром с тягой 5 ковша. В кинематическом отношении неподвижным звеном исполнительного механизма экскаватора является поворотная платформа. Траектория копания образуется сочетанием перемещений основных элементов рабочего оборудования. Гидравлическая прямая лопата может быть выполнена с ковшом, имеющим челюстной створ (на рис. 3.3 не показан). В этом случае в задней стенке ковша устанавливаются дополнительные гидроцилиндры открывания ковша.

*Гидравлическая обратная лопата* (рис. 3.3, б) имеет стрелу 1 и рукоять 2, соединенные балкой 6, наклон которой по отношению к стреле фиксируется тягой 5. Поворот стрелы, рукояти и ковша в рабочем движении осуществляется соответственно вокруг осей  $O_1$ ,  $O_2$  и  $O_3$  гидроцилиндрами 4, 9 и 10. Тяги 7 и 8 служат для крепления ковша. Обратная лопата может иметь неповоротный ковш. В этом случае отсутствует гидроцилиндр 10, а тяги 7 и 8 используются для крепления ковша к рукояти.

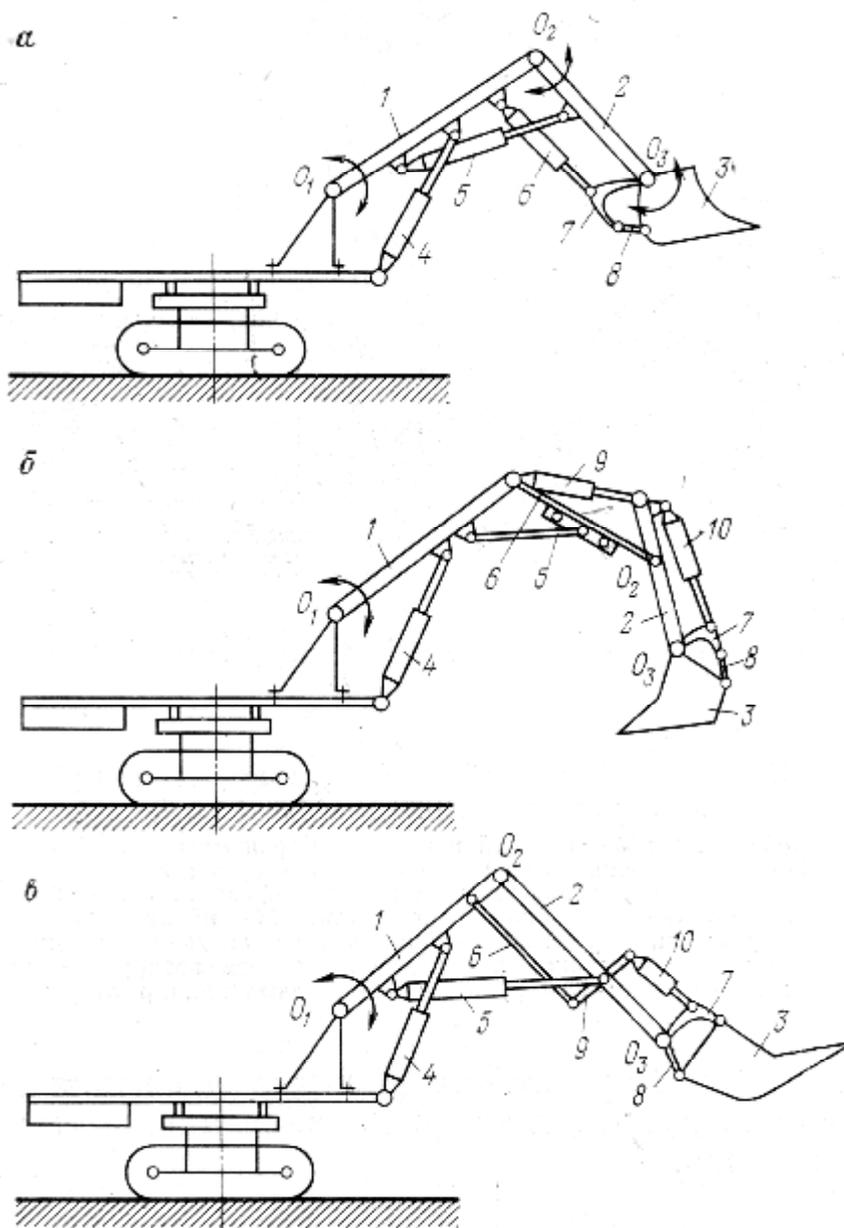


Рис. 3.3. Конструктивные схемы гидравлических экскаваторов со сменным рабочим оборудованием:  
 а – прямой напорной лопаты с поворотным ковшом; б – обратной лопаты с поворотным ковшом; в – ковшового погрузчика

*Гидравлический ковшовый погрузчик* (рис. 3.3, в) имеет стрелу 1, рукоять 2 и ковш 3. Рабочие движения осуществляются их поворотом соответственно вокруг осей  $O_1$ ,  $O_2$  и  $O_3$  с помощью гидроцилиндров 4, 5 и 10. Тяги 6 и 9 образуют параллелограммную подвеску системы поворота ковша, что является характерной особенностью погрузчика. Тяги 7 и 8 используются для крепления ковша к рукояти.

Все перечисленные выше виды оборудования гидравлического экскаватора (прямая и обратная лопаты, погрузчик, а также грейфер, описываемый ниже) могут быть сменными и размещаться на одной базовой машине.

### 3.3. Экскаватор-драглайн

Драглайн (рис. 3.4, а) имеет: ковш с упряжью, тяговый 2 и подъемный 3 канаты, стрелу 4 с направляющими 5, головными блоками 6 и пятой 7. Для перемещения ковша служат лебедки подъема и тяги. Угол наклона стрелы во время работы обычно не меняется и определяется длиной стрелового полиспафта 10.

Исполнительный механизм драглайна имеет два гибких звена-каната, связывающих ковш с ведущими звеньями механизма.

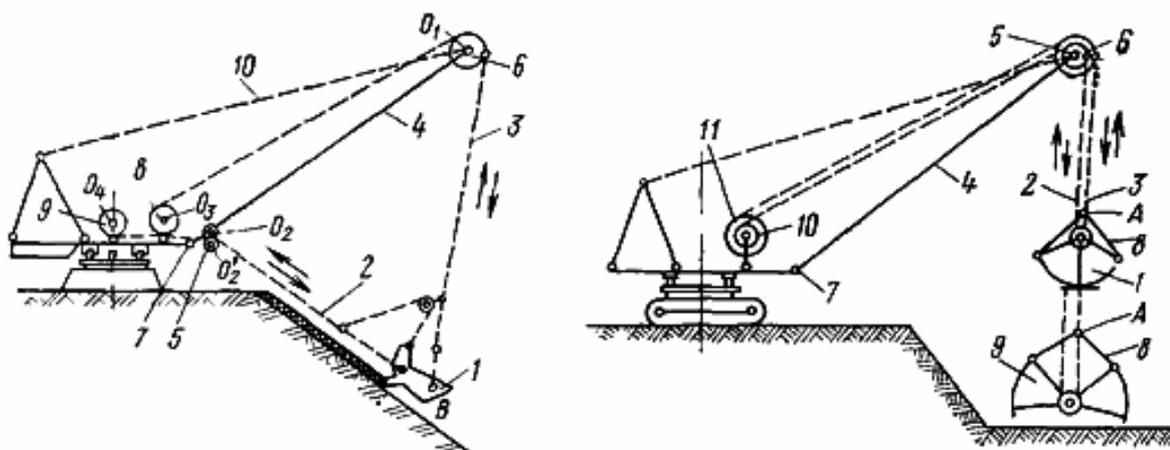


Рис 3.4. Конструктивные схемы экскаваторов:  
а) драглайна; б) грейфера

Неподвижным звеном механизма драглайна является платформа экскаватора с двуногой стойкой и стрелой. Подъемные 8, 10 и тяговые 9, 11 барабаны лебедок образуют с неподвижными звеньями в точках  $O_2$ ,  $O_3$   $O_4$  или  $O_1$   $O_3$  и  $O_4$  вращательные пары. Механизм воспроизводит рабочие движения драглайна в результате перемещений подъемного и тягового канатов. Рабочее оборудование приспособлено к разработке грунта преимущественно ниже уровня стояния, хотя вполне успешно может работать выше этого уровня.

#### Вопросы для контроля

1. Что называется конструктивной схемой?
2. Перечислите три вида рабочего оборудования прямой лопаты.
3. Приведите схему прямой напорной лопаты с выдвижной рукоятью.
4. Что представляет собой зубчато – реечный механизм напора?
5. Из каких основных узлов состоит канатный механизм напора?
6. Какова особенность работы прямой колено-рычажной напорной лопаты?
7. Конструктивная схема гидравлического экскаватора, её работа.
8. Приведите конструктивную схему экскаватора – драглайн.

## Глава 4. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

### 4.1. Кинематическая схема экскаватора – прямая лопата

Для каждого механизма – подъемного, поворотного, ходового и напорного применены отдельные приводы электрических двигателей постоянного тока.

*Подъемный механизм*, служащий для подъема ковша, работает от двигателя 1 (рис. 4.1), который через муфту 2 приводит в движение шевронную зубчатую пару 3 и 4, заключенную в картер редуктора. Зубчатое колесо 4 установлено на промежуточном валу 5, на котором на одном конце закреплен тормозной шкив 6 (промежуточный вал 5 состоит из двух частей, соединяемых между собой эластичной муфтой, наружный обод которой является шкивом тормоза подъемного механизма), а на другом – шестерня 7, сцепленная с зубчатым колесом 8 вала подъемной лебедки. К этому колесу болтами прикрепляют подъемный барабан 9, на котором в специальных отверстиях при помощи клиньев крепят оба конца подъемного каната, пропущенные через верхние блоки стрелы и блок ковша. При навивке каната на барабан производится подъем, при свивке — опускание ковша.

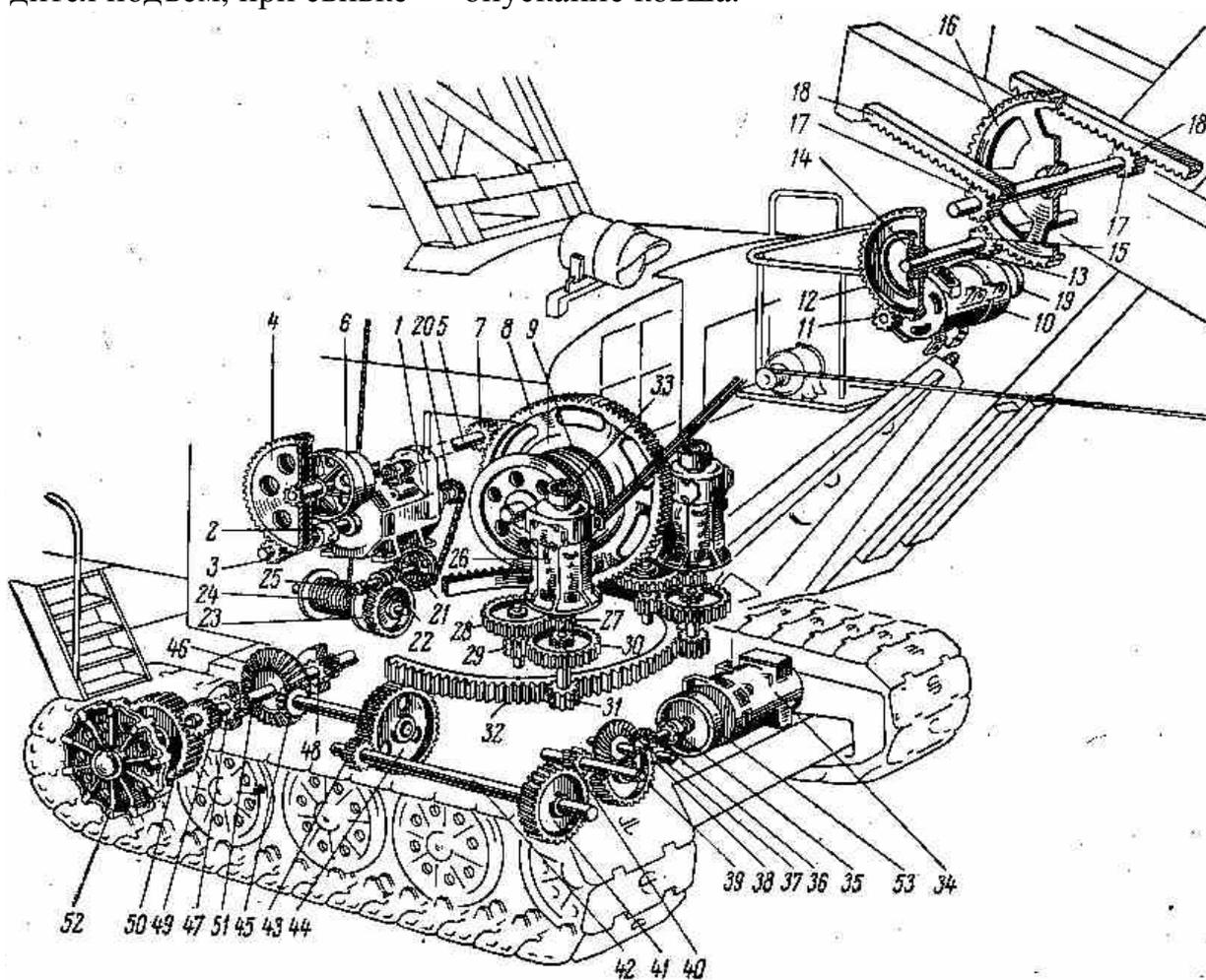


Рис. 4.1. Подъемный механизм экскаватора

*Механизм напора*, установленный на стреле, приводится в действие двигателем 10, на вал которого насажена шестерня 11, находящаяся в зацеплении с зубчатым колесом 12. Колесо сидит свободно на промежуточном валу 13 и соединяется с ним при помощи неуправляемой муфты предельного момента 14. Кроме того, на промежуточном валу установлена на шлицах шестерня 15, сцепленная с зубчатым колесом 16, которая закреплена на ступицах кремальерных шестерен 17, сидящих на оси на подшипниках скольжения.

Кремальерные шестерни находятся в зацеплении с зубчатыми рейками рукояти 18 и при вращении выдвигают или втягивают рукоять.

На другой конец вала двигателя насажен шкив 19 электромагнитного тормоза механизма напора.

*Лебедка для подъема стрелы* приводится в действие подъемным двигателем, на конце вала которого устанавливается звездочка 20, передающая движение через пластинчато-втулочную цепь звездочке 21, сидящей на валу червяка 22. От червяка вращение передается червячному колесу 23, соединенному с барабаном 24 лебедки для подъема стрелы при помощи специальных кулачковых приливов. Червячное колесо и барабан свободно установлены на оси на подшипниках скольжения. Один конец стрелоподъемного каната закрепляют на барабане лебедки, другой пропускают через систему блоков стрелы в А-образной стойке и укрепляют на этой стойке. На валу червяка помещается также тормозной шкив 25, охватываемый постоянно затянутой при помощи пружины тормозной лентой.

*Механизм поворота* состоит из двух одинаковых агрегатов. Каждый из них приводится во вращение отдельным двигателем 26, на нижнем конце вала которого установлена шестерня 27, сцепляющаяся с зубчатым колесом 28, сидящим на одном валу с шестерней 29. Последняя через зубчатое колесо 30 вращает вертикальный вал, на нижнем конце которого сидит шестерня 31, обегая зубчатый венец 32, закрепленный на нижней раме. Шестерни и зубчатые колеса 27, 28, 29 и 30 установлены в картере редуктора. На верхней части вала двигателя установлен шкив 33 тормоза механизма поворота.

*Механизм хода* служит для приведения в движение гусеничного хода, экскаватора. Двигатель хода 34 устанавливается на торцовой плоскости нижней рамы и имеет на валу зубчатую муфту 35, которая соединяет вал двигателя с валом редуктора ходового механизма.

Муфта имеет две зубчатые полумуфты, соединяемые обоймой. Первая полумуфта установлена на шлицах на валу конической шестерни 36, от которой получает движение сцепленная с ней коническая шестерня 37, закрепленная на одном валу с шестерней 38. Последняя находится в зацеплении с шестерней 39, которая помещается на промежуточном валу вместе с шестерней 40, зацепленной, в свою очередь, с шестерней 41, насаженной на вал. Этот вал имеет отверстие со шлицами для установки промежуточного вала 42.

На другом конце вала 42 установлена шестерня 43, находящаяся в зацеплении с шестерней 44, которая при помощи продольного вала и конической пары 45 и 46 приводит в движение среднюю часть поперечного вала 51.

Поперечный вал состоит из трех частей, соединенных управляемыми кулачковыми муфтами 47 и 48. Включая эти муфты, можно соединить среднюю часть одновременно с обеими крайними частями вала или с любой из них. Вращение ведущим колесам 52 гусениц передается при помощи цилиндрической зубчатой пары 49 и 50. Зубчатое колесо 50 установлено на валу ведущего колеса 52 гусеничного хода. Шкив 53 тормоза ходового механизма закреплен в корпусе зубчатой муфты 35. Передачи ходового механизма заключены в картеры.

## 4.2. Запасовка канатов

Подвеска стрелы, подъем ковша и открывание днища ковша экскаватора ЭЖГ производятся при помощи канатов: стрелового, подъемного и открывания днища ковша.

*Стреловой канат.* При запасовке стрелового каната (рис. 4.2) стрелу укладывают на шпальную клетку и пята ее соединяют концами с проушинами поворотной платформы. Один конец стрелового каната при помощи клина закрепляют на барабане лебедки стрелы, другой протягивают через вертикальный блок 1 двуногой стойки, стреловой блок 2, вертикальный блок 3 стойки, стреловой 4, горизонтальный блок 5 траверсы стойки, стреловой блок 6, вертикальный блок 7, стреловой блок 8, и закрепляют в проушине серьги 9, прикрепленной к двуногой стойке.

*Подъемный канат.* Один конец каната 10 (рис. 4.3) закрепляют на барабане лебедки, затем канат огибает головной блок стрелы, блок ковша и через второй головной блок идет на подъемный барабан, где закрепляют другой конец каната. Чтобы подъемный канат при провисании не задевал за стрелу, на стреле у напорного механизма установлена специальная стойка с отклоняющимися роликами.

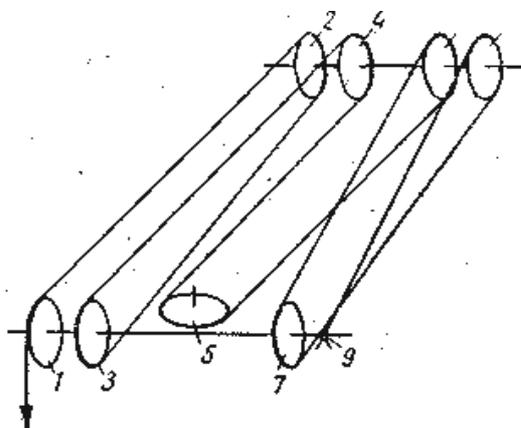


Рис. 4.2. Схема запасовки стрелового каната

Примененная на экскаваторе ЭКГ подвеска ковша без полиспаста способствует повышению коэффициента полезного действия машины и уменьшению износа канатов.

*Канат открывания днища ковша.* Канат одним концом крепят на барабане 16 (рис. 4.3), установленном на валу двигателя 17 механизма открывания днища ковша, а другим – на днище, соединенном цепью с затвором ковша.

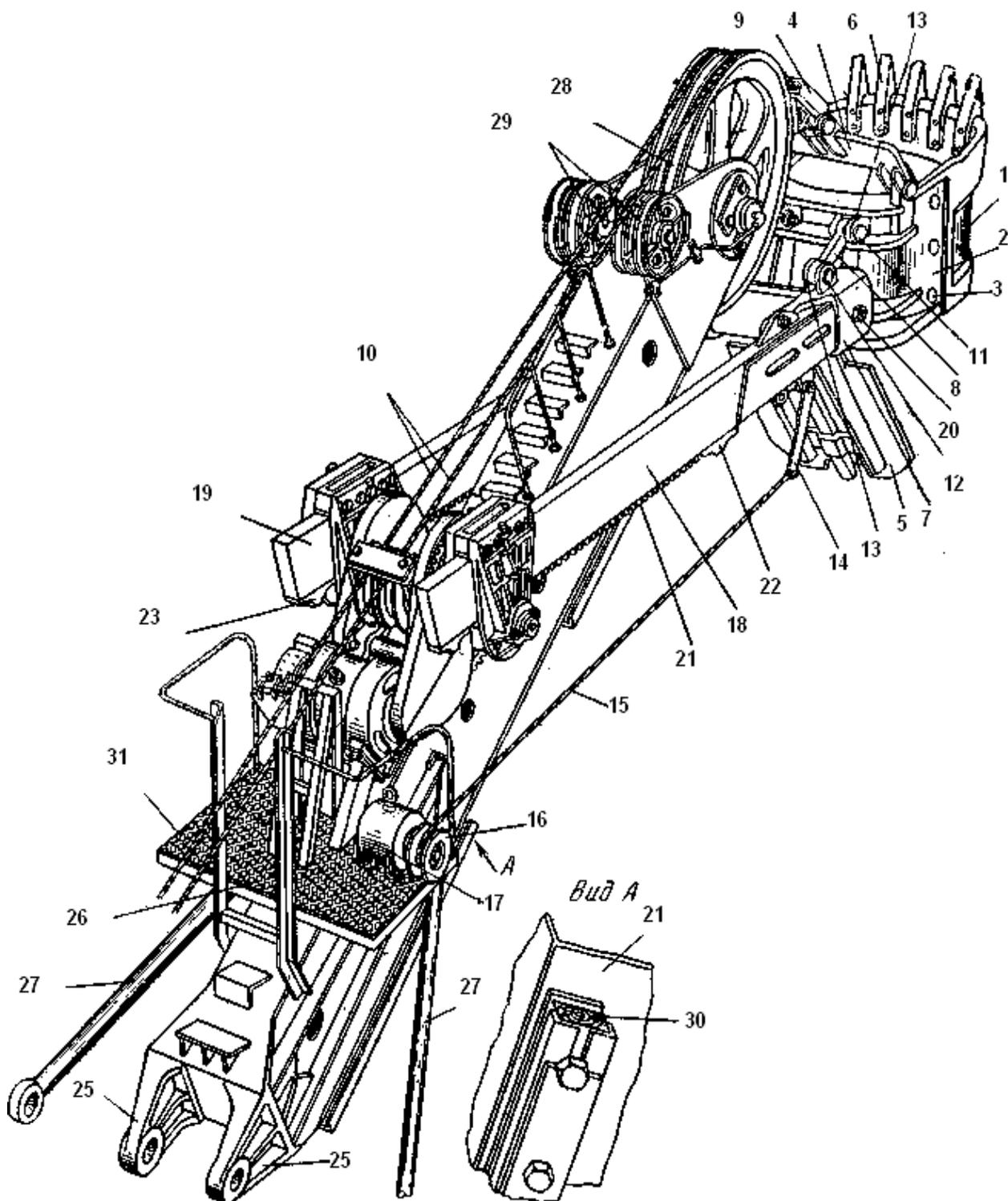


Рис. 4.3. Рабочее оборудование экскаватора ЭКГ

### 4.3. Конструктивные механизмы экскаватора типа ЭКГ

Экскаватор ЭКГ является полноповоротной неуниверсальной землеройной машиной на гусеничном ходу, оборудованной электрическим приводом и системой электрогидравлического и электропневматического управления механизмами, и состоит из следующих основных узлов и механизмов: рабочего оборудования прямой лопаты, поворотной платформы с механизмами и ходового оборудования.

**Рабочее оборудование.** Экскаватор ЭКГ оборудуется рабочим оборудованием прямой лопаты, состоящим из ковша, рукояти стрелы, напорного механизма и механизма открывания днища ковша.

*Ковш* состоит из двух частей передней и задней отливок, соединенных между собой вваренными пробками 3 большого диаметра, коромысла 4 и днища 5. Передняя стенка ковша снабжена пятью съемными зубьями 6, задняя стенка – проушинами для подвешивания днища и соединения с рукоятью.

При помощи пальцев 11 и 12, проходящих через проушины 13 задней отливки 2 ковша и проушины 13а концевой отливки 7 рукояти и тяг 8, ковш соединяется с рукоятью.

Коромысло 4 соединяется с ковшом шарнирно. В верхних проушинах коромысла при помощи пальца шарнирно закреплена обойма 9, в которой на оси находится блок ковша. При помощи этого блока ковш подвешивают на подъемном канате 10. Обойма блока ковша имеет упор для предотвращения поломки обоймы или головных блоков при подъеме ковша и головной части стрелы.

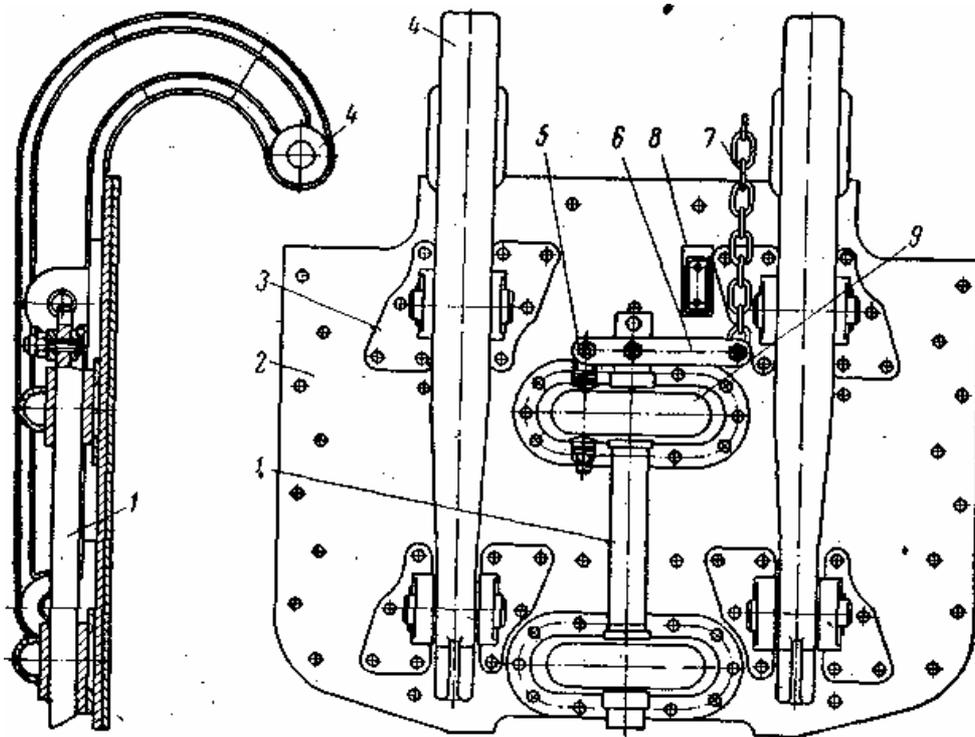


Рис. 4.4. Днище ковша и запирающий механизм

Днище 5 ковша подвешено шарнирно на пальцах к нижней части корпуса ковша. Днище склепывается из двух стальных листов 2 (рис. 4.4), к которым приклепаны кронштейны 3 с петлями 4, служащими для подвески днища.

*Механизм открывания днища ковша* состоит из засова 1, перемещающегося в направляющих скобах 9 по листу 2 днища между петлями 4. Засов перемещается при помощи рычага 6, соединенного шарниром с засовом и цепью 7 с рычагами открывания днища ковша. Величина перемещения засова ограничивается упором 8, положение засова относительно днища регулируется при помощи шайб 5. Рычаги 14 (рис. 4.3) закреплены на валике, помещенном в проушинах концевой отливки 7 рукояти, и соединяются канатом 15 с барабаном 16, сидящим на валу двигателя 17.

Двигатель установлен на площадке напорного механизма и постоянно включен в электрическую цепь. Нормально к двигателю подведено напряжение, которое обуславливает незначительный момент на валу двигателя, достаточный только для удержания каната 15 в натянутом состоянии. Когда необходимо открыть днище ковша, машинист экскаватора включает полное напряжение.

Закрывается ковш автоматически при опускании рукояти вниз, при этом засов скользит своим скосом по передней стенке ковша и, движимый собственным весом, попадает в окно передней отливки ковша.

*Рукоять* состоит из двух сварных балок 18 и 19, которые соединены концевой отливкой 7 при помощи болтов 20 (рис. 4.3). К нижней стороне балок приваривают секции зубчатых реек 21. Для ограничения хода рукояти на концах реек устанавливают передние 22 и задние 23 упоры. Задний упор крепится к балке рукояти болтами, передний упор приваривается к ней.

Концевая отливка рукояти соединена с ковшом при помощи проушин и тяг 8, длина которых определяет положение ковша относительно рукояти.

*Стрела* представляет собой цельносварную коробчатую балку 24 с внутренними диафрагмами. К нижней части стрелы приварены две литые пяты 25. При помощи пальцев пяты стрела соединяется с проушинами поворотной платформы. Для большей устойчивости стрела дополнительно крепится к поворотной платформе при помощи тяг 27. На оси головной части стрелы на подшипниках качения устанавливают головные блоки 28 большого диаметра (1800 мм). В головной части стрелы на двух осях смонтированы четыре поддерживающих блока 29 стрелового каната. Посередине стрелы с верхней стороны приварена плита 26 напорного механизма (рис. 4.3).

Для смягчения случайных ударов ковша о стрелу на нижней стороне последней помещают буфера 30 из деревянных брусьев, обшитых стальными листами.

Для обслуживания напорного механизма предусмотрена площадка 31 с перилами.

Механизм напора экскаватора ЭКГ приводится в действие двигателем, на валу которого закреплена шестерня, находящаяся в зацеплении с шестерней 7 (рис. 4.5) промежуточного вала – шестерни 1. На этом промежуточном валу в средней части имеется шестерня 2, которой приводится в действие вал напора 1 (рис. 4.6).

На валу на шлицах установлен шкив 10 (рис. 4.5) фрикционной муфты предельного момента. Эта муфта состоит из двух колодок 3, охватывающих шкив. Колодки соединены двумя шарнирными серьгами 5 и стяжной гайкой 4, плотно прижимающей колодки к шкиву.

В зубчатом колесе 7 запрессован палец 6, на который надеваются серьги, соединяющие колодки.

Колодки, прижатые к телу шкива, силой трения увлекают за собой шкив. Затягивая гайку, можно регулировать силу нажатия колодок на шкив и величину передаваемого муфтой крутящего момента. Муфта и зубчатая передача закрыты кожухом 8 с крышкой 9. Эта шестерня установлена на подшипниках качения 11 в разъемных корпусах стрелы.

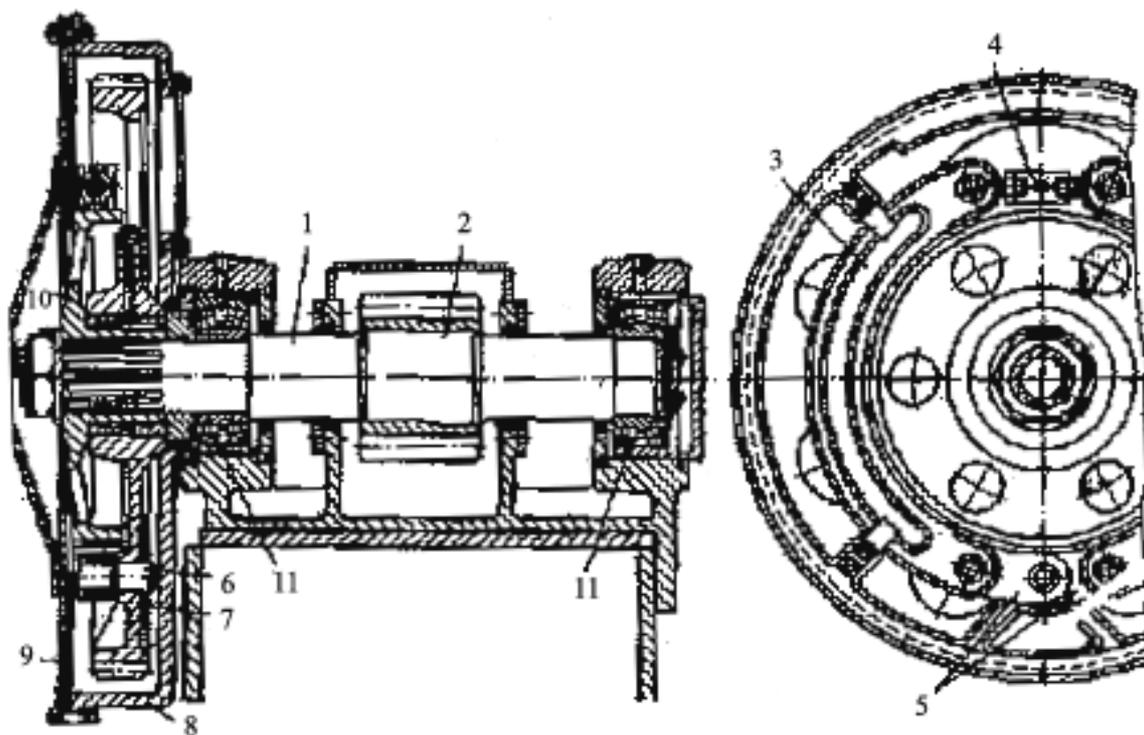


Рис. 4.5. Промежуточный вал механизма напора экскаватора ЭКГ

Узел вала экскаватора ЭКГ показан на рис. 4.6. На вал 1 насажены на шлицах зубчатое колесо 2, находящееся в зацеплении с валом-шестерней 2 (рис. 4.5) промежуточного вала механизма напора, и две кремальерные шестерни 3 (рис. 4.6), сцепленные с зубчатыми рейками 4 балок рукоятей 5. Силловые подшипники вращаются на бронзовых втулках 7 на напорном валу и на кольцевой части плиты механизма напора.

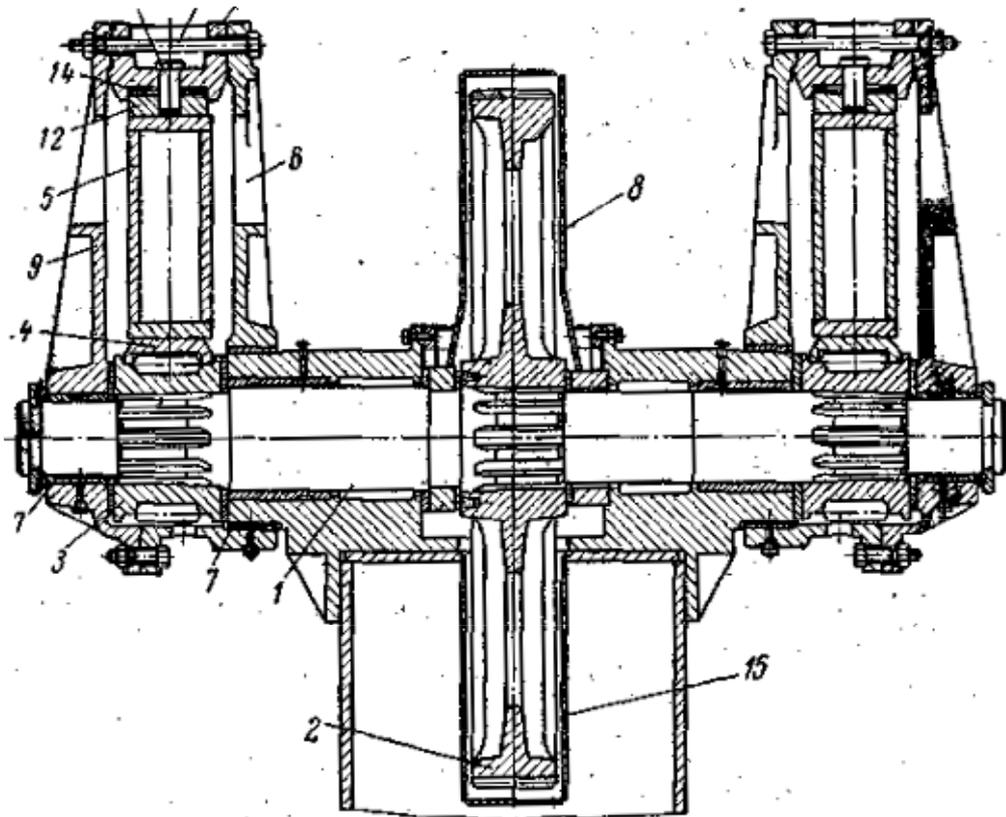


Рис. 4.6. Вал напора экскаватора ЭКГ

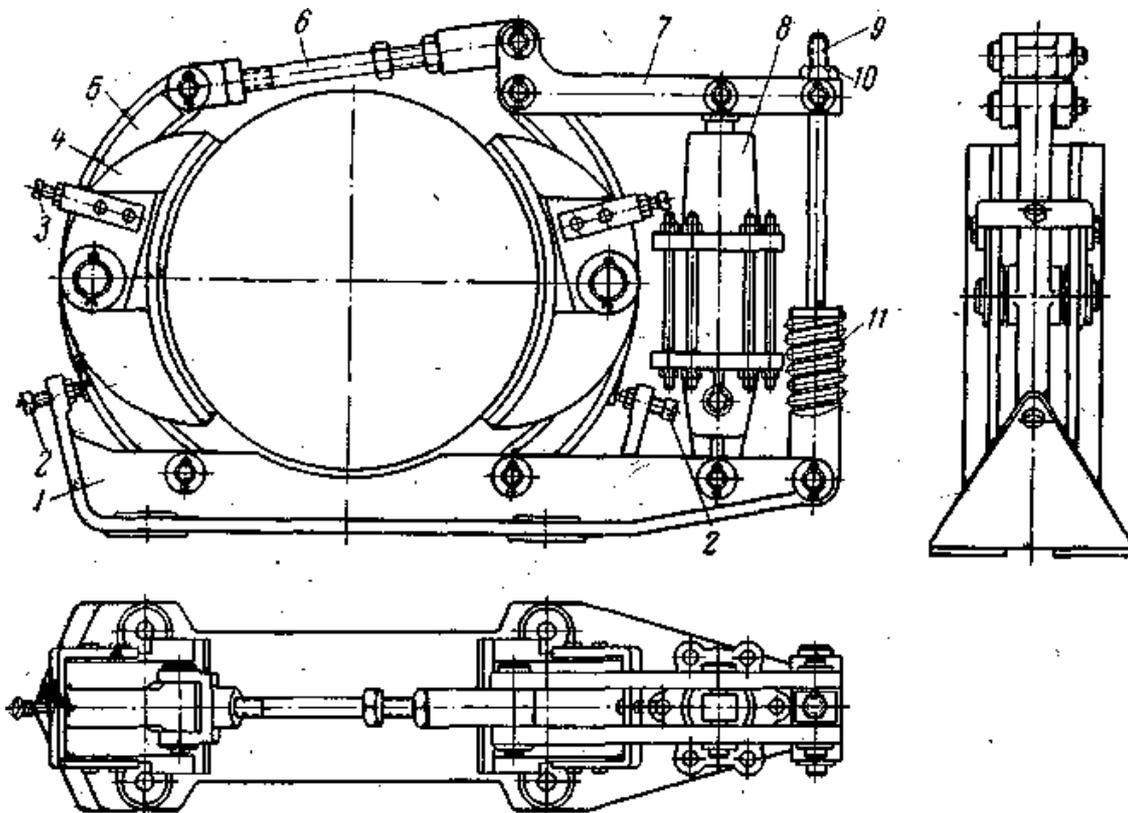


Рис. 4.7. Тормоз напорного механизма экскаватора ЭКГ

Седловые подшипники состоят из двух щек 9 и 6, соединенных между собой болтами 10, сухаря 11 и ползуна 12. Ползун соединяется с сухарем двумя болтами и удерживается от продольного сдвига штифтом 13; между ползуном и сухарем помещен набор регулировочных прокладок 14. Зубчатая передача от промежуточного вала к напорному помещена в масляную ванну 15, верхняя часть которой закрыта кожухом 8.

*Тормоз напорного механизма* экскаватора ЭКГ – колодочного типа (рис. 4.7), состоит из станины 1, двух рычагов 5 с колодками 4, соединенных регулировочным болтом 6. Колодки прижимаются к тормозному шкиву пружиной 11 через тягу 9 и рычаг 7 и находятся всегда в заторможенном состоянии. При подаче сжатого воздуха в рабочий цилиндр 8 его шток сжимает пружину, концы рычагов 5 расходятся и отводят колодки от тормозного шкива. Отход колодок регулируется болтами 2 и 3, установленными в станине; натяжение пружины регулируется гайкой 10.

#### **4.4. Поворотная платформа с механизмами**

Поворотная платформа служит основанием для установленных на ней механизмов и рабочего оборудования и вместе с ковшами составляет поворотную часть экскаватора.

На поворотной платформе (рис. 4.8) помещаются подъемная лебедка 1, два поворотных механизма 2, лебедка для подъема стрелы 3, электрооборудование (двигатель-генераторная группа) 4, трансформатор 5, распределительный ящик 6, контакторная панель 9, компрессорная установка электропневмоуправления 7, пульт управления 8, стрела, двуногая стойка и кузов экскаватора.

Поворотная платформа (рис. 4.9) состоит из поворотной рамы 1, левой 2 и правой 3 площадок и корпуса противовесной плиты 4, которые соединены в одно целое при помощи болтов.

Поворотная рама представляет собой сварную конструкцию из стальных отливок и листов, а корпус противовеса – сварную коробку. В передней части поворотной платформы имеются проушины 5 и 6 для крепления пяты и раскосов стрелы; кроме того, в передней части расположены проушины 7 для крепления двуногой стойки и стаканы 8 для валов поворотных механизмов. В центральной части поворотной рамы находится стакан 9 центральной цапфы.

На верхней площадке корпуса противовесной плиты расположена сварная рама 10 для двигатель-генераторного агрегата.

Корпус противовеса при монтаже загружается балластом (в качестве балласта может быть использован гравий или щебень тяжелых твердых горных пород). Вес балласта должен быть при работе с ковшом емкостью 3 м – 20 т, с ковшом емкостью 4 м – 25 т и с ковшом 5 м – 30 т.

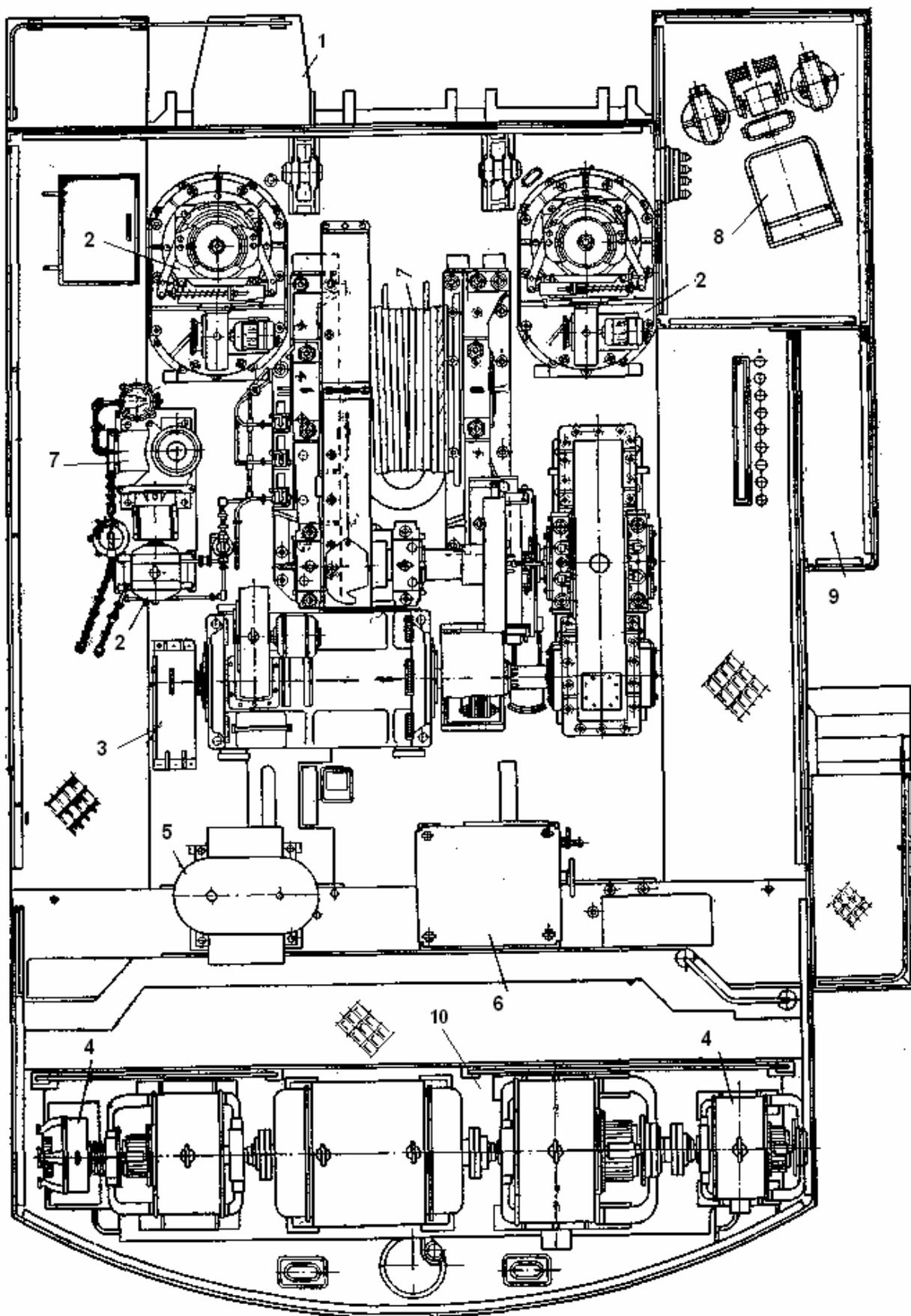


Рис. 4.8. Расположение механизмов на поворотной платформе экскаватора ЭКГ

Двуногая стойка состоит из двух передних стоек 11 и двух задних оттяжек 12, которые крепятся на поворотной раме в проушинах 7 и отверстиях. В верхней части двуногой стойки размещены три вертикальных блока 13 и один горизонтальный 14 для стрелового каната. Горизонтальный блок установлен в обойме траверсы. Двуногая стойка служит для подвески стрелы при помощи восьмикратного полиспаста.

#### 4.4.1. Механизмы поворотной платформы

Механизмы на поворотной платформе закрыты металлическим кузовом. В передней правой части кузова расположена кабина машиниста и помещены аппараты управления экскаватором.

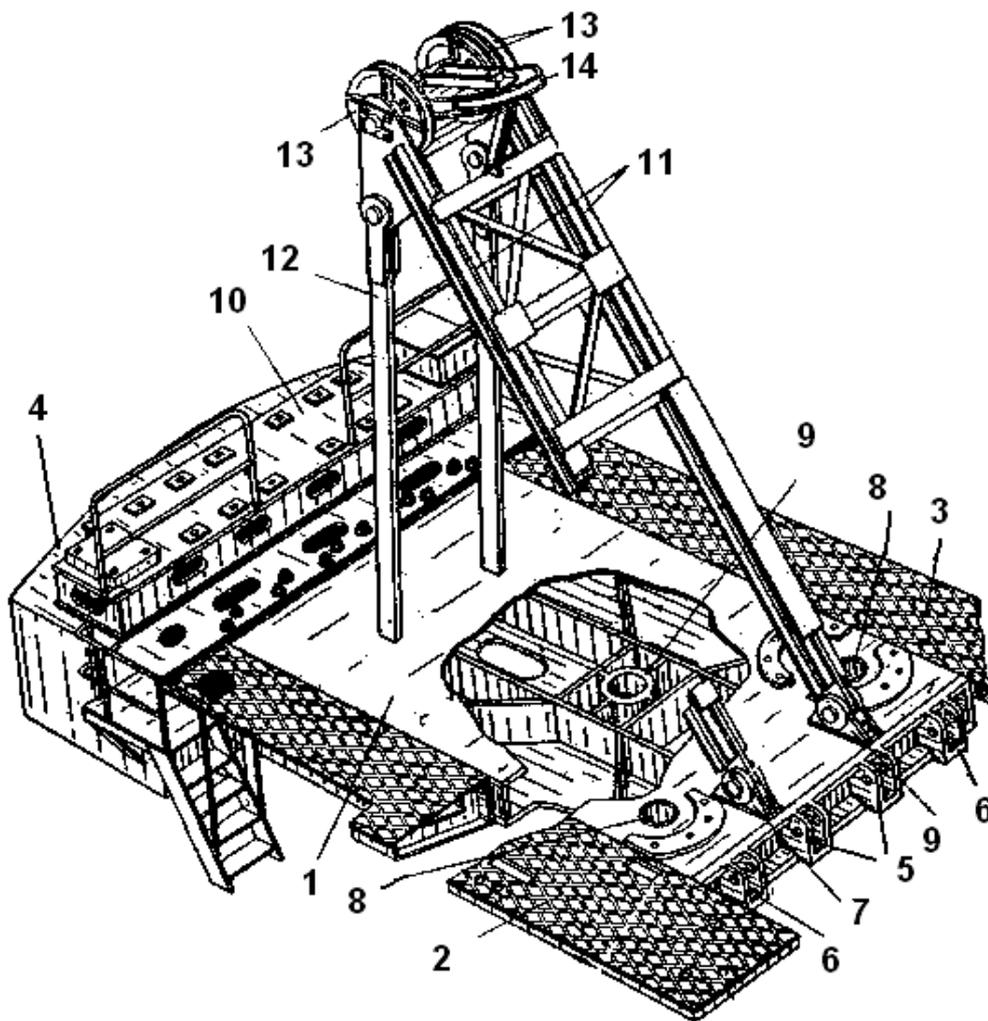


Рис. 4.9. Конструкция поворотной платформы

Поворотная платформа 1 через верхний рельс 1а (рис. 4.10) опирается на опорно-поворотный роликовый круг, состоящий из опорных роликов 2, помещенных в обойме 3; ролики 2 установлены на кольцевом рельсе 4 нижней рамы 5 экскаватора. Платформа соединена с нижней рамой при помощи центральной цапфы 6, нижняя часть которой входит во втулку 22 централь-

ного отверстия нижней рамы. Верхняя часть цапфы укреплена в центральном стакане 7 поворотной платформы и удерживается в нем стопорной планкой и болтами; втулка входит в центральное отверстие 8 выдвижной рамы и вращается в ней при поворотах платформы экскаватора. Цапфа 6 обеспечивает центральное расположение поворотной платформы относительно нижней рамы. Кроме того, при помощи нижней сферической гайки 9, которая навинчивается на нижнюю часть стакана, центральная цапфа удерживает платформу при копании от смещения в вертикальной плоскости относительно нижней рамы.

Гайка фиксируется относительно центральной части цапфы стопорными планками 10 и болтами и самоустанавливается при помощи сферической шайбы 11. В стакане имеется сквозное осевое отверстие для проводки кабеля с поворотной платформы к электрооборудованию, помещенному на нижней раме.

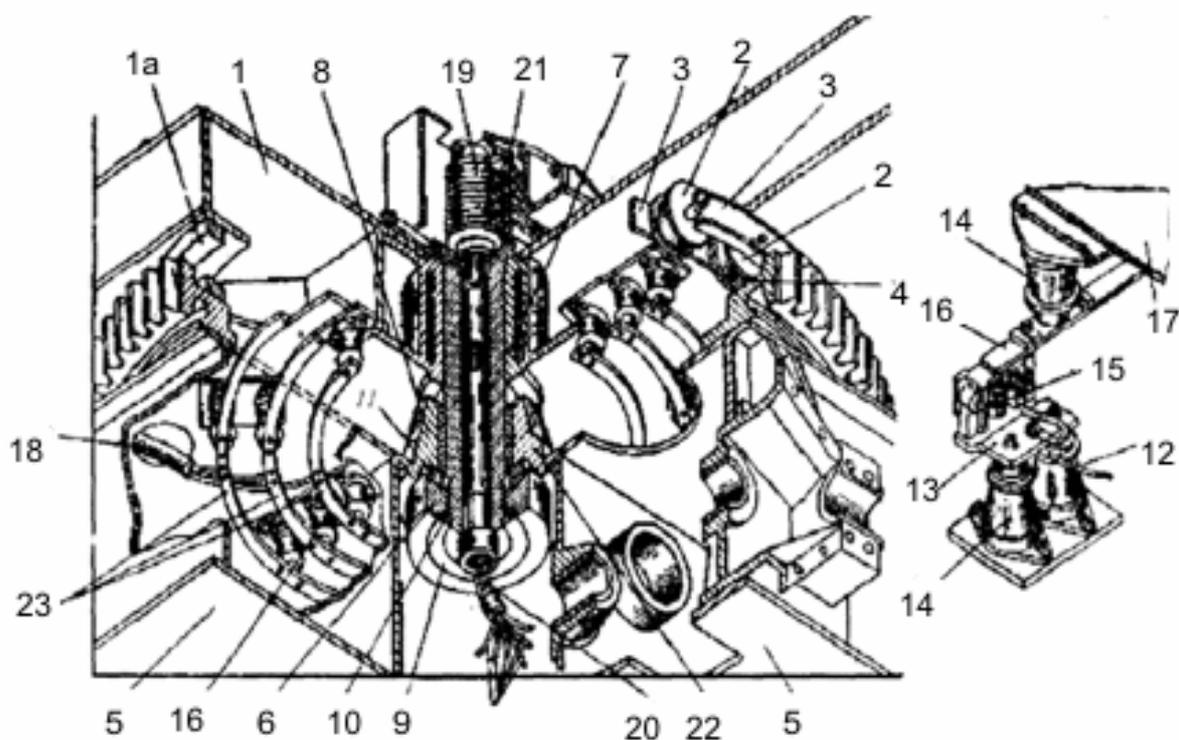


Рис. 4.10. Центральная цапфа и токосъемное устройство

*Подъемная лебедка* (рис. 4.11), или подъемный механизм, служит для подъема ковша при копании. Она устанавливается на поворотной раме и приводится в движение двигателем 1, который при помощи зубчатой муфты 2, управляемой рычагом 6, передает вращение шевронной зубчатой паре 3 и 4 редуктора, помещенной в масляную ванну 5. Малая шестерня 3 редуктора представляет собой вал-шестерню, установленную на роликоподшипниках 7, расположенных в корпусе. Шевронное колесо 4 сидит на шпонке на промежуточном валу 8, опирающемся на роликоподшипники 9 и несущем на одном конце установленный; на шпонках тормозной шкив 10, а на другом – шестерню 11, установленную на шлицах и сцепленную с зубчатым колесом 12; к

зубчатому колесу 12 болтами крепится подъемный барабан 13. Барабан подъемной лебедки сидит на шпонках на валу 14, установленном на роликоподшипниках 15. Подъемный канат закрепляется в отверстиях барабана при помощи клиньев. Между подъемным двигателем и редуктором помещена зубчатая муфта, которая может разъединять вал двигателя и вал редуктора в случае необходимости отключения подъемного механизма (при работе лебедки подъема стрелы, приводимой в движение от подъемного двигателя).

*Зубчатая муфта* (рис. 4.12) состоит из двух полумуфт: левой 1, сидящей на конусном конце 2 вала двигателя, и гидравликой 3, сидящей на шлицевом конце 4 вал-шестерни редуктора; полумуфты имеют на стороне зубья 5, которые сцепляются с зубьями левой 6 и правой 7 обойм. Фланцы 8 обойм соединены между собой болтами 9.

Правая полумуфта 3 при помощи рычага 10 может двигаться на шлицах в осевом направлении; при этом зубья полумуфты 3 и зубья обоймы 7 могут расцепляться.

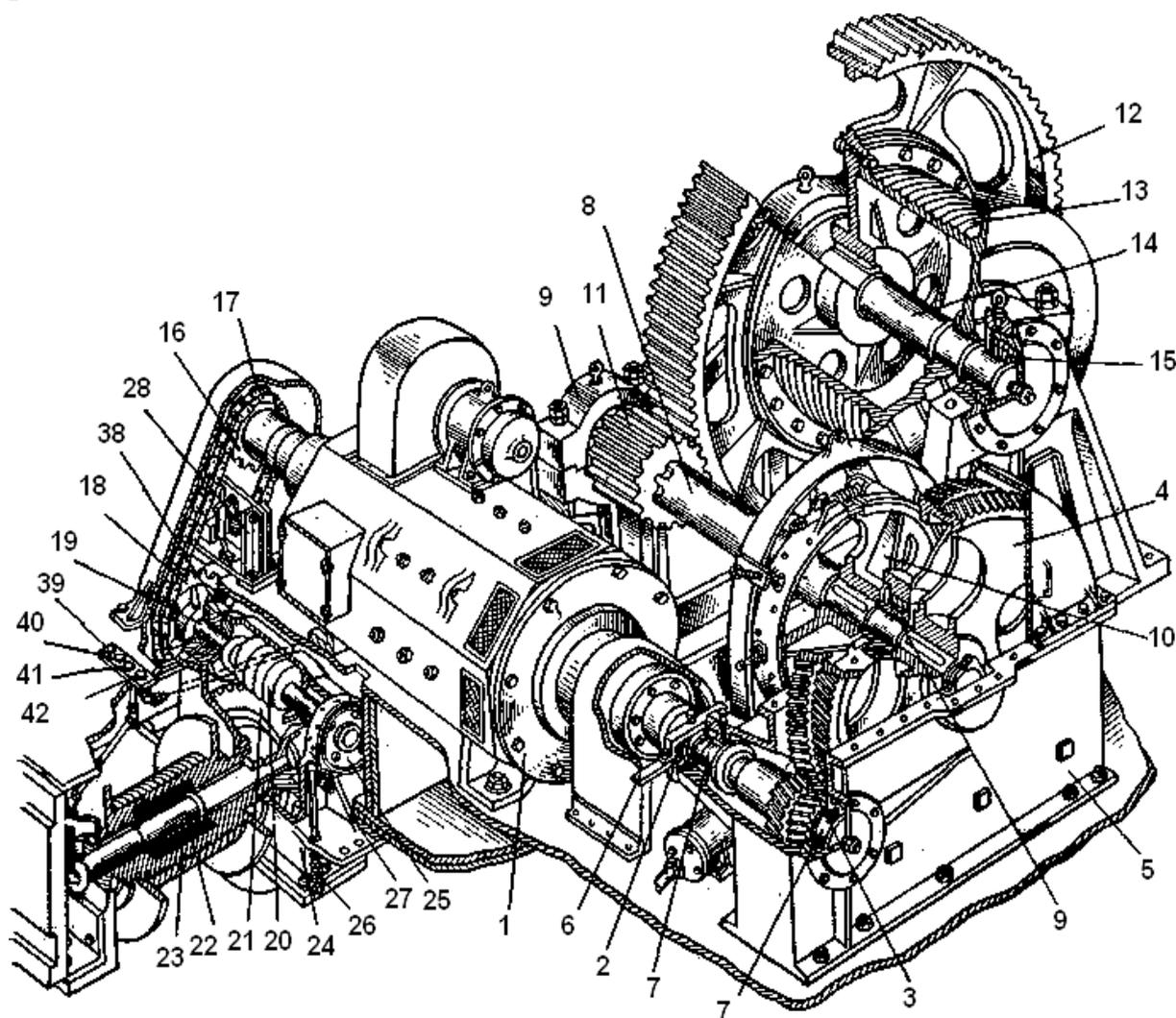


Рис. 4.11. Подъемная лебедка экскаватора  
 а) лебедка для подъема стрелы; б) блокирующий механизм

Для выключения рычаг переводится в крайнее левое положение, при этом зубья правой полумуфты выводятся из зацепления с зубьями обоймы. При включении рычаг переводится в крайнее правое положение, при котором зубья правой полумуфты сцеплены зубьями. Трущиеся поверхности включающего механизма муфты смазывают при помощи масленки 11.

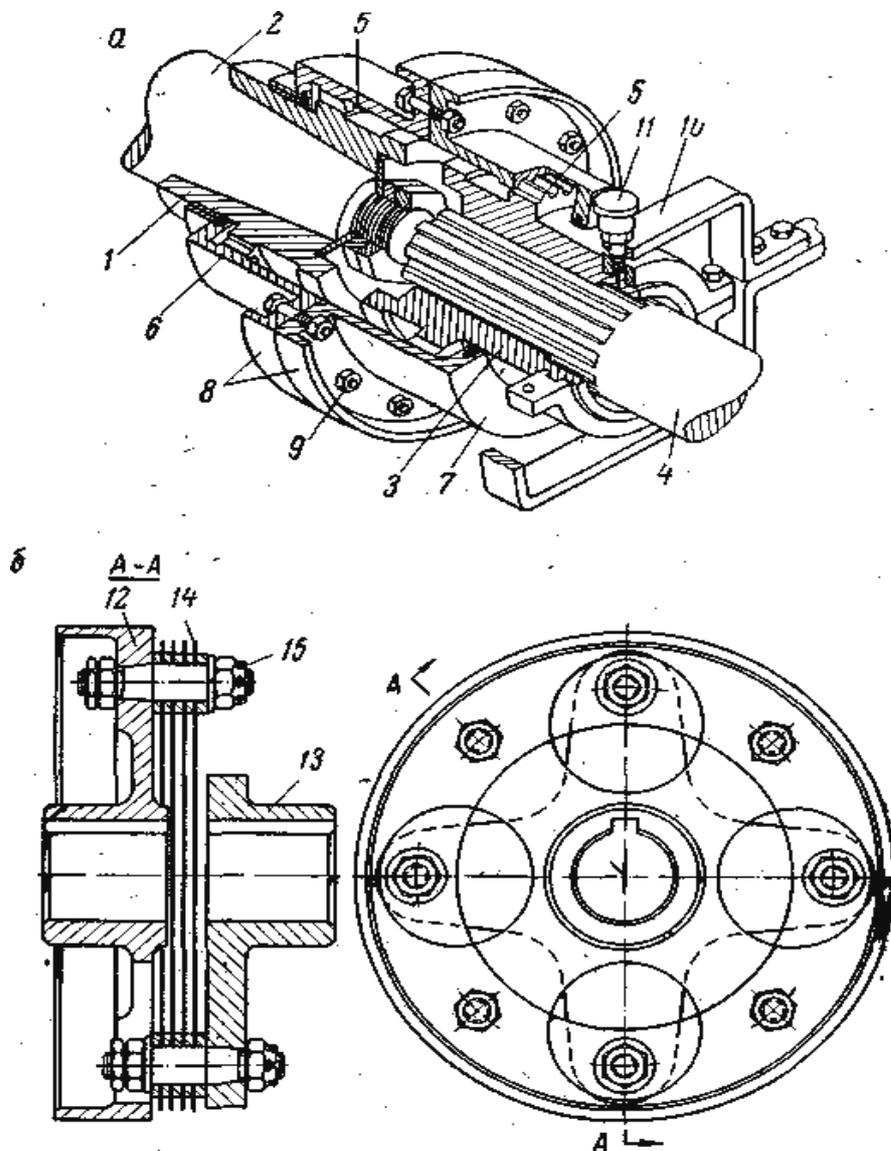


Рис. 4.12. Муфты вала двигателя:  
а) зубчатая; б) пластична

В усовершенствованной модели экскаваторов ЭКГ, зубчатая муфта 2 (рис. 4.12, а) вала двигателя заменена упругой муфтой (рис. 4.12, б). Полу-муфты 12 и 13, сидящие одна на конусном валу двигателя, другая на шлицевом конце вала редуктора, соединяются между собой посредством дисков 14 из прорезиненной ткани и пальцев 15 с конусом.

На экскаваторах ЭКГ конструкция подъемной лебедки несколько изменена (рис. 4.13); промежуточный вал в этом случае состоит из двух валов 1 и 2, соединяемых при помощи муфты 3. Наружная цилиндрическая поверх-

ность муфты служит тормозным шкивом 4 тормоза 5 подъемного механизма. Редуктор 6 лебедки – одноступенчатый, имеет литой корпус и сварную крышку; шевронная передача редуктора находится в масляной ванне. Редуктор 7 барабана также одноступенчатый, имеет сварной кожух.

Валы барабана и редуктора смонтированы на двух стойках 8 и 9 на подшипниках качения. Барабан соединен с зубчатым колесом болтами и имеет два клиновидных паза для крепления подъемного каната. Вал двигателя соединен с выходным валом редуктора при помощи упругой муфты.

*Лебедка для подъема стрелы* (рис. 4.11, а) также приводится в движение подъемным двигателем. На конце вала двигателя установлена звездочка 16, передающая движение при помощи цепи 17 звездочке 18, посаженной на вал 19 червяка.

От червяка 20 движение передается червячному колесу 21, сидящему на одной оси 22 с барабаном лебедки 23. Червячное колесо и барабан установлены на оси на подшипниках скольжения и соединены при помощи специального кулачкового устройства. Червячная передача заключена в масляную ванну 24, корпус которой прикреплен к поворотной платформе в специальном вырезе. На валу червяка помещается тормозной шкив 25, постоянно зажатый при помощи пружины 26, обхватывающей его тормозной лентой 27. В качестве упорного подшипника червяка применен шарикоподшипник 38.

Смазка задней втулки червячного вала производится при помощи пресс-масленки 39, передней втулки – 40, задней втулки барабана и червячного колеса – масленки 41 и передней втулки барабана – масленки 42.

Во время работы подъемной лебедки отключают лебедку для подъема стрелы, для чего разъединяют цепь 17 и снимают ее со звездочки 16. Для предотвращения случайного включения подъемной лебедки при неснятой цепи имеется специальный блокирующий механизм 28, который состоит из стойки 29 (рис. 4.11, б) с закрепленными на ней рычагом 33 и конечным выключателем 30 с рычагом 31; последний имеет на конце ролик 32. К ролику прикреплены выключающая рейка 34 и рычаг 35 с возвратной пружиной 36.

Конечный выключатель сблокирован с золотником включений цилиндра тормоза подъемной лебедки; нижний конец выключающей рейки 34 входит в отверстие направляющей планки 37.

Для подъема стрелы рычаг 33 поднимается вверх пружиной 36 и рейка 34 отводит ролик 32 конечного выключателя.

Для работы подъемной лебедки необходимо снять со звездочки 16 цепь 17 и накинуть её на рычаг 33 блокирующего механизма. Рычаг под действием веса цепи опускается и устанавливает ролик конечного выключателя в положение, при котором может быть осуществлено беспрепятственное включение и выключение тормоза подъемной лебедки.

*Поворотный механизм* (рис. 4.14) служит для поворота верхней платформы экскаватора и состоит из двух одинаковых агрегатов с общим электрическим и электрогидравлическим управлением. Каждый агрегат приводится во вращение вертикальным фланцевым двигателем с шестерней 2, установленной на конце вала и сцепленной с зубчатым колесом 3, которое посажено на вал-шестерню 4.

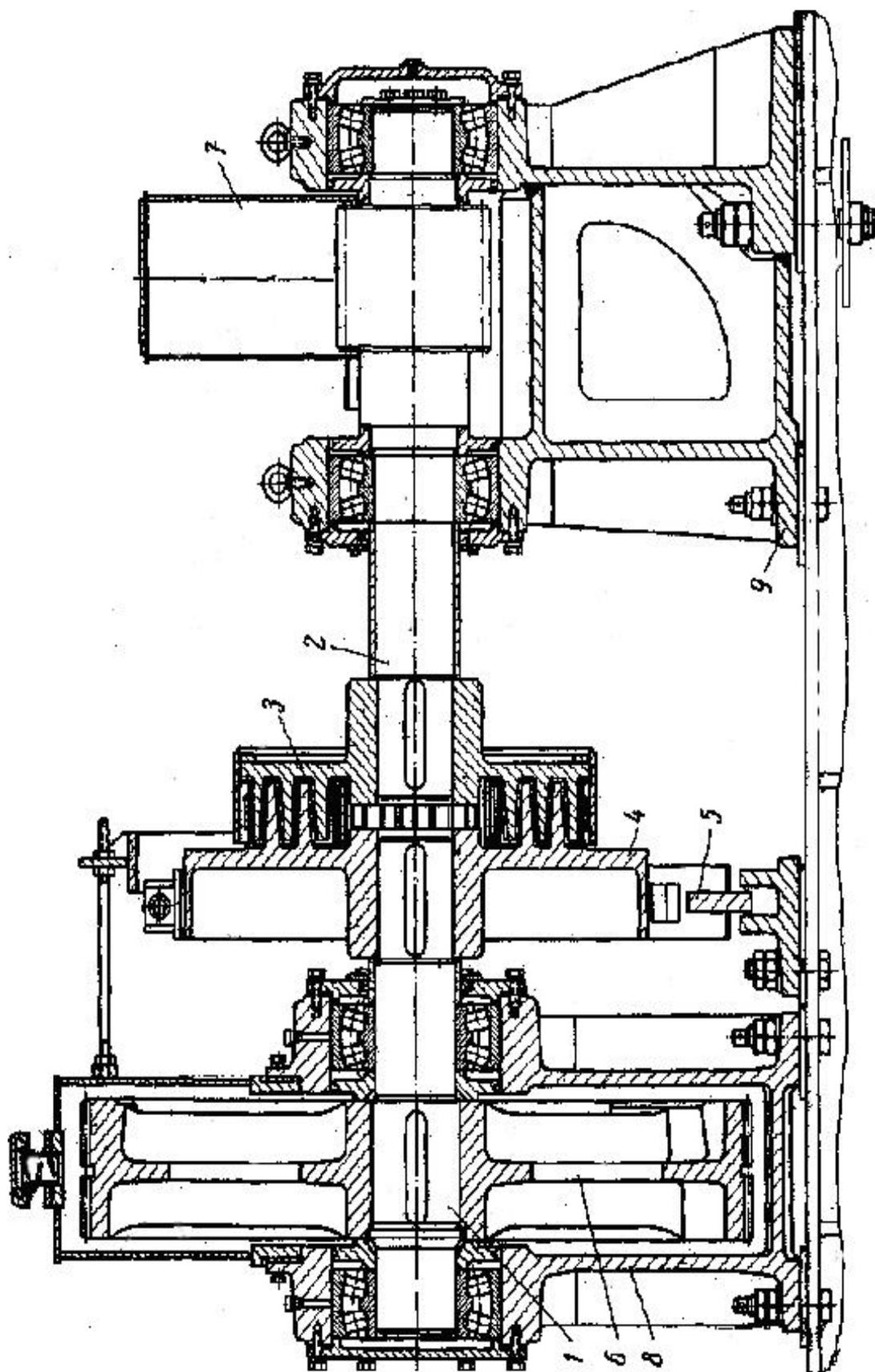


Рис. 4.13. Промежуточный вал

1, 2 – валы; 3 – муфта; 4 – тормозной шкив; 5 – тормозная колодка; 6 – редуктор лебедки;  
7 – редуктор барабана; 8, 9 – стойки подшипников качения

Вал-шестерня через зубчатое колесо 5 вращает вертикальный вал 6, на нижнем конце которого находится шестерня 7, обгоняющая при вращении зубчатый венец 8, установленный на нижней раме. Передачи редуктора поворотного механизма работают в масляной ванне 9, корпус которой крепится к поворотной платформе 10 при помощи болтов 11. На крышке 12 редуктора при помощи фланца установлен двигатель. Вал-шестерня 4 вращается в шарикоподшипниках 13 и 14, установленных в корпусе редуктора; вертикальный вал 6 расположен в стакане 15, помещенном в расточке 16 поворотной платформы 10. На двигателе смонтирован тормоз 17 поворотного механизма.

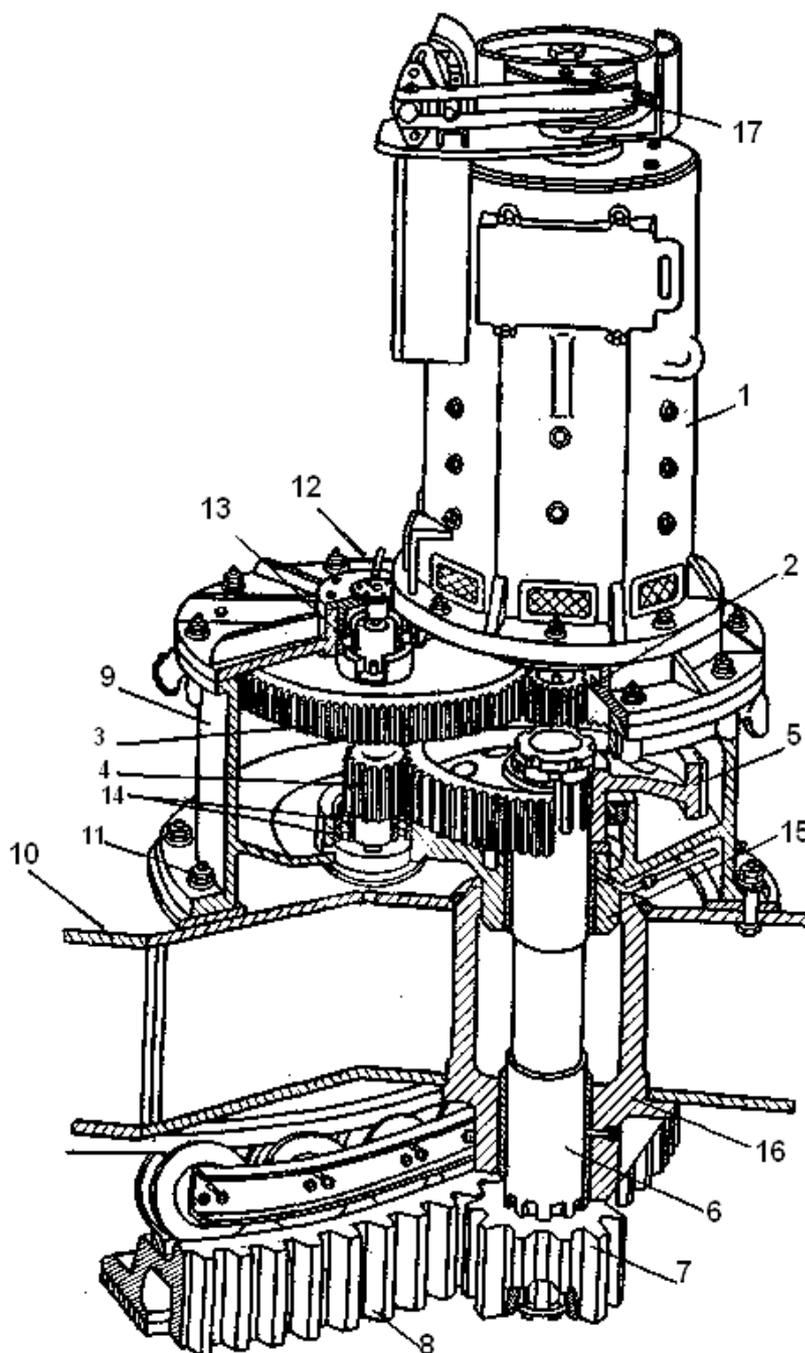


Рис. 4.14. Поворотный механизм

Каркас 1 тормоза прикрепляется к лапам двигателя и служит основанием для осей 2 рычагов 3, которые валиками 4 соединены с тормозными колодками, имеющими фрикционные накладки 6. Один рычаг соединен с гидравлическим цилиндром 8, другой – с его поршень-штоком 9. Между уступом штока и шайбой 10, соединенной с цилиндром болтами 11, помещается пружина 12, под действием которой тормоз постоянно находится в зажатом состоянии. При подаче масла по маслопроводу 13 поршень под давлением масла перемещается и давит на пружину, пружина сжимается, концы рычагов при этом расходятся и отводят колодки от тормозного шкива.

Ход рычагов ограничивается болтами 14, которые укреплены в валиках, установленных на каркасе тормоза. Болты проходят через траверсы 16. Равномерность отхода колодок регулируется шпильками 7 с пружинами.

#### ***4.4.2. Нижняя рама и ходовое оборудование***

*Нижняя рама 1* (рис. 4.15) экскаватора сварная, прямоугольной формы, коробчатого сечения. Внутри она усилена системой продольных и поперечных ребер. К раме сбоку болтами 2, а снизу при помощи замкового соединения с клиновым распором крепят рамы 3 гусеничных тележек. На верхнем листе нижней рамы при помощи болтов 4 укреплен зубчатый венец 5 с приваренным к нему кольцевым опорным рельсом 6. На опорном рельсе устанавливают опорно-поворотный круг, состоящий из наружного и внутреннего колец, между которыми на осях установлены 36 роликов с ребордами. На верхнем листе имеются два проема, закрытые съемными люками и предназначенные для ухода за кольцевыми токоприемниками, и корпус центральной втулки 7, в котором при установке платформы размещается центральная цапфа.

*Ходовое оборудование* экскаватора ЭКГ состоит из механизма хода и двух гусеничных тележек. На осях 8 корпуса гусеничной тележки установлены три опорных колеса 9. С передней стороны через окна гусеничных рам проходит натяжная ось 10, на концах которой установлены натяжные колеса 11. С задней стороны корпуса на вал 12 посажено ведущее колесо 13 гусеничного хода. Каждая гусеничная цепь 14 состоит из 36 звеньев 15, соединенных пальцами. Гусеничная цепь приводится в движение ходовым механизмом.

*Механизм хода* экскаватора состоит из двигателя, редуктора, системы передач и тормоза. Ходовой механизм приводится в движение двигателем постоянного тока, установленным на задней торцевой стенке нижней рамы. Движение от двигателя к системе передач ходового механизма передается через редуктор, который соединяется с двигателем при помощи зубчатой муфты.

Конструкция редуктора показана на рис. 4.16. На хвостовик 2 конической шестерни, установленной в корпусе 15 редуктора на подшипниках качения 3, помещена на шлицах зубчатая полумуфта 1, которая сцеплена с полумуфтой, установленной на валу ходового двигателя, при помощи обоймы.

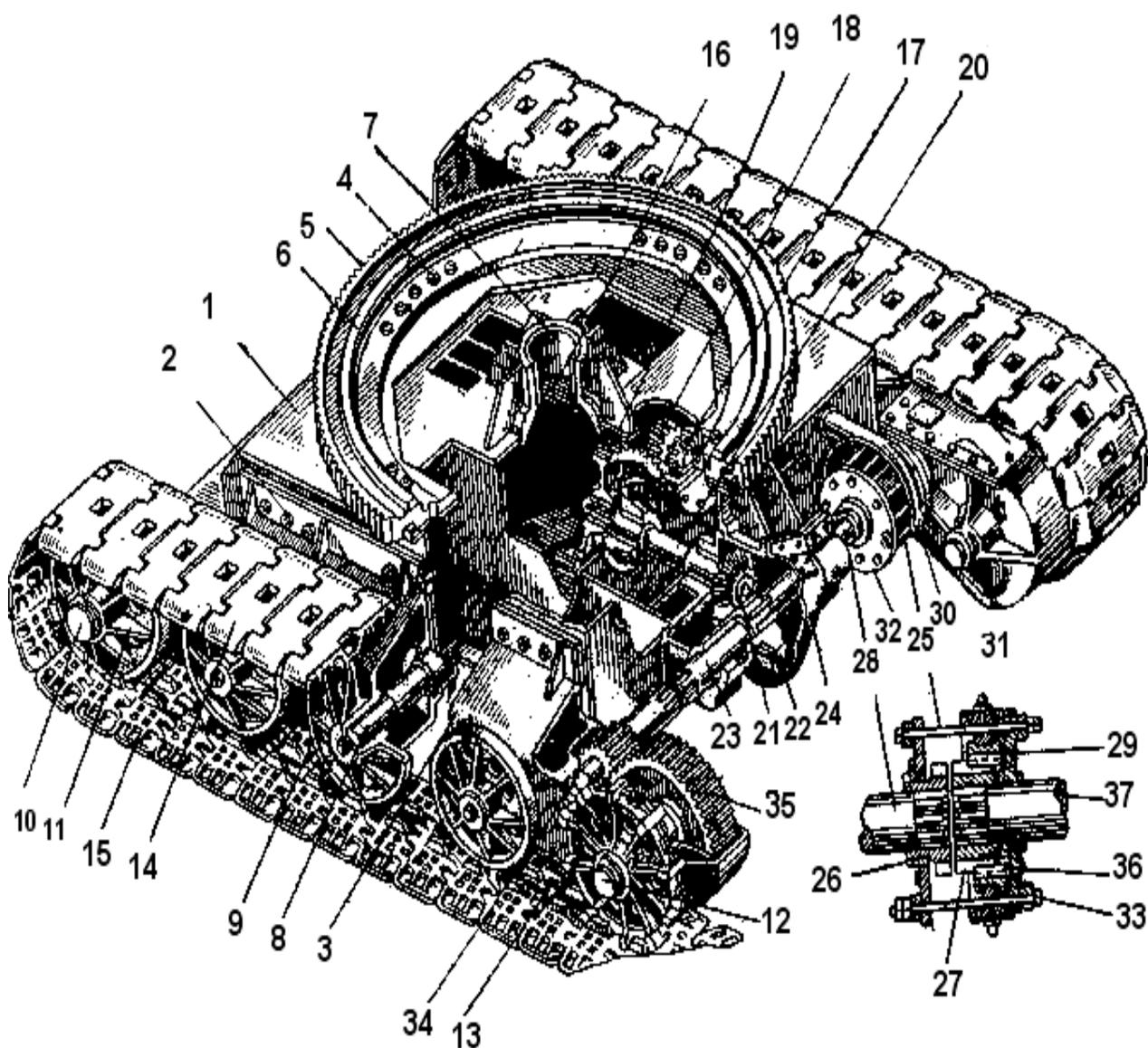


Рис. 4.15. Нижняя рама механизма хода

От шестерни-хвостовика 2 движение передается конической шестерне 4, закрепленной на вал-шестерне 5, установленной на подшипниках качения 6. Далее вращение передается зубчатому колесу 7, закрепленному на промежуточном валу 8, который вращается на роликоподшипниках 9 и имеет на другом конце шестерню 10, сцепленную с шестерней 11. Последняя сидит на валу 12, вращающемся на роликоподшипниках 13 и 14 и имеющем осевое отверстие со шлицами для установки промежуточного вала 18.

Корпус редуктора состоит из собственно корпуса 15 и крышки 16, соединенных болтами и образующих масляную ванну. Корпус редуктора крепится к нижней раме болтами.

Промежуточный вал 16 (рис. 4.15) монтируется на радиально-сферических роликоподшипниках 17 и на шлицевом конце имеет шестерню 18, сцепленную с шестерней 19, которая при помощи продольного вала 20 и

конической пары 21 и 22 вращает среднюю часть поперечного вала 23. Коническая пара 21 и 22 заключена в разъемный картер 24 нижней рамы.

Поперечный вал состоит из трех частей, соединяющихся кулачковыми муфтами 25; включая и выключая муфты, можно соединить среднюю часть одновременно с обеими крайними частями или с одной из них

В кулачковой муфте 28 на конце средней части вала посажена на шлицах полумуфта 26, которая имеет снаружи шесть кулачков; рядом с ней на шлицах на валу бортового редуктора посажена полумуфта 27, имеющая снаружи шесть кулачков.

Полумуфты соединяются подвижной кулачковой обоймой 29, имеющей впадины, которые соответствуют кулачкам полумуфт. Обойма передвигается при помощи хомута 30, в который завинчены два пальца 31, входящие в прорези проушины хомута.

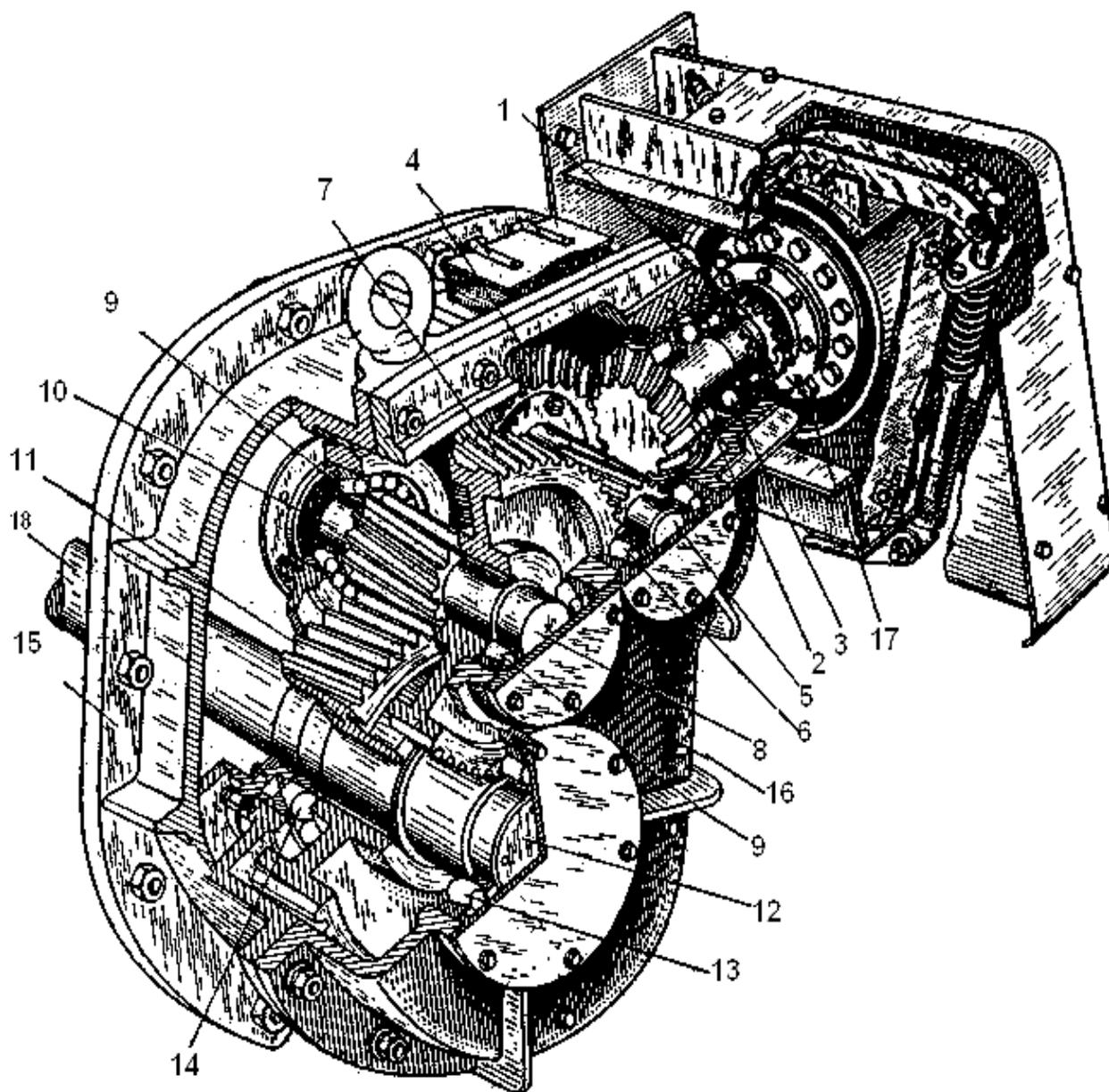


Рис. 4.16. Редуктор механизма хода

При крайнем положении обоймы (как это изображено на рис. 4.15) средняя часть поперечного вала не соединяется с крайней его частью 37, но полумуфта 27 в этом случае связана с кулачковым диском 36 при помощи имеющихся на нем кулачков. Этот диск неподвижно закреплен в гусеничной раме.

Таким образом, крайняя часть вала жестко связана рамой, т. е. вал застопорен, а вместе с ним будет застопорена и его гусеница. Муфта закрывается кожухом, состоящим из боковых дисков 32, соединенных направляющими болтами 33, по которым скользит хомут, и защитных кожухов. Назначение кожуха – предохранять муфту от ударов и попадания грязи. Системой рычагов хомут связан со штоком гидравлического цилиндра.

На крайних частях поперечного вала на шлицах сидят шестерни 34, которые зацеплены с зубчатыми колесами 35, находящимися на валах 12 ведущих колес 18 гусеничного хода.

Тормоз механизма хода действует так же, как и тормоз поворотного механизма. Шкив 17 тормоза (рис. 4.16) устанавливаются на корпусе зубчатой муфты и соединяют с ним при помощи болтов. Основные детали ходового и поворотного тормозов унифицированы.

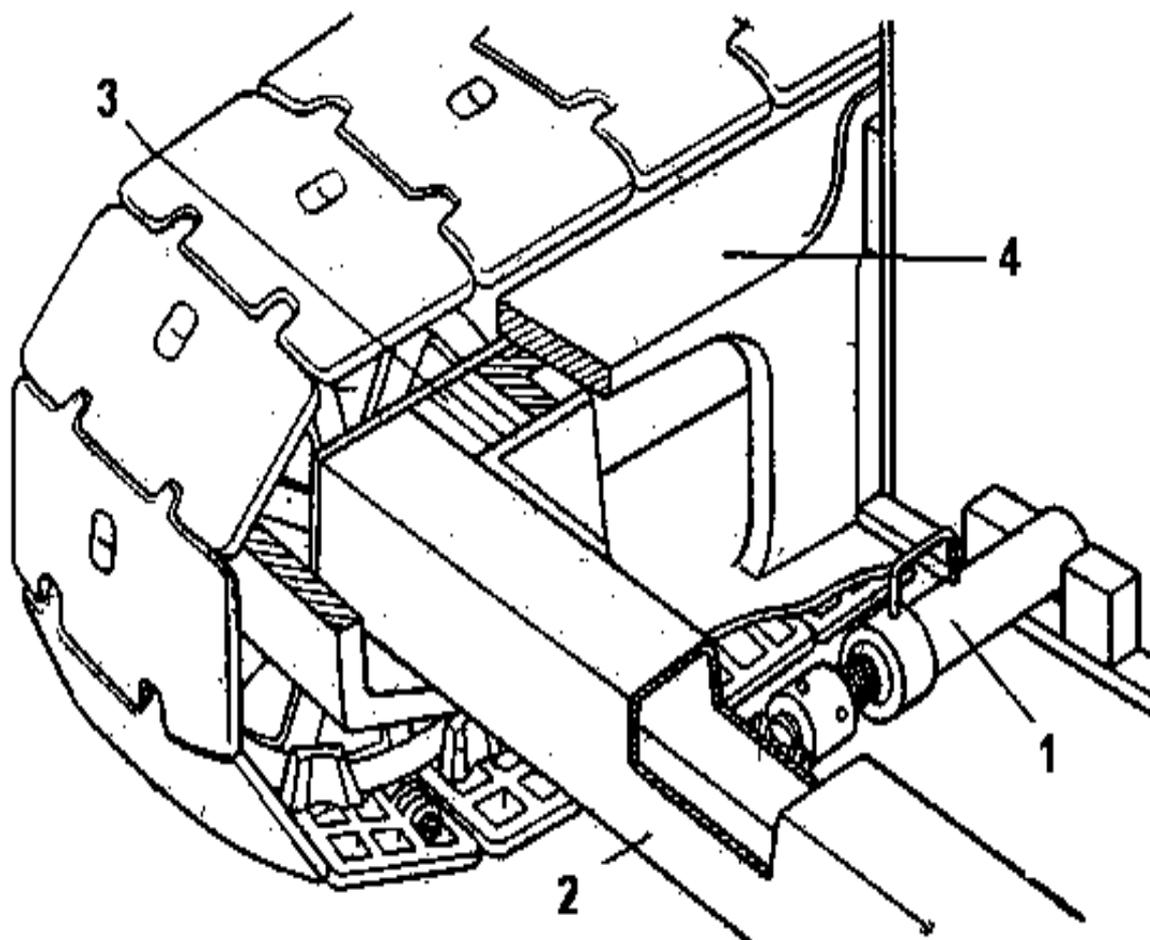


Рис. 4.17. Натяжное устройство

Для натяжения гусеничных цепей служат домкраты 1 (рис. 4.17), сдвигающие натяжную балку 2. Регулировка производится изменением числа прокладок 3, устанавливаемых между гусеничной рамой 4 и натяжной балкой 2. Во время работы экскаватора домкраты снимают и хранят в кузове в ящиках для инструмента.

#### 4.5. Кинематическая схема экскаватора драглайн

Экскаватор драглайн – многодвигательная машина, в которой для приведения в действие отдельных рабочих механизмов применяются самостоятельные электродвигатели. Кинематическая схема механизмов экскаватора приведена на рис. 4.18.

*Главная лебедка* (рис. 4.18, а) состоит из тяговой и подъемной лебедок, различающихся лишь направлением нарезки ручьев для укладки каната на барабанах. Каждая лебедка имеет по два барабана 1, приводимых в движение двумя электродвигателями 2 через одноступенчатый редуктор. В корпусе 3 редуктора установлены шевронные вал-шестерни 4 и колеса 5, от которых движение через валы I передается шестерне 6 и зубчатому колесу 7, соединенному болтами с барабаном.

Вал I, передающий вращение от редуктора к шестерне 6, состоит из двух частей, соединенных зубчатыми муфтами 8; ободы муфт, соединяющих вал двигателя и вал редуктора 9, являются дисками колодочных тормозов лебедок.

*Поворотный механизм* (рис. 4.18, б) состоит из двух одинаковых агрегатов, установленных на поворотной платформе. Каждый агрегат имеет приводной электродвигатель 1 и трехступенчатый редуктор 2 с тремя парами цилиндрических шестерен 3 – 4, 5 – 6, 7 – 8.

Выходная вал-шестерня 9 редуктора обкатывается по зубчатому венцу 10, закрепленному неподвижно на базе экскаватора, и тем самым заставляет вращаться поворотную платформу.

*Механизм шагания* (рис. 4.18, в) служит для передвижения экскаватора и приводится в действие самостоятельным электродвигателем 1, вал которого соединен с валом трехступенчатого редуктора 2 при помощи кулачковой муфты 3. Вращение от электродвигателя к исполнительному четырехзвенному кривошипно-рычажному механизму 4 передается через три пары цилиндрических шестерен 5 – 6, 7 – 8, 9 – 10 редуктора и через открытую зубчатую передачу 11 и 12.

*Лебедка для подъема стрелы* (рис. 4.18, г) представляет собой однобарабанную лебедку, приводимую в движение асинхронным электродвигателем 1, вращение от которого к барабану 2 лебедки передается через двухступенчатый редуктор, состоящий из шестерни 3 и зубчатого колеса 4, червяка 5 и червячного колеса 6. На выходной вал этого колеса посажена шестерня 7, сцепленная с зубчатым колесом 8; последнее жестко связано с барабаном лебедки.

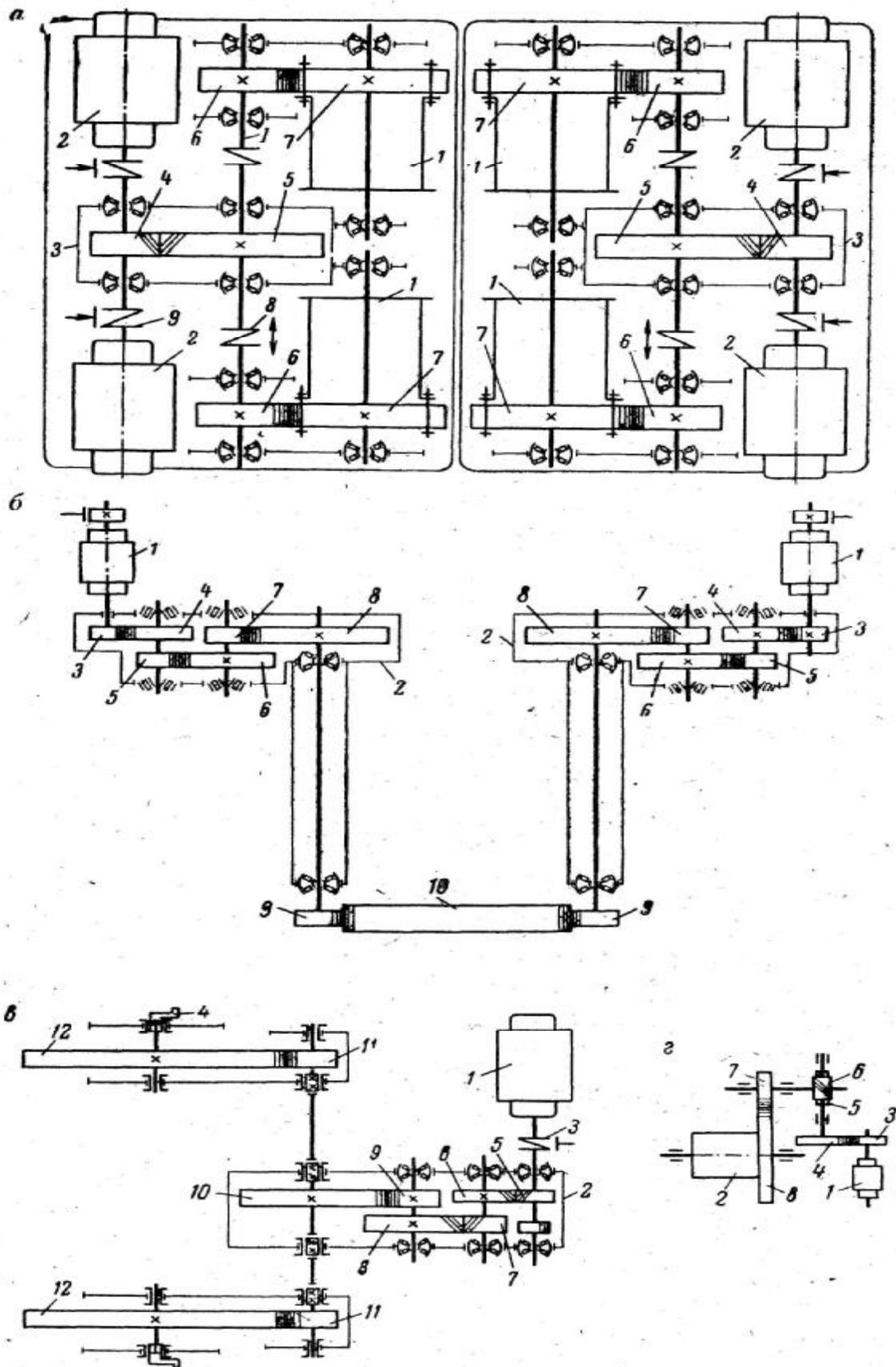


Рис. 4.18. Кинематическая схема экскаватора драглайн:  
 а – главная лебедка; б – поворотный механизм; в – механизм шатания;  
 г – лебедка подъема стрелы

### 4.5.1. Запасовка канатов

Для выполнения рабочих операций и подвески стрелы на экскаваторе драглайн применяются подъемный, тяговый, разгрузочный и стреловой канаты.

*Стреловой канат* служит для подъема и опускания стрелы экскаватора (при работе экскаватора стрела подвешивается не на стреловом канате, а на жесткой пластинчатой подвеске). Запасовка каната (рис. 4.19, а) один конец стрелового каната 1 крепится на барабане стреловой лебедки, другой протягивается через блок 2 надстройки, блоки четырнадцатикратного полиспаста 3 и закрепляется в коуше 4, расположенном на надстройке.

*Подъемный и тяговый канаты* запасовываются следующим образом (рис. 4.19, б): одни концы подъемных канатов 1 (на экскаваторе драглайн два подъемных каната) закрепляются на подъемных барабанах 2, а другие пропускаются через блоки 3 надстройки и головные блоки 4 стрелы и крепятся к обойме блока 6 разгрузочного каната ковша.

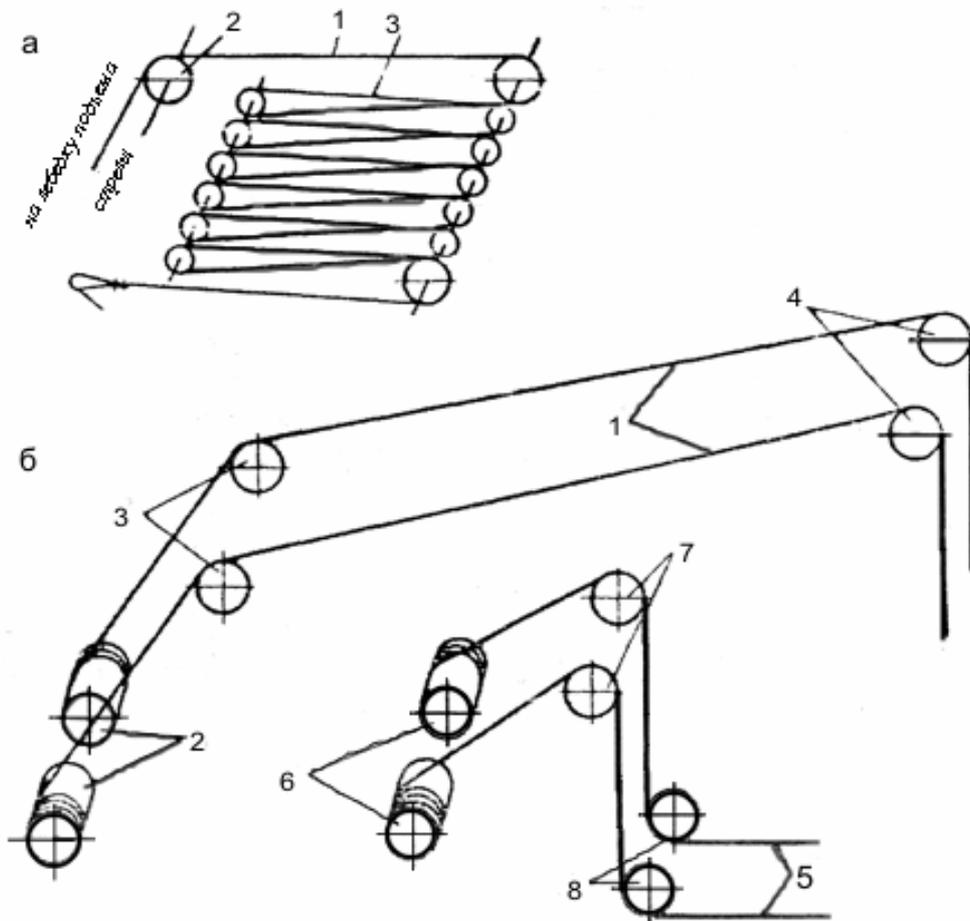


Рис. 4.19. Схема запасовки канатов:  
а – стреловой канат; б – подъемный и тяговой канаты

Тяговые канаты 5 (рис. 4.19, б) одними концами крепятся на барабанах тяговой лебедки 6; другие концы пропускаются через блоки 7 надстройки и блоки 8 наводки и прикрепляются к коушу, соединяющему тяговые цепи ковша с разгрузочным канатом.

### **Вопросы для контроля**

1. Каково назначение механизма подъёма экскаватора ЭКГ?
2. Для чего служит механизм напора экскаватора ЭКГ?
3. Для каких целей применяется механизм поворота экскаватора ЭКГ?
4. Что представляет собой механизм хода экскаватора ЭКГ?
5. Назовите рабочее оборудование экскаватора ЭКГ.
6. Какова схема запасовки стрелового каната?
7. Для чего служит поворотная платформа экскаватора ЭКГ?
8. Каковы основные конструктивные элементы поворотной платформы?
9. Центральная цапфа, её назначение.
10. Токосъёмное устройство, его назначение.
11. Назначение и конструктивные особенности ходового оборудования экскаватора ЭКГ.
12. Основные конструктивные узлы нижней рамы, назовите их.
13. Перечислите основные конструктивные узлы механизма хода.
14. Расскажите кинематическую схему экскаватора – драглайн.
15. Какова схема запасовки канатов у экскаватора – драглайн?

## **Глава 5. РАБОЧЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ**

Рабочее оборудование определяет тип экскаватора и его конструктивную схему. Обычно оно включает элементы (рабочий орган, стрелу, некоторые исполнительные механизмы), которые могут быть заменены на большие или меньшие, или на элементы другого типа. Несмотря на многообразие типов рабочего оборудования одноковшовых экскаваторов, все они по способу связи исполнительного органа – ковша с поворотной платформой (стрелой) – подразделяются на две группы: с жесткой и гибкой связями. К первой группе относят прямую и обратную лопаты, ко второй – драглайн.

Рабочее оборудование драглайна состоит из ковша и стрелы. У прямой (обратной) лопаты к рабочему оборудованию относят стрелу, рукоять, ковш, механизм напора и открывания днища ковша.

### **5.1. Прямая механическая напорная лопата**

Существующие конструкции рабочего оборудования прямой напорной лопаты с выдвижной рукоятью относительно стрелы делятся в основном на два типа:

- механические лопаты с внешней рукоятью, у которых балки рукояти проходят снаружи стрелы (ЭКГ-4,6Б, ЭКГ-20);
- механические лопаты с внутренней рукоятью, у которых балки рукояти проходят внутри стрелы (ЭКГ-2, ЭКГ-3.2, ЭКГ-5, ЭКГ-8И, ЭКГ-12,5, ЭВГ-15; ЭВГ-35/65, ЭВГ-100/70).

Внешняя рукоять состоит из двух балок (рис. 5.1), охватывающих стрелу 2, выполненную в этом случае в виде одной балки. Внутренняя рукоять 1, как правило, состоит из одной балки (рис. 5.2), проходящей между балками стрелы 2. Внешняя рукоять обеспечивает хорошую устойчивость ковша в процессе отделения породы от массива и применяется на карьерных лопатах, предназначенных для тяжелых условий эксплуатации.

К достоинствам однобалочных рукоятей по сравнению с двухбалочными следует отнести меньшую массу и большую простоту конструкции как самих рукоятей, так и их седловых подшипников. Однобалочные рукояти наиболее часто применяются с канатными механизмами напора.

#### **5.1.1. Устройство стрелы**

В настоящее время на отечественных и вскрышных экскаваторах распространены преимущественно конструкции стрел с внутренней рукоятью. Конструкцию стрел с внешней рукоятью имеют экскаваторы с зубчатоременной системой напора, такие, как Э-2503, ЭКГ-4,6Б и ЭКГ-20.

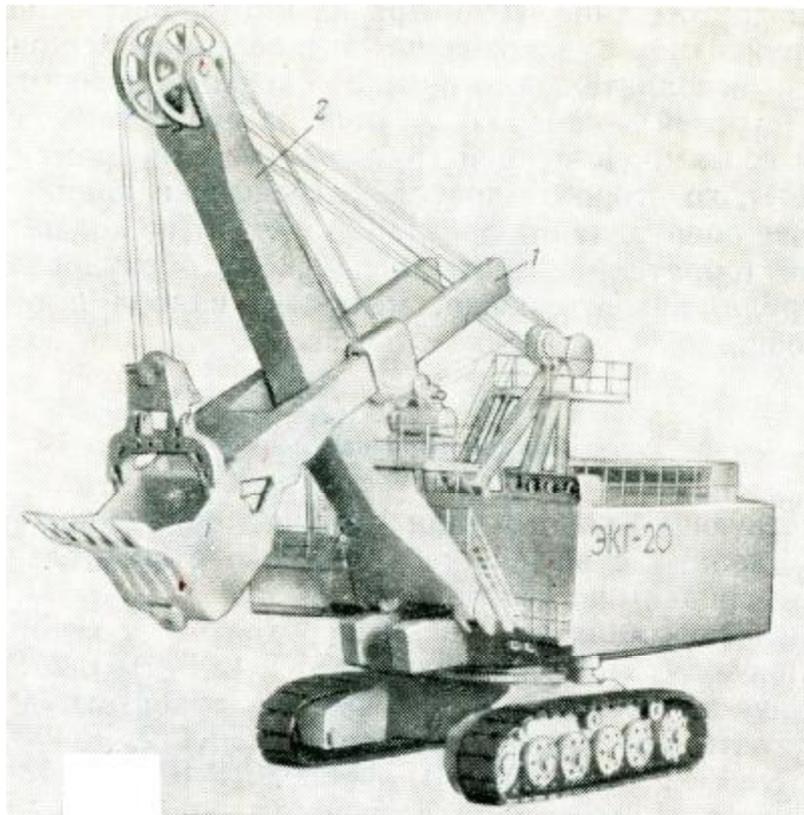


Рис. 5.1. Прямая механическая лопата ЭКГ – 20 (УЗТМ) с внешней рукоятью и зубчато-реечным механизмом напора

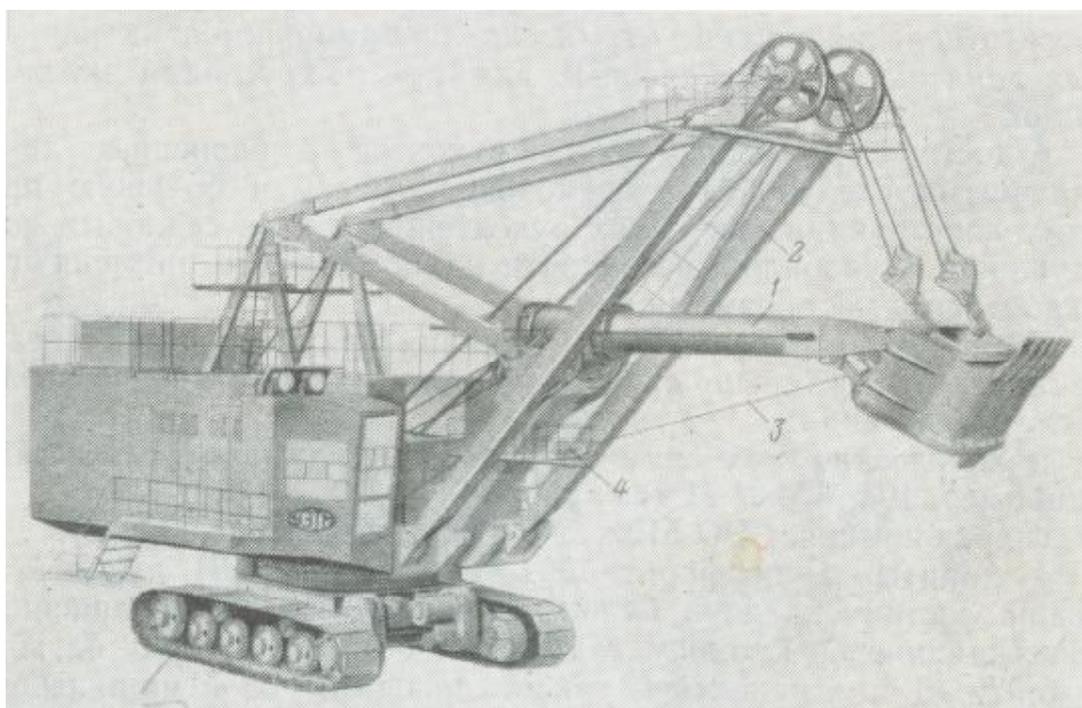


Рис. 5.2. Прямая механическая лопата ЭКГ – 5А (УЗТМ) с внутренней рукоятью и канатным напором

Большинство стрел современных моделей экскаваторов имеют в плане расширенную к пяте форму (рис. 5.1 и рис. 5.3, а – в), при этом на моделях, имеющих однобалочную стрелу, иногда применяются боковые оттяжки (рис. 5.3, а) с целью улучшения ее устойчивости (ЭКГ-4,6).

При однобалочной внутренней рукояти стрелу обычно выполняют двухбалочной (рис. 5.2 и 5.3, г – ж); при двухбалочной наружной рукояти стрела однобалочная (рис. 5.3, а – в). Однобалочную стрелу имеют карьерные лопаты с зубчато-реечным напором (ЭКГ-4,6, ЭКГ-20).

Двухбалочные стрелы применяются на экскаваторах с канатным (ЭКГ-2, ЭКГ-3,2, ЭКГ-5А, ЭКГ-8И, ЭКГ-12,5) и колено-рычажным (ЭВГ-35/65М, ЭВГ-100/70) напором. Двухбалочные стрелы выполняются неразрезными (ЭКГ-5А, ЭВГ-35/65М, 63/60М – рис. 5.3, г, ж) или шарнирно-сочлененными (ЭКГ-3,2, ЭКГ-8И, ЭКГ-12,5 – рис. 5.3, д, е).

В связи с тем, что стрелы экскаваторов с колено-рычажным напором и экскаватора типа ЭКГ-5А с канатным напором не несут деталей механизма напора, например седловых подшипников, и работают только на продольное сжатие (за исключением небольших нагрузок от сил собственного веса в вертикальной плоскости и инерционных нагрузок от собственного веса в горизонтальной плоскости), они очень просты по конструкции (рис. 5.2 и 5.3, ж).

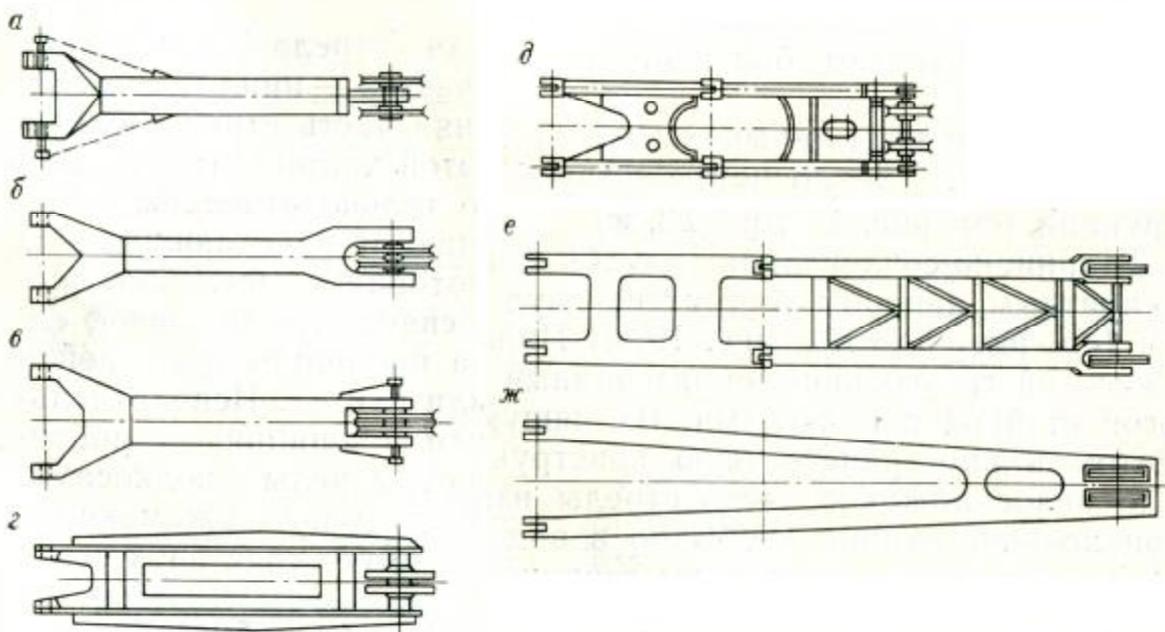


Рис. 5.3. Схемы конструкций стрел:

- а – однобалочной с боковыми оттяжками; б, в – однобалочных коробчатого сечения с расставленными опорными проушинами; г, ж – двухбалочных цельнорамных; д, е – двухбалочных разрезных

Шарнирно-сочлененная двухбалочная стрела экскаватора с канатным напором состоит из двух частей – нижней и верхней (рис. 5.3 и рис. 5.2). Нижняя часть стрелы входит в жесткий треугольник, образованный этой частью стрелы, двуногой стойкой и подкосами. Входящую только отдельным элементом в пространственную конструкцию и работающую как одно целое нижнюю

часть стрелы изготовляют легкой и простой по конструкции – обычно в виде сварной стержневой системы. Верхняя часть стрелы соединена шарниром с нижней и подвешивается на стреловых канатах или вантах. Исполнительная часть механизма напора с седловым подшипником монтируется на оси, соединяющей нижнюю часть стрелы с подкосами. Так как верхняя часть стрелы передает только сжимающие усилия от подъемных канатов, ее выполняют в виде двух стоек коробчатого или трубчатого сечения.

Корпуса стрел изготовляют сварными коробчатого или круглого сечения. Трубчатые балки обладают большой прочностью и легкостью.

Стрелы мощных вскрышных лопат с колено-рычажным напором выполняются в виде неразрезной двухбалочной конструкции с ферменной раскосной решеткой.

Стрелы прямых лопат удерживаются в рабочем положении с помощью канатного полиспаста (ЭКГ-20), вант (ЭКГ-8И) или жесткой тяги (ЭКГ-5А).

Подвеска стрелы экскаваторов с прямым канатным напором (рис. 5.4) и разрезной стрелой состоит из двух вант 3, двух подкосов 4, соединяющих среднюю часть стрелы с двуногой стойкой, которая передает нагрузки от стрелы на поворотную платформу.

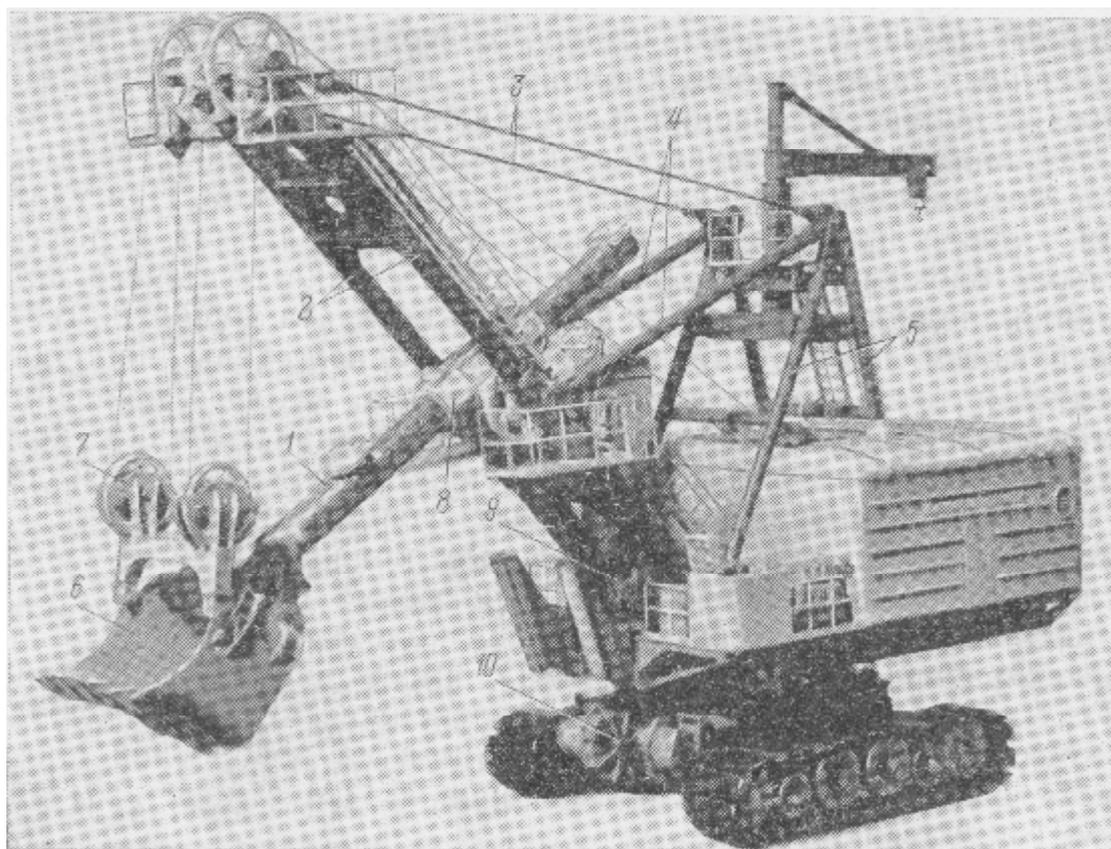


Рис. 5.4. Экскаватор ЭКГ – 8И (ИЗТМ):

- 1 – рукоять; 2 – стрела; 3 – ванты; 4 – подкосы; 5 – двуногая стойка; 6 – ковш;
- 7 – блоки подвески ковша; 8 – седловой подшипник; 9 – напорная лебедка;
- 10 – редуктор ходового устройства

Двуногая стойка и подкосы представляют собой трубчатые сварные конструкции. Передняя и задняя стойки крепятся к кронштейнам поворотной платформы. Ванты крепятся к двуногой стойке и к оси основного блока. Для регулирования длины каждого ванта между торцом конической втулки и дном резьбовой расточки вилки устанавливают прокладки.

При вантовой подвеске стрела удерживается в рабочем положении несколькими канатами (вантами) постоянной длины, имеющими на концах коуши или кованые заделки. Поэтому при вантовой подвеске угол установки стрелы может быть изменен путем замены длины вантов.

*Рукоять* служит для передачи на ковш напорного, а на гидравлических экскаваторах и подъемного усилий. В зависимости от числа балок различают однобалочные (внутренние) и двухбалочные (внешние) рукояти. Однобалочные рукояти состоят из пустотелых балок прямоугольного или круглого сечения, один конец которых проушинами соединяется с ковшом.

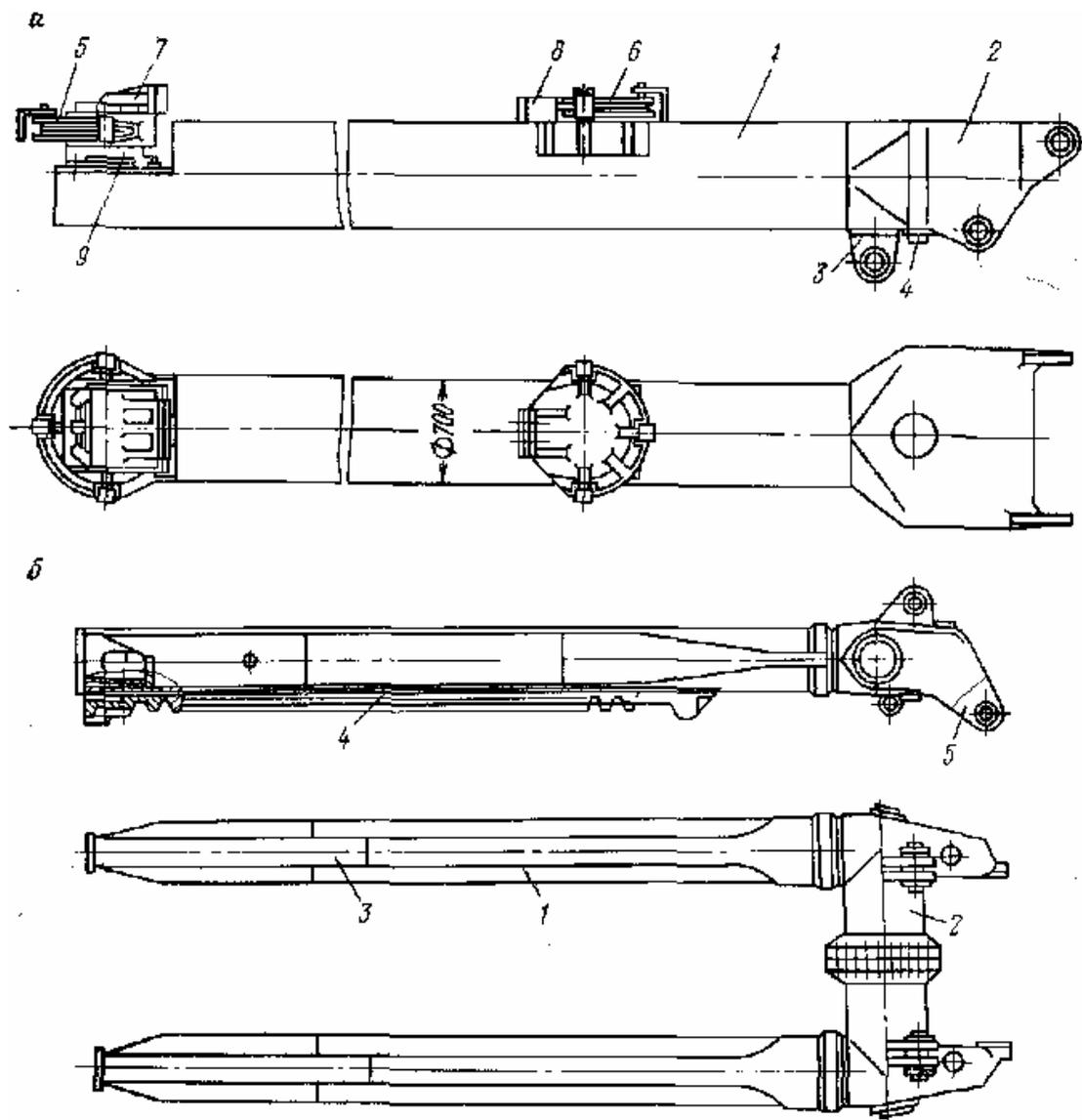


Рис. 5.5. Рукояти одноковшовых экскаваторов:  
 а – однобалочная круглого сечения; б – двухбалочная трубчатая

На другом конце балки крепится напорный блок (при канатном напоре) или вилка (при колено-рычажном напоре) универсального шарнира. Однобалочная рукоятка состоит из балки 1 (рис. 5.5, а), к передней части которой приварена встык концевая отливка 2, имеющая верхние проушины для шарнирного крепления ковша и нижние – для регулирования угла наклона ковша к рукоятке посредством тяг переменной длины. На отливке установлены кронштейны 3 для валика механизма открывания днища ковша и резиновый буфер 4 для амортизации ударов днища ковша о рукоятку. Напорный и возвратный канаты через полублоки 5 и 6 сообщают возвратно-поступательное движение рукоятки. Передний 7 и задний 8 упоры ограничивают ход рукоятки. Задний упор установлен на корпусе поглощающих аппаратов 9, служащих для гашения энергии удара в механизме напора при стопорении рукоятки в забое во время движения «От себя».

Двухбалочная рукоятка внешнего типа охватывает стрелу снаружи и проходит через два направляющих гнезда седлового подшипника, смонтированного на напорном валу снаружи конструкции стрелы.

Двухбалочная рукоятка (рис. 5.5, б) выполняется из двух балок 1, соединяемых концевой отливкой 2. По верхним накладкам 3 балок скользят ползунки седловых подшипников. При износе накладки заменяются. Снизу приварены зубчатые рейки 4. С ковшом рукоятка соединяется с помощью кронштейнов 5 и тяг.

Известны конструкции механических лопат, у которых на балках рукоятки вместо тяг установлены гидроцилиндры со штоками для изменения угла наклона ковша экскаватора (ЭКГ-4У, ЭКГ-4,6Б, ЭКГ-8И). Гидроцилиндры позволяют машинисту экскаватора дистанционно регулировать угол резания зубьев ковша по траектории его движения, угол установки ковша по отношению к оси рукоятки в пределах  $34 - 79^\circ$  за счет активного перемещения штоков гидроцилиндров с помощью насосов (ЭКГ-8И, ЭКГ-4) или с помощью энергии гидроаккумуляторов, запасенной при черпании (ЭКГ-4,6Б). Изменение угла наклона ковша улучшает как условия черпания (например при разработке сближенных пластов) и наполнения ковша, так и его разгрузку в транспортные средства, когда необходимо увеличить угол наклона передней стенки ковша к горизонту, а поднимать ковш нельзя во избежание просыпания материала или повреждения транспортного средства от удара падающих с большой высоты кусков. При верхней погрузке, наоборот, для обеспечения разгрузки необходимо увеличивать угол наклона задней стенки ковша.

### ***5.1.2. Устройство ковша***

Конструкции ковшей, применяемых на лопатах, отличаются большим разнообразием и зависят от назначения ковша, способов его изготовления и опорожнения.

Ковши прямых лопат по виду соединения с рукояткой можно разделить на две группы: с шарнирным и с жестким соединениями. Ковши первой группы применяются на большинстве карьерных экскаваторов, ковши второй

– на вскрышных экскаваторах. В последнем случае концевая отливка рукояти является задней стенкой ковша.

По назначению ковши подразделяются на тяжелые, средние и легкие соответственно для разработки тяжелых, средних и легких пород, а также для выемки и погрузки угля. Назначение ковша определяет собой и технологию его изготовления. Для работ в тяжелых условиях (погрузка руды, скальных пород и др.) применяют преимущественно литые ковши; в легких условиях – сварные ковши; наиболее широко распространены комбинированные ковши – сварно-литые.

Ковш емкостью 8 м<sup>3</sup> экскаватора ЭКГ-8И (рис. 5.6, а) состоит из корпуса 1, днища 2, траверсы 3, зубьев 4 и механизма 5 торможения днища. Корпус ковша сваривается встык из четырех отливок. Передняя стенка, подверженная наибольшему износу, выполнена из высокомарганцовистой стали 110Г13Л. Задняя стенка, цельнолитая из низкоуглеродистой стали, сваривается встык с двумя боковыми стенками. На задней стенке имеются проушины 6 для присоединения ковша к рукояти, подвешивания днища и крепления траверсы ковша.

Днище 1 (рис. 5.6, б) с направляющими 2 засова 3 и кронштейны 4 также отлиты из стали 110Г13Л. В кронштейнах крепятся балки 5 для поддержки днища. Засов открывается с помощью рычага 6 и цепи 7. Величина выдвигания засова регулируется шайбами 8, надетыми на палец 9.

По способу опорожнения различают ковши со свободнопадающим маятниковым (створчатым) днищем и разгружающиеся опрокидыванием. Наибольшее распространение у прямых лопат имеет первая конструкция вследствие меньших затрат времени на разгрузку. Вторая применяется при необходимости обеспечить выгрузку при меньшей высоте расположения ковша над транспортным сосудом и на некоторых гидравлических лопатах.

Разгрузка ковшей опрокидыванием применяется на обратных и прямых гидравлических лопатах и фронтальных ковшовых погрузчиках.

У ковшей современных лопат задняя стенка по высоте выполняется, как правило, значительно короче передней. С левой стороны передняя стенка ковшей в целях лучшего захвата и более быстрого заполнения ковша имеет либо плоскую, либо цилиндрическую форму с большим радиусом кривизны. На ковшах, предназначенных для работ в скальных породах, передняя стенка выполняется более закругленной. Верхняя часть стенки, образующая кромку ковша, иногда снабжается объемным литым козырьком. Такие козырьки из высокомарганцовистой стали повышают прочность стенки и увеличивают ее долговечность.

Механизм открывания днища ковша предназначен для выдергивания засова из отверстия в пяте передней стенки ковша в момент разгрузки. Закрывание днища ковша происходит автоматически в момент опускания ковша из положения выгрузки в положение начала черпания.

Выдергивание тросиком 3 (рис. 5.2) от электродвигателя 4 постоянного тока небольшой мощности через систему тросов и рычагов.

Электродвигатель, на валу которого консольно сидит барабан, постоянно находится под слабым током, создавая момент, достаточный для выбирания слабины тросика. Для открывания днища машинист экскаватора нажимает кнопку и подает номинальный ток, в результате чего создается необходимый момент для выдергивания засова.

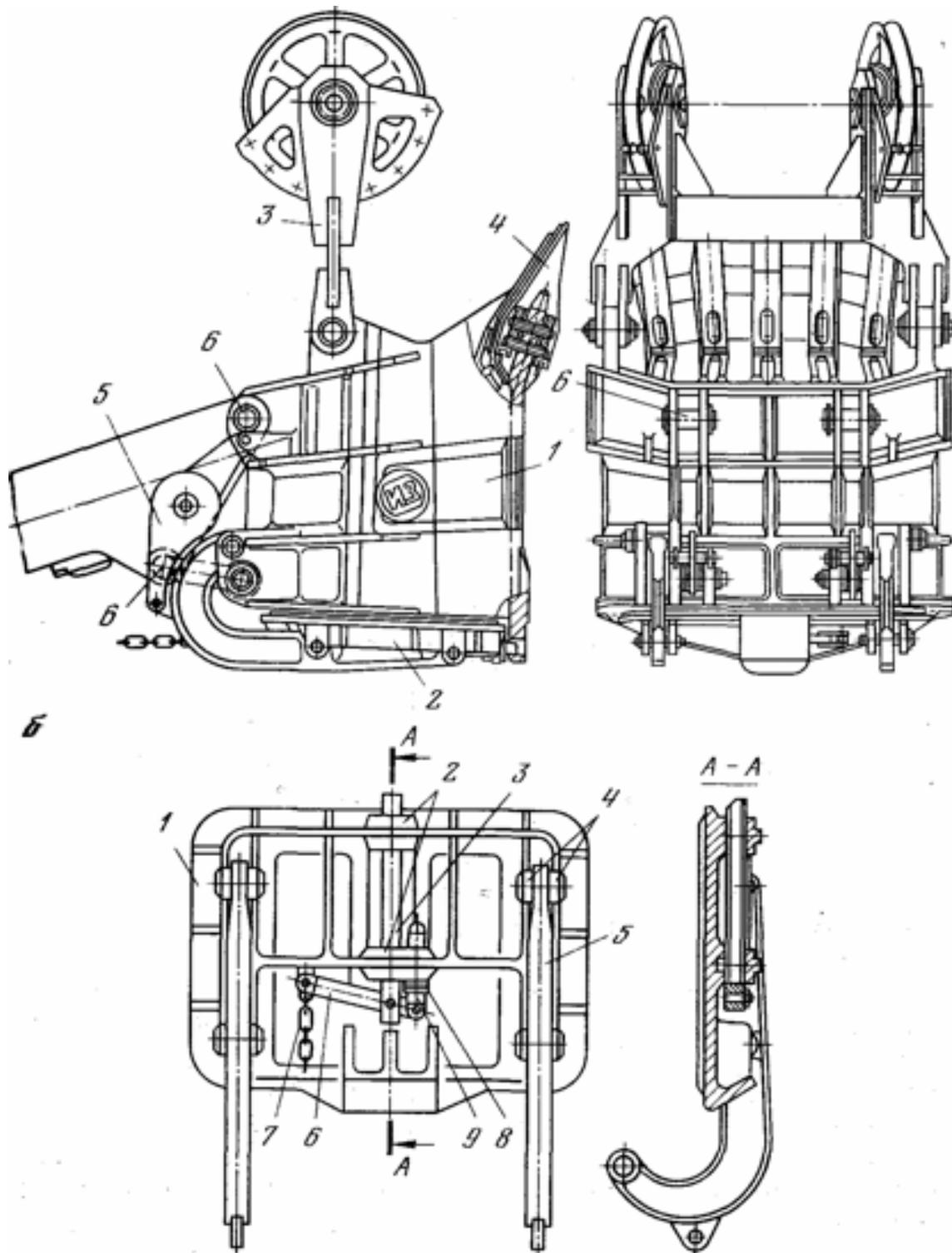


Рис. 5.6. Сварно-литой ковш экскаватора ЭКГ – 8И (а) и его днище (б)

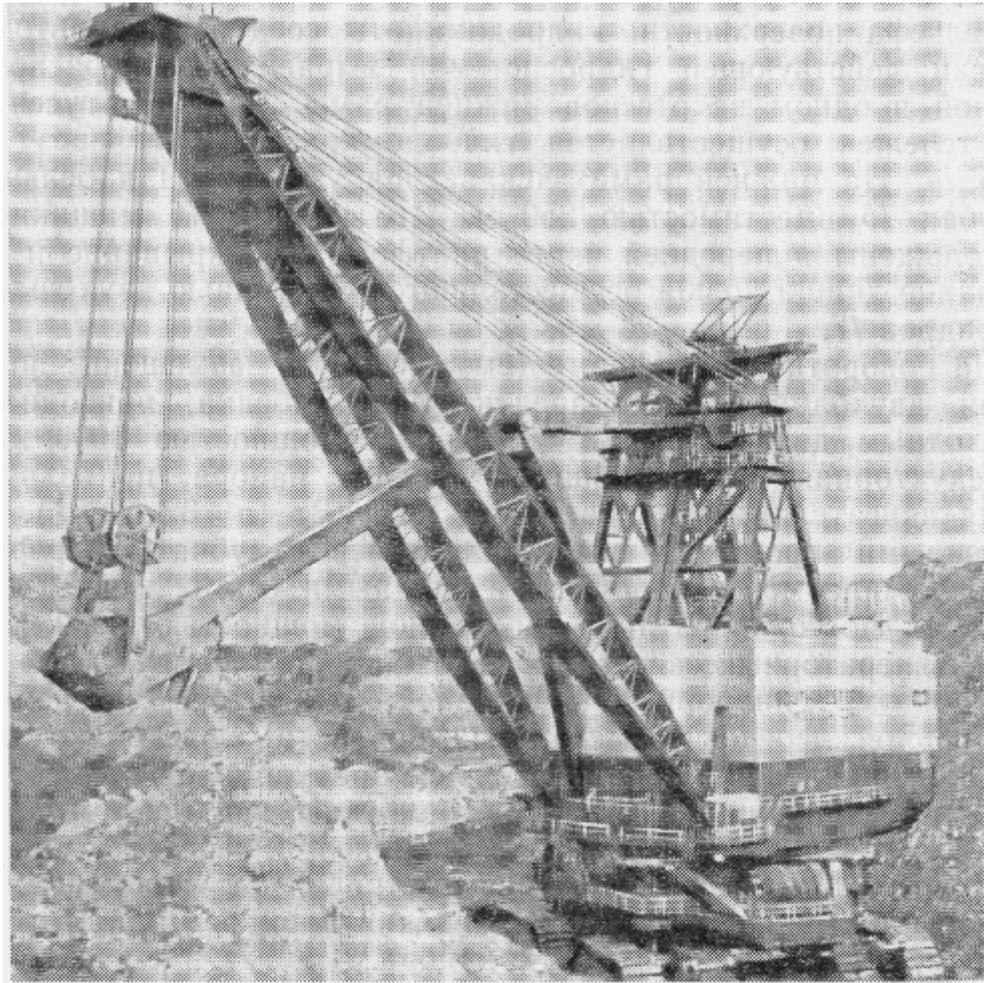


Рис. 5.7. Вскрышная лопата 6360 – М с ковшем емкостью 138 м<sup>3</sup> фирмы «Марион» (США)

Мощные вскрышные лопаты как с колено-рычажным, так и с канатным напором имеют двустороннюю полиспадную подвеску ковша через коромысло и универсальные блоки, аналогичную показанной на рис. 5.2 и 5.7.

## **5.2. Экскаватор драглайн и его рабочее оборудование**

Рабочее оборудование драглайна состоит из стрелы, ковша и направляющих блоков.

### **5.2.1. Устройство стрелы**

Стрела драглайна может иметь различное конструктивное исполнение. По основным конструктивным признакам стрелы драглайнов можно объединить в четыре группы: вантовые, трехгранные жесткие, ферменные (как с дополнительной двуногой стойкой и промежуточными подвесками, так и без них) и комбинированные.

Вантовые стрелы пространственной конструкции различных исполнений до 1971 – 1972 гг. применялись на драглайнах УЗТМ: ЭШ-10/75, ЭШ-

14/75, ЭШ-15/90А и ЭШ-25/100А. Вантовая стрела состоит из одной вертикальной и двух наклонных вантовых ферм, имеющих один центральный сжатый пояс трубчатого сечения, надвое разветвляющийся книзу. Элементы, работающие на растяжение, выполнены из канатов, что делает стрелу легкой и достаточно прочной.

Вантовая стрела экскаватора ЭШ-15/90А (рис. 5.8) составлена из трубчатых элементов: первый от пяты стрелы представляет собой пространственную жесткую конструкцию, образованную элементами 1, 2 и 3, а три остальные являются вантовыми фермами. Сжатый пояс 4 стрелы образован трубой, свальцованной и сваренной из листов низколегированной стали 10ХСНД. Растянутые пояса вертикальной и горизонтальной вантовых ферм выполнены из канатов 5, 6, 7 закрытого типа. Канаты 6 верхнего пояса предварительно напряжены с усилием, превышающим усилие растяжения от концевой нагрузки. В вершине 8 жесткой конструкции установлен узел крепления подвески стрелы. Трубчатые вертикальные стойки 9 вместе с канатами 6 и 7 образуют вертикальную Байтовую ферму, а профильные боковые стойки 10 и канаты 6 – две боковые вантовые фермы. Диагональные оттяжки 11 увеличивают жесткость стрелы, препятствуя ее скручиванию. Канаты 5 боковых вантовых ферм имеют натяжные устройства. Неравномерное натяжение канатов вызывает значительную перегрузку отдельных частей стрелы и может привести к аварии. Вверху центральный стержень заканчивается рамой 12, на которой установлены блоки для подъемных канатов.

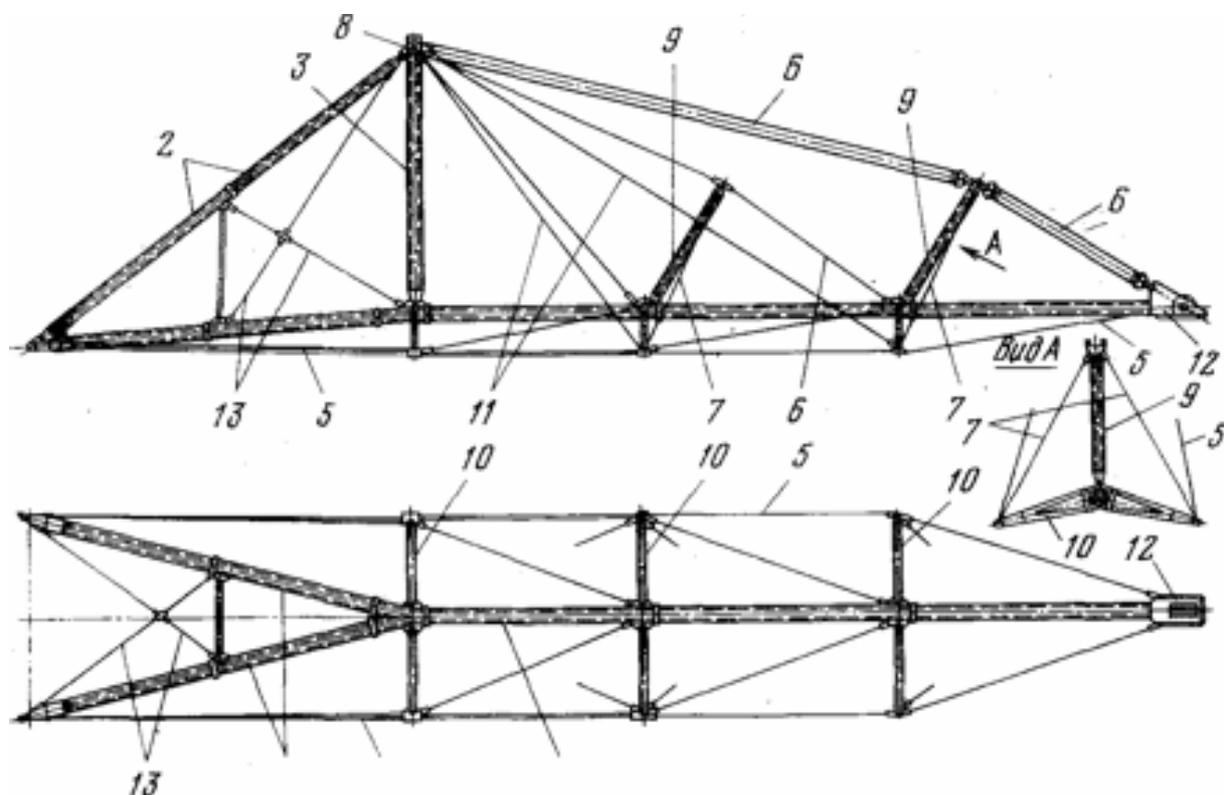


Рис. 5.8. Вантовая стрела экскаватора – драглайна ЭШ – 15/90А (УЗТМ)

Жесткая часть стрелы разделена на две панели, причем в качестве элементов жесткости применены крестовые раскосы из предварительно натянутых вант 13. Это позволило увеличить высоту стрелы и тем самым разгрузить ее пояса. Стойки вертикальных ферм соединены с трубой шарнирно, что предохраняет последние от изгиба, а трубу от скручивания при неточном монтаже. Канаты, работающие на кручение, соединяют наклонные стойки с вершиной 8 жесткой части стрелы.

Трехгранные жесткие стрелы (рис. 5.9) применяются на отечественных драглайнах ЭШ-15/90Б, ЭШ-20/75Б и ЭШ-100/100 (УЗТМ) и вновь проектируемых ЭШ-40/85 и ЭШ-75/85. Стрела выполнена из трех жестких трубчатых поясов 1, 2, 4, образующих с головной частью трехгранную пирамиду с вертикальными трубчатыми стойками 3 и вантовыми диагональными связями 5. Верхний трубчатый пояс 4 стрелы предварительно напряжен системой вантовых канатов до суммарного усилия, равного усилию растяжения от концевой нагрузки и веса стрелы, что увеличивает выносливость стрелы. Стрела на жестких серьгах 6 подвешивается к стойке 7 поворотной платформы. На верхнем поясе стрелы также расположены ролики для подъемных канатов. Последние касаются роликов при ослаблении натяжения, например во время копания. Трехгранная трубчатая стрела с канатными раскосами несколько тяжелее, чем вантовая (масса 1 м стрелы соответственно 1,3 – 1,4 т и 1,1 – 1,2 т), но имеет большую эксплуатационную надежность.

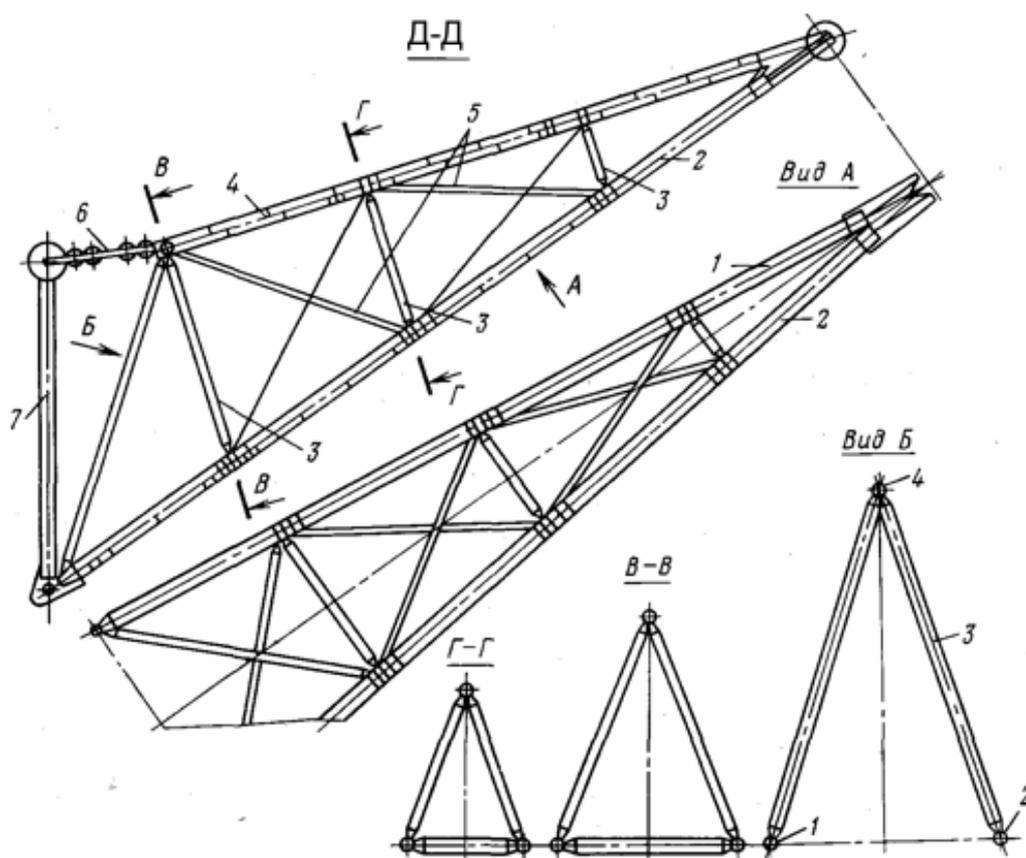


Рис. 5.9. Трехгранная жесткая стрела экскаватора – драглайна ЭШ – 100/100

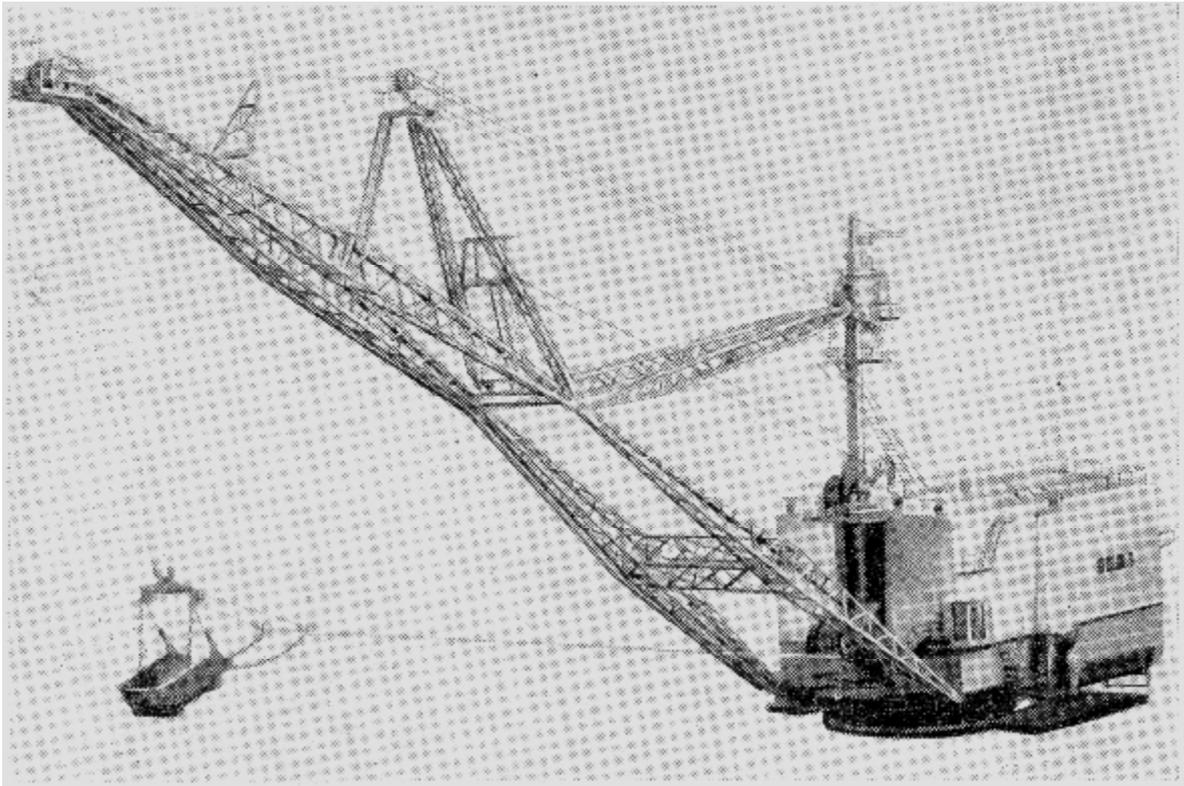


Рис. 5.10. Драглайн ЭШ – 20/55 (16/75) с комбинированной стрелой (НКМЗ)

Шарнирно-сочлененные стрелы применяются на отечественных драглайнах средней мощности (ЭШ-6/45М, ЭШ-10/70, ЗШ-20/55 и ЭШ-16/75) НКМЗ.

Стрела драглайна ЭШ-20/55 (16/75) представляет собой пространственную ферменную конструкцию, выполненную из уголков и состоящую из верхней и нижней частей (рис. 5.10) взаимосвязанных шарниром. Наличие излома геометрической оси нижнего пояса в вертикальной плоскости исключает запрокидывание верхней части стрелы относительно шарнира.

### 5.2.2. Устройство ковша

Ковш драглайна состоит из сварного корпуса 1 (рис. 5.11), козырька 2, отлитого заодно с основаниями зубьев, и арки 3. Последняя служит для придания боковой жесткости ковшу и крепления разгрузочного каната 4. Наибольшей жесткостью обладают литые арки, однако они тяжелее сварных. К передней части ковша (щекам) привариваются проушины 5 для тяговых цепей 6, а к боковым стенкам прикрепляются проушины 7 для цепей 8 подъема. Через траверсу 9 и балансир 10 цепи 8 соединяются с подъемными канатами 15. В основание козырька 2 вставляются зубья 11.

С тем чтобы защитить днище ковша от изнашивания, к нему привариваются стальные полозья 12. Для предохранения подъемных цепей 8 от истирания о ковш предусмотрена распорная балка 13. Центр тяжести ковша с грузом находится между подъемными цепями и аркой.



Вследствие этого при ослаблении тягового 14 и разгрузочного 4 канатов последний проскальзывает по блоку 16, ковш поворачивается вокруг осей крепления подъемных цепей и порода свободно выгружается через открытое пространство под аркой и между тяговыми цепями. В транспортном положении (при поворотах) ковш удерживается в горизонтальном положении с помощью натянутых тяговых (тягового) и разгрузочного канатов. Совокупность деталей, соединяющих ковш с тяговыми и подъемными канатами, называется *упряжью ковша*.

Для сравнения ковшей применяют характеристики металлоемкости пустого ковша, представляющие собой отношение массы ковша к его емкости. Эти характеристики для ковшей тяжелого типа УЗТМ емкостью 14 – 100 м<sup>3</sup> колеблются в пределах 1,54 – 1,23 т/м<sup>3</sup>, составляя в среднем 1,4 т/м<sup>3</sup>.

За рубежом ковши драглайнов в зависимости от назначения подразделяются на легкие, средние, тяжелые и сверхтяжелые с удельной металлоемкостью от 0,84 до 1,6 т/м<sup>3</sup>. Как правило, с ростом емкости ковша его удельная металлоемкость падает. Так, у ковша емкостью 168 м<sup>3</sup> этот коэффициент уже равен 0,723 т/м<sup>3</sup>.

В последнее время на драглайнах начали применять ковши безарочной конструкции (рис. 5.10), отличающиеся низкой удельной массой (около 1 т/м<sup>3</sup>). Безарочная конструкция позволяет создавать расширение в области режущей кромки, в результате чего облегчаются заполнение и разгрузка ковша и уменьшается возможность образования пустот в ковше при черпании.

Зубья ковшей драглайнов отливают из высокомарганцевистой стали. Их конструкции аналогичны применяемым на прямых лопатах.

### **Вопросы для контроля**

1. Как классифицируются рукояти экскаваторов ЭКГ?
2. Какие рукояти имеют экскаваторы марки ЭКГ-4.6, ЭКГ-20, ЭКГ-5, ЭКГ-8И?
3. Устройство однобалочной круглого сечения рукояти экскаваторов ЭКГ.
4. Как классифицируются в зависимости от конструкции стрелы экскаваторов?
5. Расскажите устройство подвески стрелы экскаватора ЭКГ-8И?
6. Какова классификация
7. ковши экскаватора прямая лопата по виду соединения с рукоятью?
8. Назовите конструктивные узлы сварно-литого ковша экскаватора ЭКГ-8И.
9. Каково устройство стрелы экскаватора драглайн?
10. Элементы вантовой стрелы экскаватора ЭШ 15/90А.
11. Где применяют трёхгранные жесткие стрелы?
12. Каково крепление стрелы к поворотной платформе?

## Глава 6. ХОДОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЭКСКАВАТОРОВ

### 6.1. Общие сведения

Ходовое оборудование горной машины – это устройство для ее перемещения и устойчивого опирания на грунтовое основание во время работы. В зависимости от условий работы и назначения горной машины применяют следующие виды ходового оборудования: колесное (на пневматиках или рельсовое), гусеничное, шагающее, шагающе-рельсовое и плавучее.

Требования, предъявляемые к ходовому оборудованию горных машин циклического и непрерывного действия: достаточная сила тяги, скорость передвижения и маневренность; способность преодолевать заданные подъемы и уклоны; небольшая масса при обеспечении заданных давлений на основание (средних и максимальных); устойчивость машины при всех возможных изменениях положения ее центра тяжести и отсутствие больших динамических нагрузок в конструкции всей машины при передвижении; малые сопротивления при передвижении; минимальное число быстроизнашивающихся элементов, удобство в эксплуатации и долговечность.

*Пневмоколесное* ходовое оборудование обеспечивает высокие скорости передвижения (до 70 км/ч) и маневренность, имеет небольшую массу, малое сопротивление передвижению, простую конструкцию и универсальность. Однако быстрый износ пневмошин в условиях карьеров, высокая стоимость (20–40 % от стоимости машины), повышенное давление на основание, а также ограниченность нагрузки на колесо определяют область их применения преимущественно в классе выемочно-транспортных машин.

*Рельсовое* ходовое оборудование обеспечивает низкое сопротивление передвижению, плавность, высокую скорость, направленность движения при перемещении машины, малый износ и долговечность его элементов.

Его недостатки – необходимость и сложность переноса железнодорожных путей, малая маневренность, ограниченность нагрузки на колесо (до 0,25 МН), значительные линейные размеры ходовой части, малые величины коэффициентов сцепления колес с рельсами и преодолеваемых уклонов (до 6°) – ограничивают область применения рельсового ходового оборудования, которое используется главным образом на цепных многоковшовых экскаваторах, работающих с транспортно-отвальными мостами, отвалообразователями и абзетцерами.

*Шагающее* ходовое оборудование обеспечивает низкие давления на основание (до 0,1 МПа), небольшую массу (10–12 % массы машины), высокие маневренность и устойчивость машины на базе при работе. Его недостатки – цикличность и малая скорость передвижения, необходимость подъема машины при шагании, волочение передней части базы по опорной

поверхности при шагании, сопровождающееся смятием грунта и высокими затратами мощности. Это ограничивает область применения шагающего хода на драглайнах и отвало-образователях, работающих на поверхностях (грунтах) с относительно низкой несущей способностью,

*Гусеничное* ходовое оборудование обладает высокой устойчивостью (особенно у многогусеничных машин), способностью преодолевать большие уклоны (до  $23^\circ$ ), высокой проходимостью, малыми давлениями на основание, универсальностью. Его недостатки – большая масса (с нижней рамой до 50 % общей массы машины); высокое тяговое усилие (30–40 % веса экскаватора); сложность устройства и быстрый износ ходовых элементов, относительно невысокая маневренность у многогусеничных машин.

Гусеничный ход применяется на всех типах выемочных и выемочно-транспортирующих машин (кроме мощных драглайнов), не требующих больших и частых перемещений с высокой скоростью.

*Шагающе-рельсовое* ходовое оборудование обладает высокой маневренностью, возможностью дозированного перемещения машины с высокой скоростью и плавностью, малыми давлениями на опорную поверхность, сопротивлениями при перемещении и низким износом элементов и деталей, высокой устойчивостью при работе на базе. Его недостатки – большая масса (с нижней рамой до 50 % общей массы машины); необходимость подъема машины при шагании; цикличность шагания.

Шагающе-рельсовое ходовое оборудование применяется на мощных роторных экскаваторах, отвалообразователях и драглайнах при работе на грунтах со слабой несущей способностью.

*Плавучее* ходовое оборудование применяется на драгах и земснарядах.

## **6.2. Рельсовое ходовое оборудование**

Равномерное распределение нагрузки на опорные колеса рельсового хода (число которых может быть 300 и более) достигается применением балансирных устройств, которые могут иметь до пяти и более ступеней. На машинах средней мощности применяют трехрельсовый путь, который при двухступенчатых балансирах обеспечивает установку машин массой до 450 т (24 колеса), при трехступенчатых – массой до 960 т (48 колес), при четырехступенчатых – до 1900 т (98 колес) и при пятиступенчатых – до 4000 т (228 колес).

Применение четырехрельсового пути при четырехступенчатых балансирах дает возможность довести массу экскаватора до 2500 т, а дальнейший переход на шести- и восьмирельсовый путь – до 6000 т и более. Так как при переходе на следующую ступень балансиров число колес удваивается, то при необходимости изменения числа колес меньше чем в два раза применяются схемы с полностью или частично неравноплечими балансирами. Примером последней может служить ходовое оборудование

цепного экскаватора (рис. 6.1). Рама имеет три сферические опоры 2, из которых две жесткие находятся на стороне нижнего черпания и одна качающаяся – на стороне верхнего черпания у поворотных экскаваторов или на стороне противовеса у неповоротных.

Через опоры 2 нагрузка передается на главные балансиры 5, которые, в свою очередь, через две сферические опоры 4 передают нагрузку на большие балансиры 5. Последние опираются через опоры 6 на малые балансиры 7, которые уже передают нагрузку на ходовые тележки – холостые 8 и приводные 9. Под большим балансиром 5 находятся слева четыре двухосные тележки, а справа – две, поэтому плечи балансира делают неодинаковой длины. Треть длины плеча балансира находится над четырьмя двухосными тележками, а  $2/3$  его длины – над двумя двухосными тележками. Благодаря этому нагрузка на тележки пропорциональна числу осей 10. На торцовых концах тележки устанавливаются клещи для рельсового захвата, песочницы 11 и приспособления для контроля за правильностью укладки рельсов и колеи, имеющие бегунок 12, расположенный на рычаге 13. Наезд на препятствие, недопустимое уширение колеи, окончание рельсового пути, несоединенный стык или лопнувший рельс – все это вызывает либо остановку бегунка, либо его сход с рельса. При всех случаях угол положения конечного выключателя изменяется. При этом последний срабатывает и отключает двигатели привода ковшовой цепи и хода.

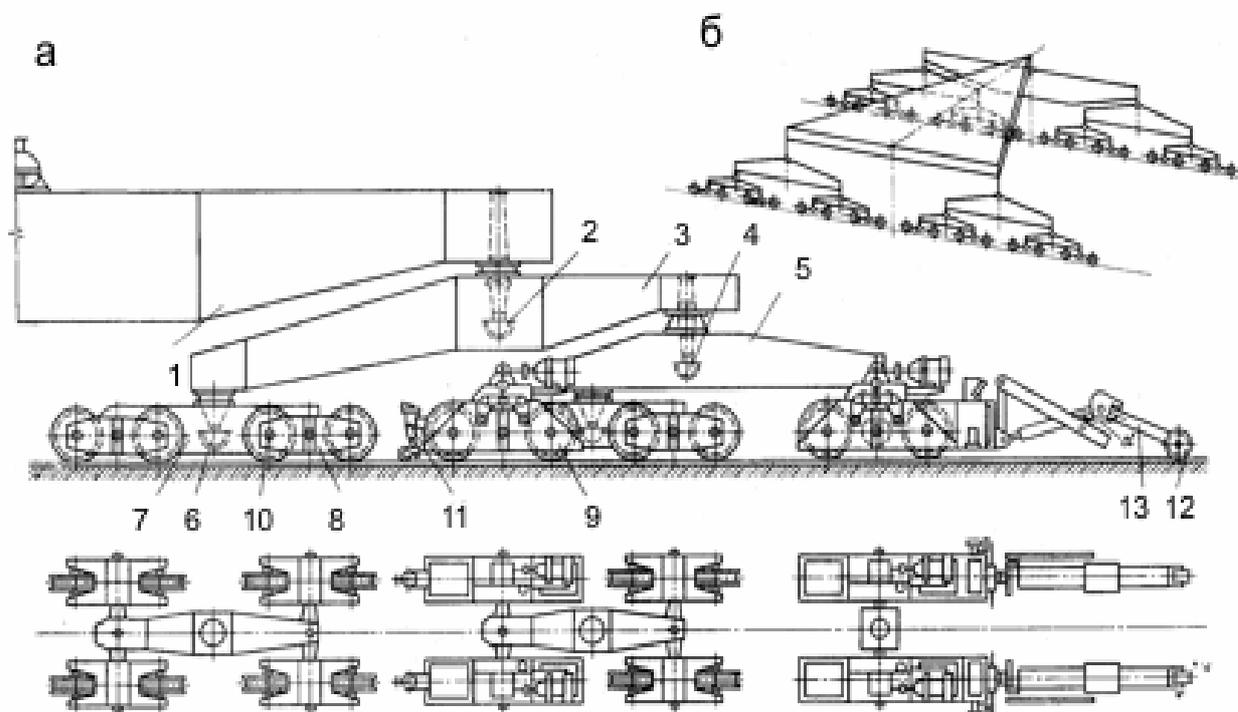


Рис. 6.1. Схемы рельсового ходового оборудования:

а – с частично неравноплечими четырехступенчатыми балансирами; б – трехточечной системой опирания рамы, равноплечими балансирами третьей и четвертой ступеней и двухрельсовым путем под каждой опорой (для упрощения схемы показан один рельс)

Приводные тележки могут располагаться как в жесткой, так и в качающейся опоре, причем примерно 45–55 % (реже 80 %) колес являются приводными

### 6.3. Гусеничное ходовое оборудование

Скорости передвижения экскаваторов на гусеничном ходу зависят от их мощности и назначения и, как правило, не превышают 2,4 км/ч у карьерных лопат; у многоковшовых экскаваторов они не превышают 0,72 км/ч (12 м/мин) у моделей малой мощности и 0,48 – 0,18 км/ч (8 – 3 м/мин) у мощных.

Величины давлений на грунт определяются назначением машины и достигают максимальной величины, равной 0,42 МПа у карьерных лопат. Роторные и цепные экскаваторы имеют давления, не превышающие 0,12 МПа у вскрышных и 0,2 МПа – у добычных машин.

Преодолеваемые гусеничными экскаваторами подъёмы обычно не превышают 7° у мощных машин и 12° – у машин малой и средней мощности.

Система гусеничного ходового оборудования определяет число гусениц в схеме и их взаимное положение (рис. 6.2).

На одноковшовых экскаваторах применяются двух-, четырех- и восьмигусеничные системы (рис. 6.2, г, ж). Четырехгусеничное оборудование используется относительно редко (ЭКГ-12,5 массой 660 т и ЭРП-1250 массой 1020 т). Существующие восьмигусеничные системы в состоянии перемещать массу до 12,6 тыс. т (6360-М фирма «Марион» США) при среднем давлении на грунт 0,385 МПа, ширине трака 3,62 м и длине тележки 13,7 м.

На многоковшовых экскаваторах применяют двух-, трех-, четырех-, шести-, двенадцати- и шестнадцатигусеничные системы. Две гусеницы имеют экскаваторы преимущественно массой до 400 т, три – до 800 т, шесть – до 2000 т, 12 и 16 гусениц – большей массы. Существующие 12-гусеничные системы перемещают массу до 11,4 тыс т при среднем давлении на грунт 0,169 МПа, ширине трака 3,7 м и длине тележки 15м.

При трех (или кратных трем) гусеничных системах применяется трехточечная опора (система опирания), обеспечивающая статически определенную передачу усилий на ходовые тележки. Такие системы выполняются симметричными относительно поперечной (рис. 6.2, е, з, ж, к, л) и продольной (рис. 6.2, д, м) осей машины. Две опоры в таких случаях располагаются со стороны рабочего оборудования и одна – со стороны отвальной части. Сами опоры выполняются в виде гидр о домкратов с шаровой пятой.

Движение экскаватора по кривой при двух (четырех) гусеницах достигается: затормаживанием одной (двух) гусениц; сообщением правым и левым гусеницам различных скоростей. При четырехточечной системе опирания хода используют разворот всех гусениц с помощью рычагов. Послед-

нее чаще осуществляется гидроцилиндрами, закрепленными одной стороной на базе ходовой рамы, а другой – на рычаге рамы ходовой тележки.

Поворот гусениц возможен либо при повороте передней гусеницы (рис. 6.2, д, м), либо одной боковой (рис. 6.2, е, ж, л), либо двух вслед идущих групп гусениц (рис. 6.2, з, к). В двух последних случаях обеспечивается наибольшая маневренность, так как радиус поворота экскаватора получается наименьшим при том же угле поворота гусениц.

У восьми и шестнадцатигусеничных систем поворачиваются все четыре пары. По схемам, показанным на рис. 6.2, н, о, п, поворот тележек переднего и заднего рядов осуществляется на разные углы по двум окружностям с центром в одной точке. По схеме, приведенной на рис. 6.2, о, разворот возможен и поворотом всех гусениц в одну сторону на одинаковый угол.

При равных максимальных углах поворота управляемых гусениц наилучшей маневренностью обладают трехопорные машины с симметричным расположением гусениц относительно поперечной оси при повороте в сторону неуправляемой гусеницы (рис. 6.2, з, к).

На одноковшовых экскаваторах применяются двух-, четырех- и восьмигусеничные системы (рис. 6.2, г, ж). Четырехгусеничное оборудование используется относительно редко (ЭКГ-12,5 массой 660 т и ЭРП-1250 массой 1020 т). Существующие восьмигусеничные системы в состоянии перемещать массу до 12,6 тыс. т (6360-М фирма «Марион» США) при среднем давлении на грунт 0,385 МПа, ширине трака 3,62 м и длине тележки 13,7 м.

На многоковшовых экскаваторах применяют двух-, трех-, четырех-, шести-, двенадцати- и шестнадцатигусеничные системы. Две гусеницы имеют экскаваторы преимущественно массой до 400 т, три – до 800 т, шесть – до 2000 т, 12 и 16 гусениц – большей массы. Существующие 12-гусеничные системы перемещают массу до 11,4 тыс. т при среднем давлении на грунт 0,169 МПа, ширине трака 3,7 м и длине тележки 15 м.

При трех (или кратных трем) гусеничных системах применяется трехточечная опора (система опирания), обеспечивающая статически определенную передачу усилий на ходовые тележки. Такие системы выполняются симметричными относительно поперечной (рис. 6.2, е, з, и, к, л) и продольной (рис. 6.2, д, м) осей машины. Две опоры в таких случаях располагаются со стороны рабочего оборудования и одна – со стороны отвальной части. Сами опоры выполняются в виде гидродомкратов с шаровой пятой.

Движение экскаватора по кривой при двух (четырех) гусеницах достигается: затормаживанием одной (двух) гусениц; сообщением правым и левым гусеницам различных скоростей. При четырехточечной системе опирания хода используют разворот всех гусениц с помощью рычагов. Последнее чаще осуществляется гидроцилиндрами, закрепленными одной стороной на базе ходовой рамы, а другой – на рычаге рамы ходовой тележки.

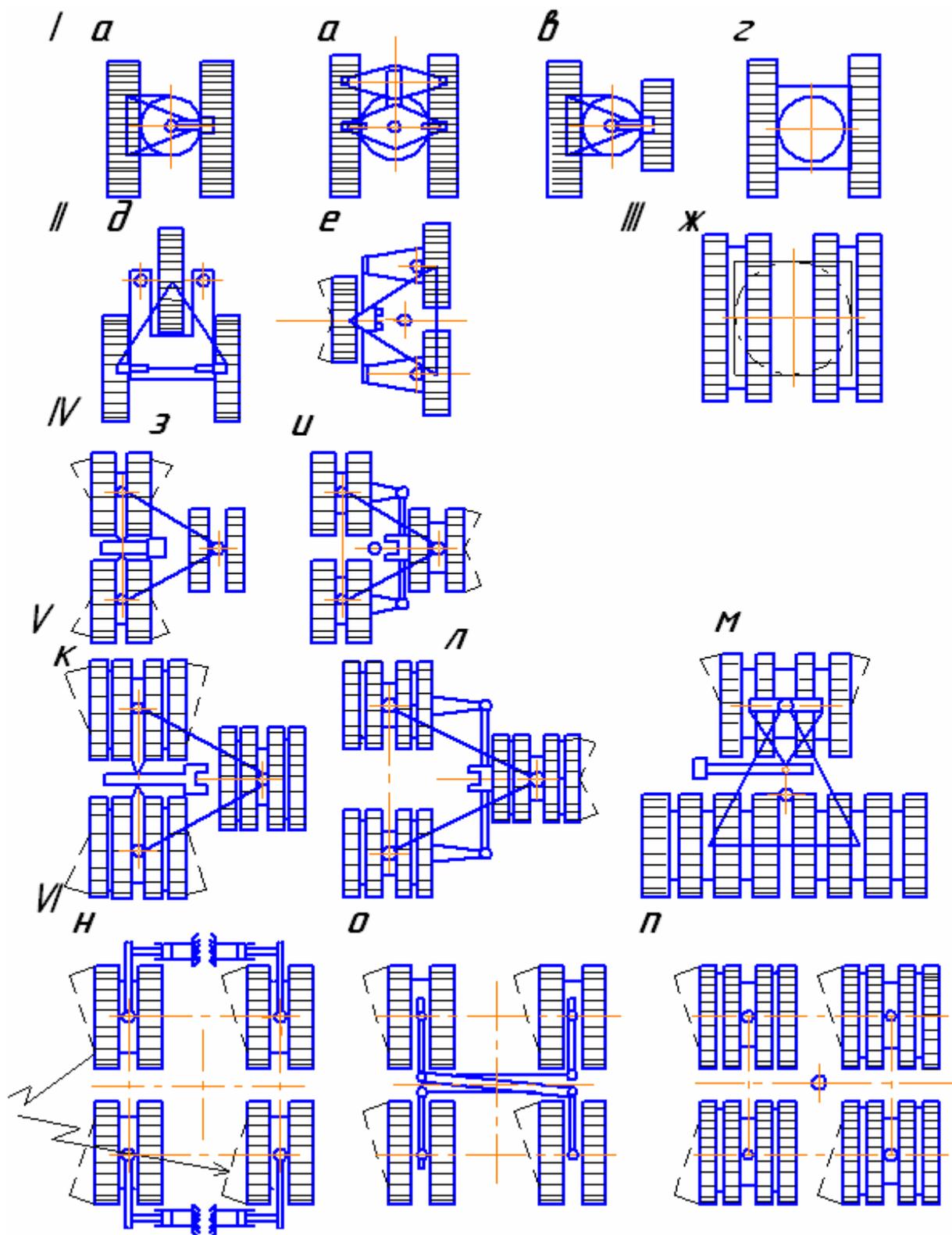


Рис. 6.2. Системы гусеничного ходового оборудования:

*I* – двухгусеничная (*a–z*); *II* – трехгусеничная трехпорная с одной поворотной передней (*д*) и боковой (*e*) тележками; *III* – четырехгусеничная (*ж*); *IV* – шестигусеничная с одной (*u*) и двумя (*з*) спаренными поворотными тележками; *V* – двенадцатигусеничная с двумя (*к*) и одной (*л, м*) поворотными тележками; *VI* – четырехпорная восьмигусеничная (*н, о*) и шестигусеничная (*п*) со всеми поворотными тележками

Поворот гусениц возможен либо при повороте передней гусеницы (рис. 6.2, д, м), либо одной боковой (рис. 6.2, е, и, л), либо двух вслед идущих групп гусениц (рис. 6.2, з, к). В двух последних случаях обеспечивается наибольшая маневренность, так как радиус поворота экскаватора получается наименьшим при том же угле поворота гусениц.

У восьми- и шестнадцатигусеничных систем поворачиваются все четыре пары. По схемам, показанным на рис. 6.2, (н, о, п), поворот тележек переднего и заднего рядов осуществляется на разные углы по двум окружностям с центром в одной точке. По схеме, приведенной на рис. 6.2, о, разворот возможен и поворотом всех гусениц в одну сторону на одинаковый угол.

При равных максимальных углах поворота управляемых гусениц наилучшей маневренностью обладают трехопорные машины с симметричным расположением гусениц относительно поперечной оси при повороте в сторону неуправляемой гусеницы (рис. 6.2, з, к).

Поворот в сторону управляемых гусениц для этих машин требует значительно большего угла разворота гусениц. Неприводная гусеница, движущаяся по внутренней кривой, улучшает маневренность машины, в то же время обеспечивая минимальные поперечные силы на гусеницах.

Под типом гусениц понимают их конструктивное оформление, характеризующее гусеницы в эксплуатационном и производственном отношении.

По способу передачи давления на грунт различают многоопорные и малоопорные гусеницы.

Гусеницы называют многоопорными, если отношение числа опорных звеньев (траков), лежащих на земле, к числу опирающихся на них катков ведущих и направляющих колес меньше двух (рис. 6.3, а). В этом случае звенья между опорными катками почти не прогибаются и обеспечивают равномерное давление на грунт как под катками, так и между ними. У малоопорной гусеницы это отношение больше двух: звенья легко прогибаются между катками, сгибаясь в шарнирах и образуя волнистую линию, при этом создается значительная разница между давлениями под катками и между ними (рис. 6.3, б). Поэтому многоопорная гусеница применяется на экскаваторах, перемещающихся по породам со слабой несущей способностью, а малоопорная – по прочным.

На слабых породах малоопорная гусеница в большей степени погружается в почву, чем многоопорная, однако лучше переносит сосредоточенные нагрузки, возникающие при работе экскаватора на скальных породах, так как имеет более прочные большие катки. Малоопорные гусеницы обычно снабжаются четырьмя – пятью катками большого диаметра, многоопорные – шестью-восемью катками небольшого диаметра.

Показанные на схемах гусеницы (рис. 6.3, а, б, в) имеют жесткое крепление опорных катков к ходовой раме, в силу чего они плохо приспособлены к неровностям почвы. Для устранения этого недостатка применя-

ются устройства, позволяющие гусеничной цепи деформироваться как в продольном, так и в поперечном направлениях. Так, в первом случае опорные катки либо разносят на величину двух или более звеньев, либо объединяют в балансирные тележки (рис. 6.3, г). В последнем случае либо балансирным тележкам дают возможность самоустановки в поперечном направлении, либо опорные поверхности катков закругляют, что позволяет звену гусеничной цепи самоустанавливаться на неровностях почвы.

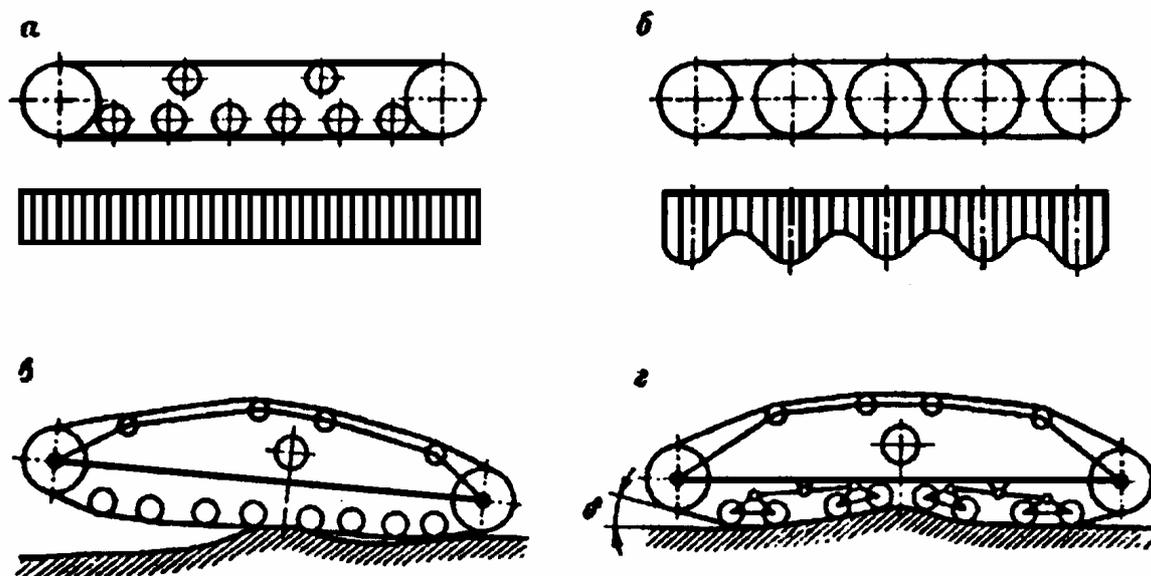


Рис. 6.3. Типы гусениц:  
а, в, г – многоопорные; б – малоопорная; а, б, в – жесткие; г – мягкая

#### 6.4. Шагающее ходовое оборудование

Шагающее ходовое оборудование состоит из опорной рамы (базы) и механизма шагания. Последний имеет лыжи (башмаки), механизм перемещения и привод.

Схемы механизмов шагания различаются по конструкции механизма шагания и могут быть гидравлическими и кривошипными (рис. 6.4). Они состоят из двух одинаковых синхронно работающих механизмов шагания, расположенных симметрично относительно продольной оси экскаватора.

При любом виде шагающего ходового оборудования полный цикл передвижения экскаватора складывается из следующих элементов: подачи лыж на грунт, подъема экскаватора, передвижения экскаватора, опускания экскаватора, подъема лыж в исходное положение.

Независимо от вида шагающего ходового оборудования (кроме специального – ЭШ 100.100) в момент непосредственного передвижения экскаватор опирается на две лыжи и на часть опорной базы. Поскольку при этом центр тяжести экскаватора находится впереди оси механизма шагания, передвижение машины может быть осуществлено только в направлении противовеса.

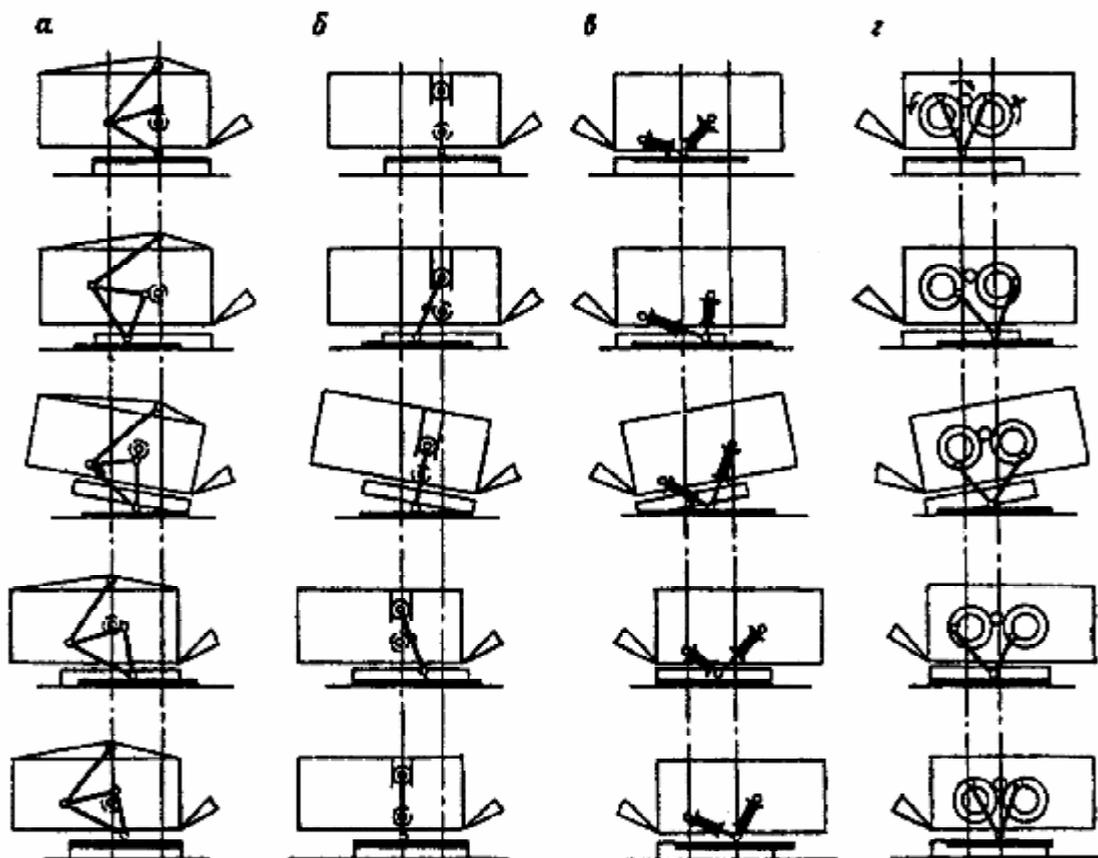


Рис. 6.4. Схемы механизмов шагания:  
 а – кривошипно-шарнирного с треугольной рамой; б – кривошипно-ползункового; в – гидравлического; г – двухкривошипного

Все модели драглайнов УЗТМ и модель 4250-W фирмы «Бюсайрус-Ири» (США) оборудованы гидравлическими механизмами шагания.

Гидравлический механизм шагания экскаваторов ЭШ 15.90 (рис. 6.5), ЭШ 25.100 и других состоит из лыж 1, подъемного 2 и тягового 3 гидроцилиндров. Штоки последних сочленяются общим шарниром на траверсе 4, которая также шарнирно с помощью кронштейнов 5 связана с лыжей. Подъемный и тяговый гидроцилиндры шарнирно соединены с металлоконструкциями надстройки б и поворотной платформой осями 7 и 8. В верхние и нижние полости гидроцилиндров по трубопроводам 9 и 10 масло или специальная рабочая жидкость подводится от насосной установки под давлением 10–20 МПа.

Во время работы экскаватора поршни всех гидроцилиндров втянуты внутрь, опорные башмаки подняты и занимают крайнее верхнее положение, а поворотная платформа при этом опирается на базу 11. При шагании под действием подъемных и тяговых гидроцилиндров опорные башмаки выдвигаются и опускаются на почву уступа. При возрастании давления в подъемных гидроцилиндрах один конец опорной базы экскаватора приподнимается от почвы уступа, затем экскаватор с помощью тяговых гид-

роцилиндров сдвигается и, опираясь на башмаки, скользит опорной рамой по почве уступа, передвигаясь на величину шага 1–2,5 м, после чего база вновь опускается на почву. Затем подъемные гидроцилиндры поднимают опорные башмаки вверх и процесс шагания повторяется.

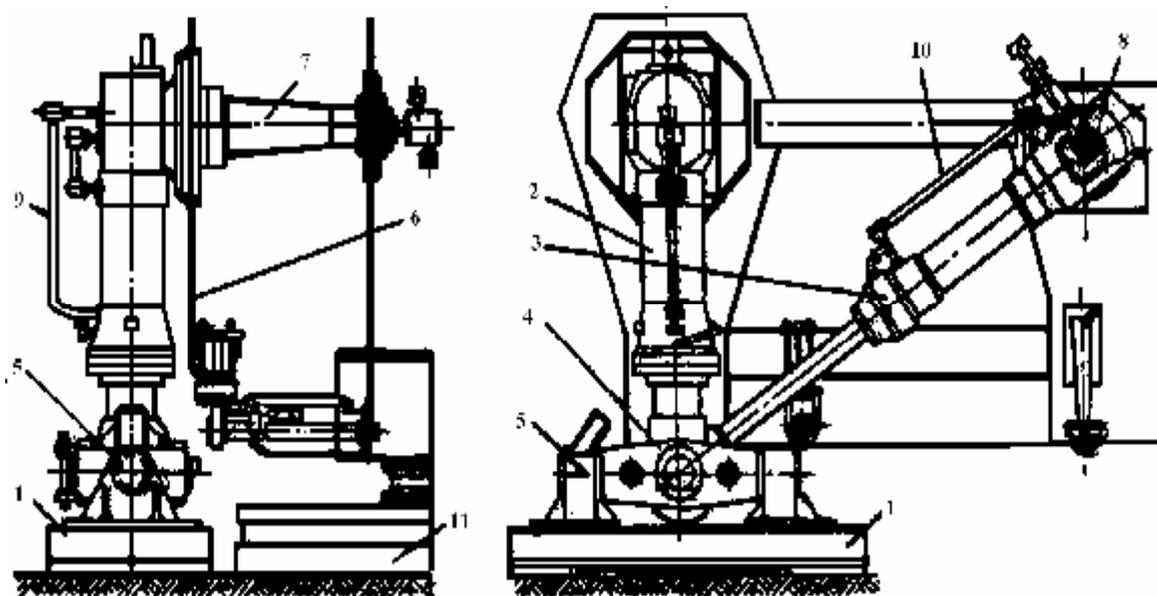


Рис. 6.5. Гидравлический механизм шагания экскаватора ЭШ 15.90

Достоинства гидравлического шагающего механизма заключаются в плавности его работы и возможности регулирования траектории движения, а недостатки – в низком КПД (около 0,6) и сложности устройства привода, требующего квалифицированного обслуживания.

В отличие от описанной выше конструкции на мощном драглайне ЭШ 100.100 применено гидравлическое шагающее устройство с полным отрывом опорной рамы (базы) от грунта. Передвижение экскаватора осуществляется перемещением опорных скользунов (гидростатической опоры) гидроцилиндров по верхней плоскости башмака в направляющих.

Шагающее ходовое устройство экскаватора ЭШ 100.100 (рис. 6.6) состоит из четырех башмаков 1, соединенных попарно шарниром 2, четырех подъемных гидроцилиндров 3, закрепленных в раме поворотной платформы 4 и опирающихся на сферу 5 гидростатической опоры скользунов, двух тяговых гидроцилиндров 6, шарнирно закрепленных в точке А на поворотной платформе и в точке Б – на башмаке и обеспечивающих перемещение гидростатической опоры по опорным плитам башмаков. Рабочие поверхности гидростатической опоры и опорных плит башмаков закрыты от попадания пыли сложной системой уплотнений и кожухами 8. Во время работы драглайн опирается на базу 9. Минимальный подъем экскаватора – 700 мм, максимальная длина шага – до 3 м.

Гидравлическая схема управления механизмов обеспечивает три точки опоры машины замыканием пары подъемных цилиндров в гидравлический балансир.

Достоинства данного вида шагающего устройства: вес машины распределяется между четырьмя точками поворотной платформы вместо двух; возможность полностью оторвать базу от земли, что при передвижении исключает ее трение о грунт, износ и появление поперечных нагрузок на центральной цапфе; независимость величины выдвижения толкающего цилиндра от величины выдвижения домкратов, что позволяет изменять длину шага в различных условиях; наличие шаровой опоры на нижнем конце подъемного цилиндра, в связи с чем устраняются изгибающие нагрузки на штоке и обеспечиваются большие надежность и долговечность соединений. Недостаток этого шагающего устройства – сложность конструкции гидростатической опоры.

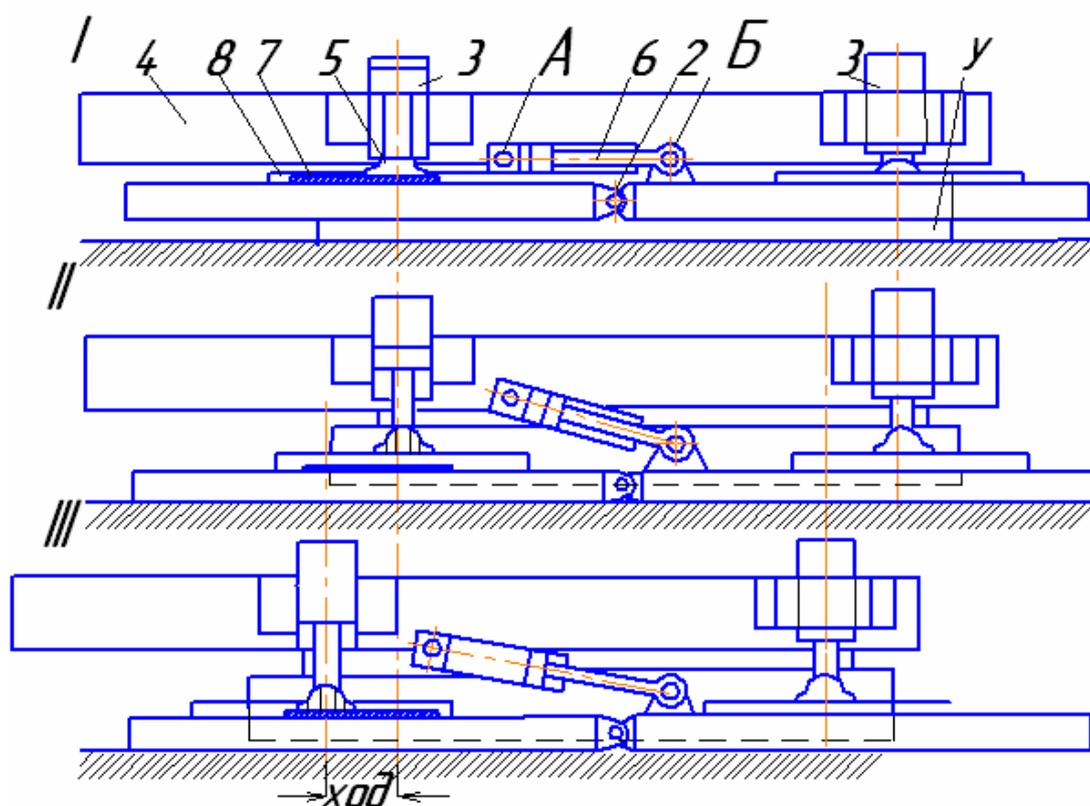


Рис. 6.6. Положения шагающего ходового устройства экскаватора ЭШ 100.100 с полным отрывом базы: I – начало шагания (лыжи подняты); II – экскаватор поднят; III – перемещение экскаватора

Аналогичный гидравлический механизм шагания с полным отрывом базы, отличающийся от механизма шагания экскаватора ЭШ 100.100 удвоенным числом тяговых цилиндров (по одному на каждой опоре), применен на драглайне 4250-W (фирма «Бюсайрус-Ири», США) с рабочей массой 13,6 тыс. т.

На драглайнах НКМЗ и на всех моделях драглайнов зарубежных фирм применяются кривошипные системы различных видов: кривошипно-шарнирная с треугольной рамой фирмы «Марион», кривошипно-ползунковая фирмы «Пейдж», двухкривошипная фирмы «Марион», кривошипно-эксцентриксовая НКМЗ и эксцентриксовая с тягой фирмы «Марион».

Кривошипно-эксцентрикковый механизм шагания применялся на ЭШ 4.40 с массой до 4 тыс. т. В настоящее время НКМЗ устанавливает на своих моделях ЭШ 6.45М, ЭШ 10.60, ЭШ 10.70А, ЭШ 20.55 и ЭШ 15.70 кривошипно-рычажные четырехзвенные механизмы шагания.

Двухкривошипная система шагания применяется на мощных драглайнах фирмы «Марион» массой до 8500 т.

### 6.5. Шагающе-рельсовое ходовое оборудование

Шагающе-рельсовое ходовое оборудование было впервые разработано на НКМЗ и применено на отвалообразователях и мощных роторных экскаваторах.

Схема работы шагающе-рельсового ходового оборудования приведена на рис. 6.7. Ходовое оборудование включает в себя четыре соединенные сферическим шарниром 1 лыжи 2 (лыжа может быть неразрезная), на которых имеются верхние 3 и нижние 4 рельсы. Верхняя часть экскаватора 5 через четыре гидродомкрата б опирается на ходовые тележки 7.

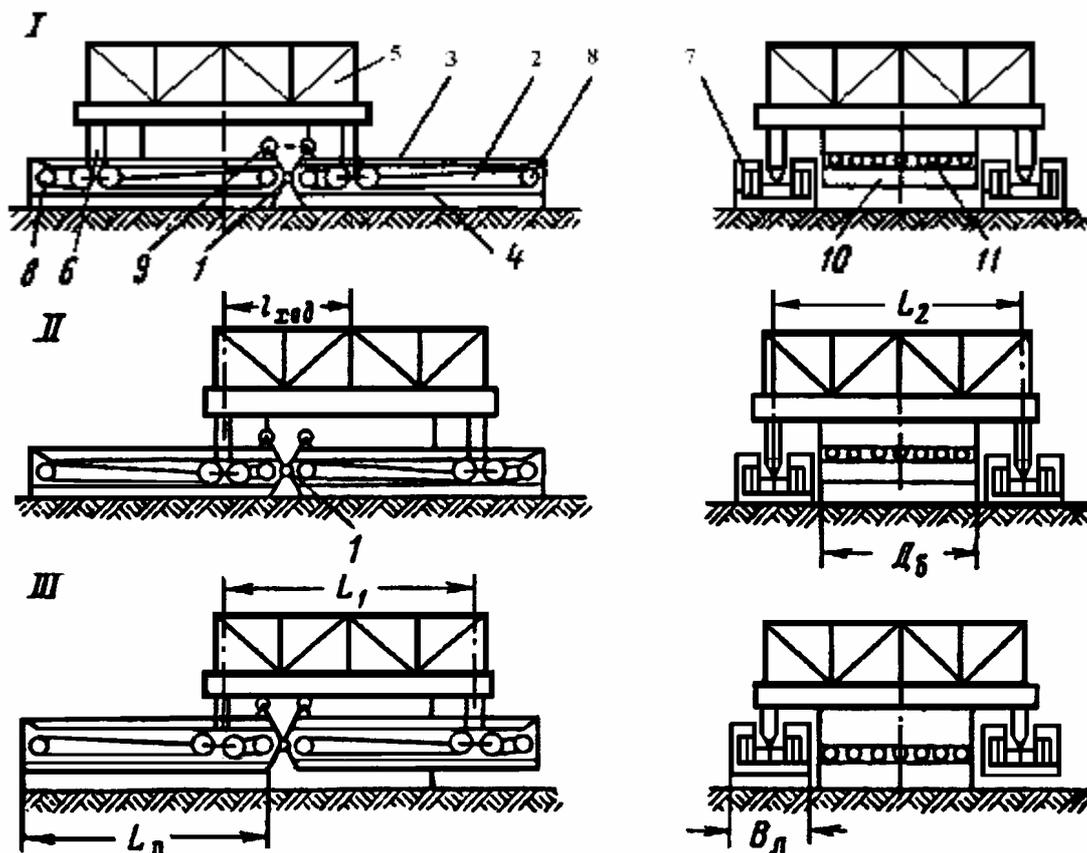


Рис. 6.7. Схема работы шагающе-рельсового оборудования

В рабочем положении машина опирается через гидродомкраты и ходовые тележки на нижние направляющие лыж. База вместе с верхней частью приподнята над землей (положение I). Для передвижения верхней части машины включают тяговые лебедки 8, которые с помощью полиспастов перемещают машину по лыжам в нужном направлении. Когда тележ-

ки достигнут крайнего положения на лыжах (положение II), производится опускание машины на базу и последующий подъем лыж через верхние направляющие рельсы до упора катков 9 в раму машины (положение III). Далее происходит отключение, гидравлической системы домкратов и включение тяговых лебедок, которые перемещают лыжи вперед на величину шага ходового оборудования.

### **Вопросы для контроля**

1. Назовите требования, предъявляемые к ходовому оборудованию экскаваторов.
2. Как классифицируется ходовое оборудование экскаваторов?
3. Рельсовое ходовое оборудование экскаваторов назначение, классификация.
4. Каковы схемы рельсового ходового оборудования экскаваторов?
5. Гусеничное ходовое оборудование экскаваторов назначение, классификация.
6. Какие системы гусеничного ходового оборудования?
7. Назначение шагающего ходового оборудования.
8. Что представляет собой устройство механизма шагания?
9. Какие схемы механизма шагания Вы знаете?
10. Конструктивные особенности гидравлического механизма шагания.
11. Шагающе - рельсовое ходовое оборудование, его назначение.
12. Каково устройство шагающее-рельсового оборудования?

## Глава 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ НА РАБОЧЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МОЩНОСТИ ПРИВодОВ ГЛАВНЫХ МЕХАНИЗМОВ ЭКСКАВАТОРОВ

### 7.1. Условия работы приводов главных механизмов

Привод механизма подъема ковша мехлопаты преодолевает следующие усилия: при черпании породы – от сопротивления породы копанию и веса ковша с породой; при повороте платформы и ковша на разгрузку – от веса ковша с породой; при повороте платформы и порожнего ковша к забю – от веса порожнего ковша.

Скорость перемещения ковша при этом соответственно изменяется: при черпании породы она имеет номинальное значение; при повороте платформы и ковша на разгрузку в тормозных режимах – пониженное до 10 – 30 % номинальной и при повороте и спуске порожнего ковша в забю – повышенное до 130 % номинальной.

Привод механизма напора преодолевает следующие усилия: при черпании породы – отжатия ковша от забю, от составляющих веса рукояти и ковша с породой, а также составляющую от усилия в подъемном канате (канатах), направленную вдоль оси рукояти; при повороте груженого ковша на разгрузку – от составляющих веса ковша с породой и рукояти, а также составляющую от усилия в подъемном канате (канатах); при повороте порожнего ковша к забю – усилия от составляющих веса порожнего ковша и рукояти.

Скорость перемещения рукояти близка к номинальной при копании и повороте порожнего ковша к забю, но понижается до 30 % номинальной при повороте груженого ковша к забю, когда привод работает в тормозных режимах.

Полное время (в секундах) цикла  $t_{ц}$  одноковшовых экскаваторов включает в себя три периода: копания  $t_{к}$ , поворота платформы и груженого ковша на разгрузку  $t_{р}$  и поворота платформы с порожним ковшом к забю  $t_{з}$ .

Опыт эксплуатации одноковшовых экскаваторов позволил установить продолжительность выполнения отдельных операций за цикл работы. Так, продолжительность копания для мехлопат составляет  $0,3 \div 0,4 t_{ц}$  и  $0,25 \div 0,3 t_{ц}$  для драглайнов. Остальное время расходуется на поворот платформы с груженым ковшом на разгрузку и с порожним ковшом в забю; при этом операция разгрузки ковша, как правило, совмещается с поворотом.

Таким образом, для предварительных расчетов с достаточной степенью точности можно принять: для мехлопат  $t_{и} = t_{к} = t_{р} = t_{з} = 0,33 t_{ц}$ , для драглайнов  $t_{к} = 0,3 t_{ц}$  и  $t_{р} = t_{з} = 0,35 t_{ц}$ .

Для механизмов, работающих в повторно-кратковременных режимах с частыми пусками и торможениями (т. е. с резко переменными скоростями и усилиями сопротивления), мощности приводов рекомендуется определять по средневзвешенной мощности  $AU$  (кВт), подсчитываемой с учетом мощности  $N_i$  потребляемой двигателем за отдельные промежутки времени  $t_i$  в течение цикла по формуле

$$N_{св} = \frac{\sum_l^n N_i t_i}{\sum_l^n t_i}, \quad (7.1)$$

где  $\sum_l^n t_i = t_{ц}$  – продолжительность работы механизма за один цикл;  $n$  – число операций в цикле. Для одноковшового экскаватора  $n = 3$ .

Мощность, потребляемая приводом  $N$  (кВт) в течение отдельной операции цикла  $t_i$ , определяется из выражения

$$N_i = K_i S_i v_i / \eta_i, \quad (7.2)$$

где  $K_i$  – численный коэффициент, зависящий от отношения фактической скорости движения механизма к его номинальной за данный отрезок времени 1. Численные значения  $K_i$  приводятся ниже для каждого главного механизма экскаватора;  $S_i$  и  $v_i$  – соответственно усилие и скорость рабочего механизма при выполнении данной операции в цикле, кН и м/с;  $\eta_i$  – КПД данного механизма.

Для определения  $V_{св}$  необходимо предварительно построить диаграммы нагрузок механизмов (см. рис. 7.2 и 7.4), отражающие зависимость усилий  $S$ , в функции времени:  $S_i = f(t)$  и скоростные диаграммы, отражающие зависимость частоты вращения или скорости перемещения рабочего органа за те же отрезки времени:  $n = f(t)$  или  $v = f(t)$ .

Двигатели приводов исполнительных органов многоковшовых экскаваторов и их подачи (поворота стрелы) работают в длительном режиме, где пуски и торможения редки, а средняя нагрузка довольно медленно изменяется во времени, поэтому с достаточной точностью их мощность можно определять по формуле (7.2).

Ниже приводится методика определения усилий в рабочих механизмах, а также нагрузочных, скоростных диаграмм и средневзвешенной мощности в приводах экскаваторов.

## 7.2. Прямые лопаты

Усилия, действующие на рабочее оборудование прямой мех-лопаты в процессе копания, определяются в расчетных положениях I-IV ковша и рукояти (рис. 7.1).

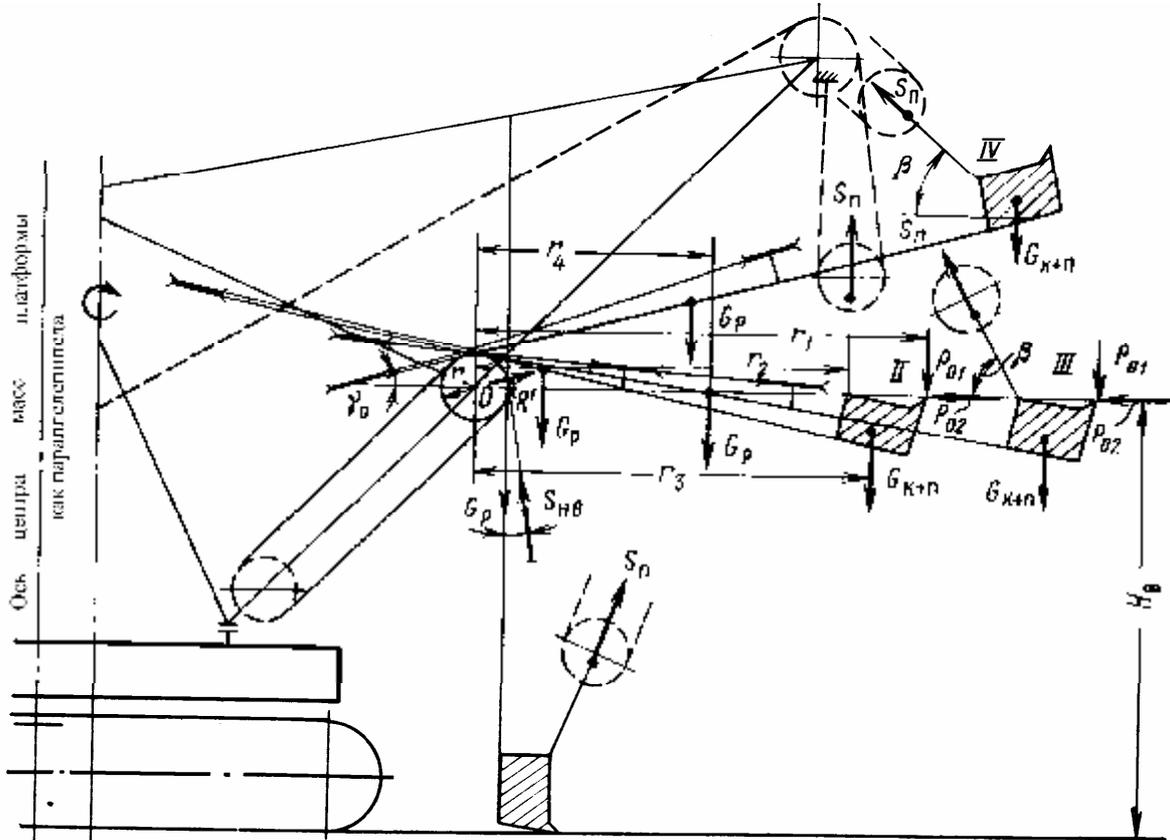


Рис. 7.1. Схема к определению подъемного и напорного усилий

*Подъемный механизм.* Усилия в подъемном канате  $S_{п1}$  (кН) при черпании породы в любом положении ковша относительно забоя, которыми обуславливается нагрузка двигателя механизма подъема, определяются из уравнения моментов, учитывающего действие составляющих силы сопротивления породы копанию  $P_{01}$  (кН) и  $P_{02}$  (кН), веса ковша с породой  $G_{к+п}$  (кН) и веса рукояти  $G_p$  (кН) относительно оси напорного вала O;

$$S_{n_i} = [P_{01}r_1 + (G_{к+п}r_3 + G_p r_4) \cos z_p + P_{02}r] / r_2 \sin \nu, \quad (7.3)$$

где  $r, r_1, r_2, r_3, r_4, z_p, \nu$  – соответственно плечи действия сил до оси напорного вала и углы наклона рукояти и подъемного каната (по схеме рабочего оборудования лопаты).

Максимальное расчетное усилие на канатах  $S_{пII}$  (кН) соответствует моменту окончания копания забоя (II положение рукояти), когда зубья ковша находятся на высоте  $H_B$  напорного вала, рукоять почти горизон-

тальна ( $\beta = 90^\circ$ ,  $\gamma = 0$ ), подъемное усилие приложено к ковшу вертикально и от забоя отделяется «стружка» наибольшей толщины, обеспечивающая 100 %-ное наполнение ковша.

Расчетная сила сопротивления породы копанию  $P_{01}$  на зубьях ковша на высоте  $H_B$  напорного вала, направленная по касательной к траектории резания, составит

$$P_{01} = K_F t_{max} b = K_F E / H_B K_p, \quad (7.4)$$

где  $K_F$  – коэффициент сопротивления породы копанию, кПа.

Нормальная составляющая силы  $P_{02}$  перпендикулярная к траектории, для положения II рукояти может быть принята

$$P_{02} = 0,1 P_{01}. \quad (7.5)$$

Значения  $P_{02}$  зависят от величины развиваемого напорного усилия. Составляющая  $P_{01}$  приложена почти перпендикулярно к рукояти, в силу чего  $P_{02}$  может иметь плечо  $r$  относительно оси  $O$ , однако оно весьма мало и в расчетах может быть принято равным нулю.

Расчетные формулы для определения массы ковша с породой приводились выше.

*Напорный механизм.* Напорное усилие определяется для трех положений ковша (рис. 7.1); I – начало копания; III – конец копания на полном вылете рукояти; IV – вынос груженого ковша на полный вылет рукояти на максимальной высоте.

Направленное вдоль рукояти усилие, развиваемое напорным механизмом  $S_{н.а.}$  (кН) при ее выдвигении, называется активной силой напора:

$$S_{н.а.} = M_\delta i_n \eta_n / r, \quad (7.6)$$

где  $M_\delta$  – момент, развиваемый напорным двигателем, кН м;  $i_n$  – передаточное число редуктора (от двигателя до напорного вала или барабана);  $r$  – радиус кремальберной шестерни или барабана, м;  $\eta_n = 0,75 \div 0,8$  – КПД напорного механизма.

Активное напорное усилие, реализуемое на рукояти ковша, должно при его движении преодолевать нормальную реакцию породы IV, составляющую усилия подъема ковша, направленную вдоль рукояти, а при положении ковша выше оси напорного вала – и составляющие веса ковша с породой и рукояти. Так как работа ковша обычно совершается ниже оси напорного вала, то эти силы способствуют напору, разгружая механизм напора.

При отсутствии заглубления ковша, что имеет место при копании выше оси напорного вала, выдвигения рукояти не требуется. В этом случае напорное усилие является пассивным, так как должно обеспечивать

удержание рукояти в нужном положении при включенном двигателе или с помощью тормоза.

В общем случае напорное усилие в рукояти при любом положении ковша относительно забоя определяется выражением, уточняемым в соответствии с расчетными положениями.

$$S_{n.a(n)i} = P_{02} + S_n \cos \beta \pm (G_{k+n} + G_p) \sin \gamma_p. \quad (7.7)$$

Положение 7 рукояти: зубья ковша на уровне стоянки экскаватора, ось рукояти вертикальна, подъемная лебедка отключена; напорное усилие в этом положении рукояти должно осуществлять ее втягивание с наполненным ковшом в седловой подшипник. Требуемое для этого усилие возврата  $S_{нв}$  определяется из формулы (7.7) и должно быть меньше  $S_{на}$ , полученного из выражения (7.6).

Положение III рукояти: стрела под углом  $45^\circ$ , рукоять на полном вылете, зубья на уровне оси напорного вала, ковш наполнен породой.

Сила  $P_{01}$  принимается такой же величины, что и в положении рукояти [см. формулу (7.4)]. Сила  $P_{02} = 0,1 P_{01}$ .

Сила  $S_{nIII}$  определяется из уравнения моментов относительно оси напорного вала [см. формулу (7.3)]. Сила  $S_{наIII}$  определяется по формуле (7.7).

Положение IV рукояти: стрела под углом  $50 - 55^\circ$ , рукоять на полном вылете, зубья ковша на наибольшей возможной высоте, ковш полностью загружен породой.

Предварительно для этого положения определяется возможное значение  $P_{01}$  из уравнения моментов относительно оси напорного вала [см. формулу (7.3)]. Сила  $P_{02} = 0,2 P_{01}$ .

В положении IV на рукоять действует максимальное усилие  $S_{н.н}$ , определяемое выражением (7.7), при положительных знаках всех его членов. Это усилие называется пассивным и принимается исходным для расчетов тормоза механизма напора и рукояти на прочность.

Максимальное усилие, по которому определяется стопорный момент двигателя механизма подъема, определяется равенством

$$S_{n \max} = (1,25 \div 1,43) S_{nII}.$$

Усилие  $S_k$  для выбора сечения каната  $d_k$  (м) с учетом числа его ветвей (или кратности полиспаста  $i_n$ ) и четырех- пятикратного запаса прочности определится, как

$$S_k = (4 \div 5) S_{n \max} / i_n.$$

Диаметр подъемного и напорного барабанов и огибающих блоков должен быть не менее  $D_{\bar{\sigma}} = K_{\bar{\sigma}} d_k$ , где  $K_{\bar{\sigma}}$  – коэффициент, равный 25 – 30 для карьерных и 35 – 40 для вскрышных лопат и драглайнов.

### 7.2.1. Определение средневзвешенной мощности приводов главных механизмов по нагрузочным диаграммам

*Механизм подъема.* Построение нагрузочных и скоростных диаграмм для предварительного определения средневзвешенной мощности двигателей механизмов подъема, напора и поворота производится исходя из следующих соображений.

Время, затрачиваемое на операции поворота с грузным ковшем, на разгрузку и возвращение порожнего ковша к забою, составляет для мехлопат 60 – 70 % полного времени рабочего цикла  $t_{ц}$ . Поэтому для предварительных расчетов время цикла мехлопаты можно разбить на три равных периода: копание  $t_k$ , поворот на разгрузку  $t_p$  и поворот к забою  $t_3$  (рис. 7.2).

При копании (период  $t_k$ ) в режиме без перегрузок расчетное усилие  $S_{nII}$  для механизма подъема принимается по формуле (7.3) при  $\beta = 90^\circ$  и  $\gamma_p = 0$ . Двигатель механизма подъема в этом случае работает на рабочей части своей механической характеристики и за расчетную принимается номинальная скорость подъема  $x_n$  (прил., табл. П11).

Мощность двигателя подъема  $N_n$  за период копания (положение II рукояти, см. рис. 7.1) определяется по формуле (7.2) при значениях  $S_i = S_{nII}$ ,  $x_i = x_n$ ,  $K_i = 1$  и  $\eta_i = \eta_n = 0,8 \div 0,85$ , где  $\eta_n$  – КПД механизма подъема.

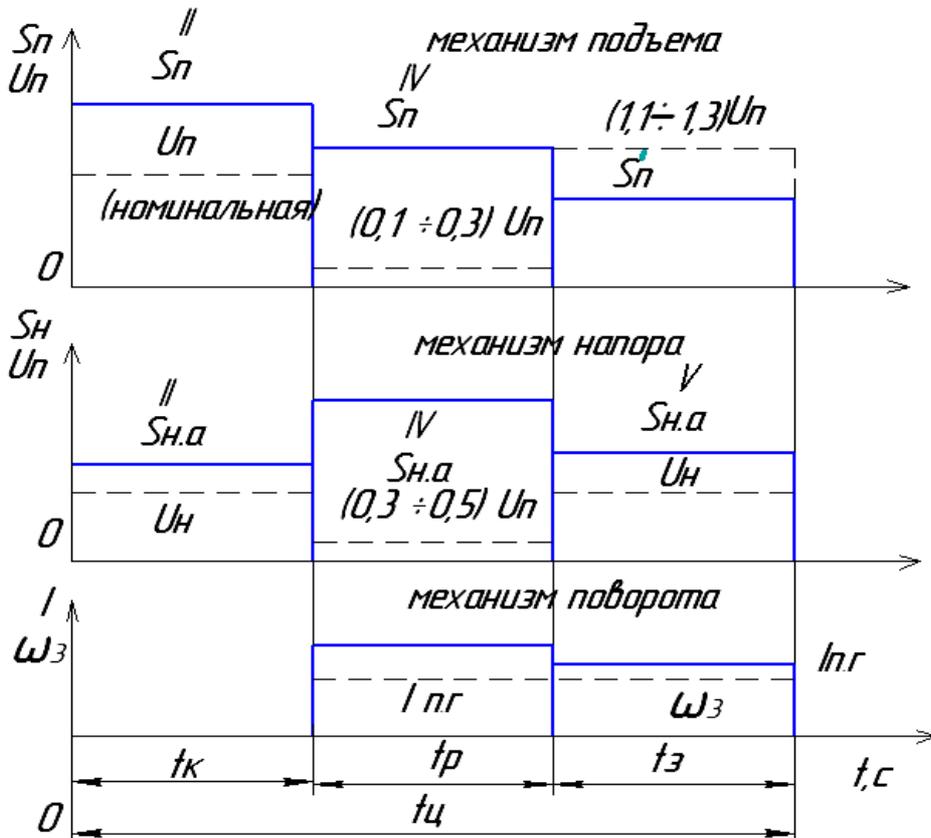


Рис. 7.2. Диаграммы нагрузки (сплошная линия) и скорости (пунктирная линия) механизма напора за цикл

При повороте платформы с груженым ковшем (период  $t_p$ ) двигатель механизма подъема, как правило, работает в тормозных режимах противовключения или динамическом. При этом ковш может быть поднят на максимальную высоту, а частота вращения двигателя соответствовать «ползучим» скоростям. Поэтому среднюю скорость механизма подъема за время поворота груженого ковша на разгрузку можно принять равной  $0,1 \div 0,3 v_n$ .

Усилия, возникающие в механизме подъема за время поворота груженого ковша, можно определить из положения IV рукояти (рис. 7.1) или по формуле (7.3). Тогда мощность двигателя подъема за период поворота груженого ковша на разгрузку  $\pm N_n$  определяется из выражения (7.2) при значениях  $K_i = 0,15 \div 0,3$ ;  $S_i = S'_n$ ;  $v_i = v_n$  и  $\eta_i = \eta_n$ . Знаки плюс и минус показывают, что двигатель может работать как в двигательном, так и в генераторном режимах.

При повороте порожнего ковша к забою (период  $T_3$ ) схемой управления приводом механизма подъема обычно предусматривается режим ослабления поля возбуждения двигателя, чем достигается увеличение номинальной частоты вращения двигателя на 10 – 20 % при спуске порожнего ковша. За расчетное усилие при спуске порожнего ковша следует принимать максимальное усилие, которое соответствует положению ковша при выдвинутой на половину длины рукояти. Величина  $S'_n$  определяется по формуле (7.3) для положения рукояти (рис. 7.1) при условии, что ковш порожний.

В этом случае мощность двигателя механизма подъема  $N''_n$  определяется по формуле (7.2) при значениях  $K_i = 1,1 \div 1,3$ ;  $S_i = S'_n$ ;  $v_i = v_n$  и  $\eta_i = \eta_n$ .

Таким образом, средневзвешенная мощность двигателя механизма подъема по предварительно построенным нагрузочной и скоростной диаграммам будет.

$$N_{n(св)} = (N_n t_k + N'_n t_p + N''_n t_3) / t_u. \quad (7.9)$$

*Механизм напора.* По аналогии с механизмом подъема для механизма напора при определении мощности двигателя за период копания  $t_k$  следует принимать усилие, соответствующее положению рукояти при  $\beta = 90^\circ$  и  $\gamma_p = 0$ .

В соответствии с формулой (7.7):

$$S_{н.а.П} = P_{02} = (0,5 \div 1) P_{01}.$$

При этом скорость перемещения рукояти принимается равной номинальной скорости механизма напора  $x_n$ .

Скорость напора должна быть достаточной, чтобы за время копания  $t_k$  произошло выдвижение рукоятки на весь ход  $L$ . Поэтому выбранная скорость не должна быть меньше  $L/t_k$ . Скорость возвратного хода рукоятки берется в 1,7 – 2 раза больше скорости напора. Следовательно, мощность двигателя напора  $N_H$  за период копания определится по формуле (7.2) при значениях  $S_i = S_{н.аII}$ ,  $v_i = v_n$ ,  $\eta_i = \eta_n$ .

При повороте платформы с груженым ковшем на разгрузку (период  $t_p$ ) двигатель механизма напора в основном будет работать в тормозном режиме, преодолевая сопротивления, создаваемые составляющими весов груженого ковша и рукоятки, а также в некоторых случаях и составляющей усилия в механизме подъема (рис. 7.1, положение IV). Усилие в механизме напора при повороте на разгрузку определяется выражением (7.7) при  $P_{02} = 0$  для положения IV рукоятки. Подобно тому, как это происходит для механизма подъема, перемещение рукоятки в данном режиме также происходит при пониженных скоростях и может изменяться от  $v_n = v_{н.ном}$ , до  $v_n = 0$ . Среднее значение скорости перемещения рукоятки за период  $t_p$  можно принять равным  $(0,3 \div 0,5) v_n$ . Тогда мощность двигателя механизма напора  $N'_H$  за этот период определится из формулы (7.2) при значениях  $K_i = 0,3 \div 0,5$ ;  $S_i = S_{н.аVI}$ ;  $v_i = v_n K_i$  и  $\eta_i = \eta_n$ , где  $\eta_n = 0,75 \div 0,85$  – КПД механизма напора.

При повороте платформы с порожним ковшем к забою (период  $t_3$ ) одной из вероятных нагрузок для двигателя механизма напора может быть нагрузка  $S_{н.аV}$ , создаваемая составляющими весов ковша и рукоятки:

$$S_{н.аV} \geq G_k + G_p. \quad (7.10)$$

Мощность двигателя механизма напора  $N''_n$  за период  $t_3$  определяется из формулы (7.2) при значениях  $S_i = S_{н.аV}$  и  $v_i = v_n$ . Тогда средневзвешенная мощность двигателя механизма напора за цикл работы равна:

$$N_{n(св)} = (N_n t_{к0} + N'_n t_p + N''_n t_3) / t_u. \quad (7.11)$$

*Механизм поворота.* Мощность электродвигателей механизма поворота одноковшовых экскаваторов зависит от ряда факторов, главными из которых являются допустимые угловые ускорения и частота вращения платформы, угол поворота платформы и момент инерции вращающихся частей экскаватора. При поворотах платформы в пределах  $90^\circ$  время разгона и торможения может составлять 90 – 95 % времени поворота и тогда лишь 5 – 10 % времени двигателя работают с установившейся скоростью. При углах, меньших  $90^\circ$ , установившееся движение может вообще отсутствовать. Поэтому большое влияние на величину мощности двигателей оказывает допустимое угловое ускорение платформы, по которому производятся расчеты конструкций на прочность и раскачивание рабочего орга-

на экскаватора (например на карьерных экскаваторах и драглайнах угловое ускорение ограничивается величиной 0,15 – 0,2 рад/с).

Расчетная частота вращения платформы также устанавливается по допустимой величине углового ускорения.

Средневзвешенная мощность  $N_{\epsilon(c\epsilon)}$  (кВт) двигателя поворотного механизма определяется выражением

$$N_{\epsilon(c\epsilon)} = K_{\text{як}} W_3^2 (J_{n\epsilon} + J_{nn}) (1 + 3 \eta_{\epsilon}^2) / 2 \cdot 10^3 (t_p + t_3). \quad (7.12)$$

Суммарный момент инерции одноковшового экскаватора (кг · м<sup>2</sup>) относительно оси его вращения определится, как

$$J = J_n + J_c + J_{\kappa+n} + J_n + J_p, \quad (7.14)$$

где  $J_n$ ,  $J_c$ ,  $J_{\kappa+n}$ ,  $J_n$ ,  $J_p$  – моменты инерции соответственно поворотной платформы, стрелы, ковша с породой (или порожнего ковша Л), механизма напора и рукояти относительно оси вращения платформы.

Момент инерции поворотной платформы со сторонами, равными длине  $L_{\partial}$ , ширине  $L_{\text{ш}}$  и высоте кузова  $L_B$  платформы, относительно вертикальной оси вращения экскаватора

$$J_n = J_o + m_n r_n^2 = m_n [(0,5 L_{\partial})^2 + (0,5 L_{\text{ш}})^2] / 3 + m_n r_n^2, \quad (7.15)$$

где  $J_o$  – момент инерции поворотной платформы относительно вертикальной оси, проходящей через центр массы параллелепипеда, кг м<sup>2</sup>;  $m_n$  – масса платформы, кг:

$$m_n = K_n m_{\epsilon}, \quad (7.16)$$

$K_n$  – коэффициент (0,48 – 0,51 для карьерных мехлопат, 0,43 – 0,45 для вскрышных лопат и 0,7 – 0,8 для драглайнов);  $m_{\epsilon}$  – масса экскаватора, кг;  $r_n$  – расстояние между осью вращения экскаватора и осью, проходящей через центр массы платформы (как параллелепипеда),  $r_n = 0,5 L_{\partial} - r_{n.c.}$ ,  $r_{n.c}$  – радиус пяты стрелы, м.

Момент инерции стрелы относительно оси вращения экскаватора с достаточной точностью может быть определен по формуле

$$J_c = m_c r_c^2, \quad (7.17)$$

где  $m_c$  – масса стрелы, определяемая по формуле (10.6), кг;  $r_c$  – расстояние от оси вращения платформы до середины стрелы, м.

Момент инерции ковша с породой:

$$J_{\kappa+n} = m_{\kappa+n} r_{\epsilon}^2, \quad (7.18)$$

где  $m_{к+n}$  – масса ковша с породой, кг (определяется суммированием выражения (10.2) или (10.4) с выражением (10.5));  $r_c$  – максимальный радиус разгрузки, м.

Момент инерции напорного механизма

$$J_H = m_H r_H^2, \quad (7.19)$$

где  $m_H$  – масса напорного механизма, кг;  $r_H^2$  – расстояние от оси вращения экскаватора до центра тяжести механизма напора, м.

Момент инерции рукояти

$$J_p = m_p r_p^2, \quad (7.20)$$

где  $m_p$  – масса рукояти, определяемая по формуле (10.9), кг;  $r_p$  – расстояние от центра тяжести рукояти до оси вращения экскаватора, м.

### 7.3. Драглайны

Касательная составляющая усилия  $P_{01}$  (кН) сопротивления горной породы копанию на режущей кромке ковша драглайна (рис. 7.3) вместимостью  $E$  (м<sup>3</sup>) при условии его 100 %-го наполнения на пути  $l_n$  (м) определяется из выражения

$$P_{01} = E (1 + \lambda_0) K_F / K_{нум} l_k K_p, \quad (7.21)$$

где  $\lambda_0$  – отношение объема призмы волочения к объему ковша (для легких пород составляет 0,4, для средних 0,3, для тяжелых 0,2);  $K_F$  – коэффициент удельного сопротивления копанию, кПа;  $K_{нум}$  – отношение пути  $l_n$  к длине ковша  $l_k$  (см. прил., табл. Пб);  $K_p$  – коэффициент разрыхления (см. прил., табл. Пб).

Потребные тяговые усилия  $S_T$  (кН), массу ковша  $m_k$  (т), а также высоту  $r_m$  (м) крепления тяговой цепи от уровня режущей кромки определяют на основании следующих уравнений:

$$\Sigma P_x = 0; S_T = P_{01} + G_{к+n} \sin \alpha + \mu_1 G_{к+n} \cos \alpha; \quad (7.22)$$

$$\Sigma P_y = 0; P_{02} = G_{к+n} \cos \alpha = K_1 P_{01}; \quad (7.23)$$

$$\Sigma M_o = 0; S_m r_m = G_{к+n} (r_o \sin \alpha + a \cos \alpha), \quad (7.24)$$

где  $a$  – предельный угол откоса (для легких несвязных горных пород составляет 45 – 50°, для средних 40° и для тяжелых 30 – 35°);  $\mu_i$  – коэффициент трения ковша о породу (в среднем 0,4);  $r_o$  – плечо приложения силы.

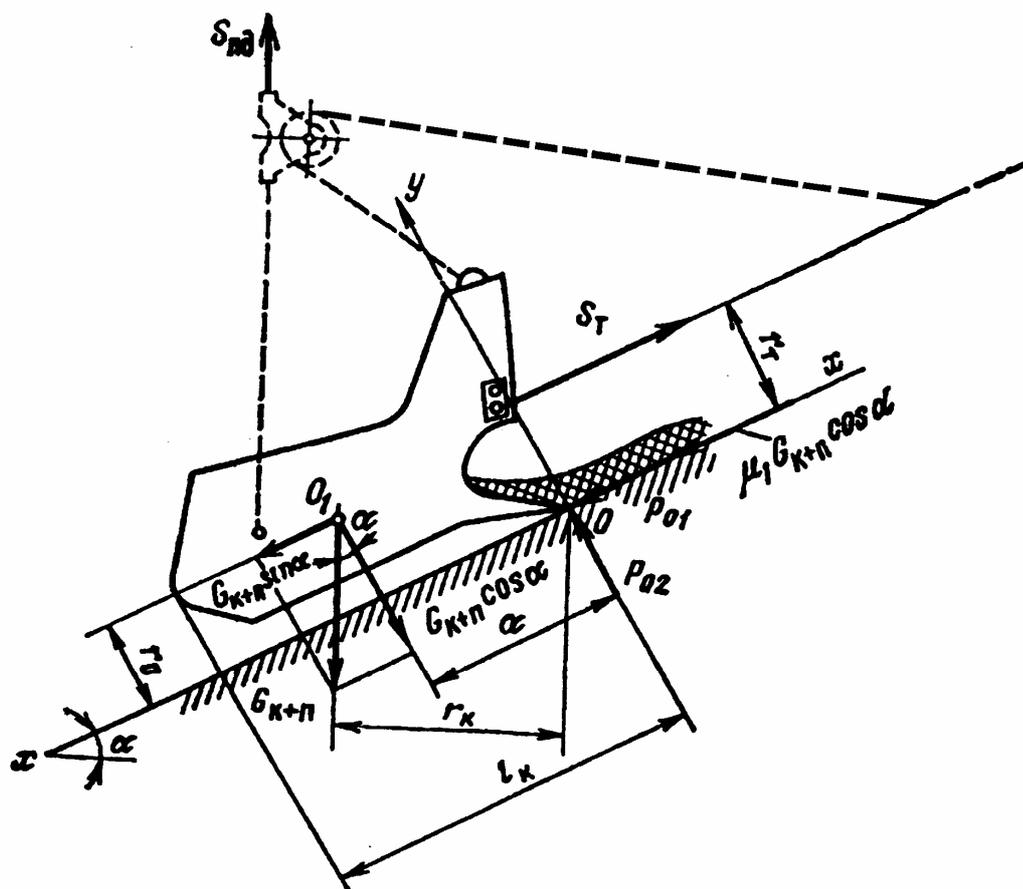


Рис. 7.3. Схема к расчету усилий на ковше драглайна

Решая совместно уравнения (7.22), (7.23) и (7.24), получим

$$S_m = P_{01}[1 + K_I(m_l + tg a)]; \quad (7.25)$$

$$r_m = (a + r_0 tg a) / (1 / K_I + m_l + tg a), \quad (7.26)$$

где  $K_I = P_{02} / P_{01}$ .

Условие устойчивости ковша против опрокидывания на откосе при пустом ковше

$$S_m \leq G_k r_k / r_m \leq g m_k r_k / r_m.$$

Заменив  $S_m$  его предельным значением из выражения (7.22), получим при пустом ковше

$$P_{01} \leq g m_k (r_k / r_m - \sin a - m_l \cos a).$$

Снижая точку крепления тяговых цепей ковша (уменьшая  $r_m$ ), можно добиться улучшения работы ковша в крепких породах. У стандартного ковша  $r_k / r_m \sim 2$ . В легких породах увеличение  $r_m$  позволяет ускорить заглубление ковша.

Минимальная масса порожнего ковша, необходимая для его нормальной работы:

$$m_k \geq E (1 + \lambda_0) K_F / [g K_{nym} l_k K_p (r_k / r_m \sin a - m_l \cos a)]. \quad (7.27)$$

Из формулы (7.27) видно, что для более крепких пород необходимо применять более тяжелые ковши.

Максимальное значение силы тяги для выбора сечения тяговых канатов и определения стопорного момента двигателя принимается:

$$S_{m \max} = (1,25 \div 1,43) S_m . \quad (7.28)$$

Усилие в подъемном канате  $S_{nd}$  при отрыве груженого ковша от забоя (концевая погрузка) определяется с учетом формул (10.4) и (10.5) по зависимости:

$$S_{nd} = (1,5 \div 1,7) G_{k+n} = (1,5 \div 1,7) g m_{k+n} . \quad (7.29)$$

Сечение подъемного каната и стопорный момент двигателя рассчитываются по максимальному подъемному усилию:

$$S_{nd \max} = (1,25 \div 1,43) S_{nd} \quad (7.30)$$

с проверкой на величину пассивного усилия подъема при перемещении ковша к голове стрелы, получаемого при натяжении тягового каната с усилием  $S_{m \max}$ .

Отношение диаметров тягового и подъемного барабанов к диаметру канатов у современных драглайнов составляет  $D_{\phi}/d_K = 25 \div 38$ , достигая у отдельных моделей 43 – 45. Большее значение отношения способствует увеличению долговечности канатов. Диаметры барабанов тяговой и подъемной лебедок, а также диаметры и число канатов тяги и подъема ковша унифицируются.

Число тяговых и подъемных канатов принимается кратным двум, четырем или шести. Запас прочности каната при статической нагрузке рекомендуется принимать для драглайнов средней мощности не менее 3,75, для мощных – не менее 4,25.

### ***7.3.1. Определение средневзвешенной мощности приводов главных механизмов по нагрузочным диаграммам***

На рис. 7.4 представлены расчетные схемы для определения усилий в главных механизмах драглайна и построены нагрузочные и скоростные диаграммы их двигателей.

Время, необходимое для поворота платформы драглайна с груженым ковшом на разгрузку и с порожним ковшом к забою, составляет 70 – 80 % времени полного цикла, поэтому при построении нагрузочных и скоростных диаграмм для определения средневзвешенной мощности приводов главных механизмов время цикла работы драглайна следует разбивать на следующие периоды: время копания  $t_K = 0,3 t_n$ ; время поворота на разгрузку  $t_p$  и к забою  $t_3$  причем  $t_p = t_3 = 0,35$  Гц.

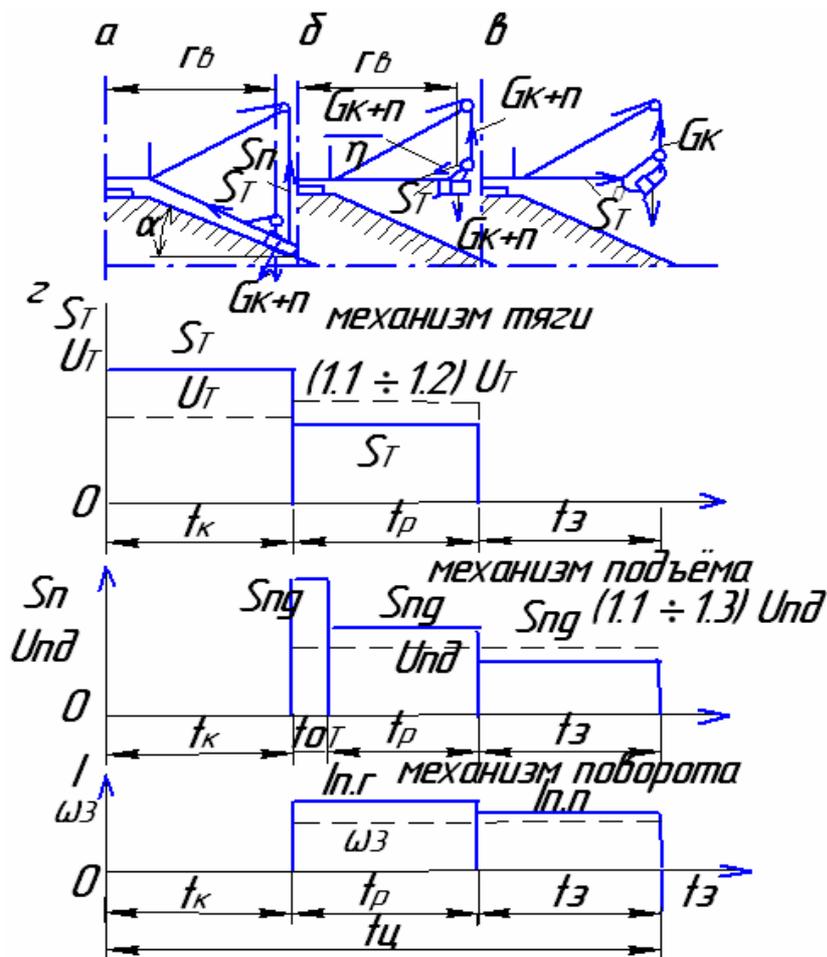


Рис. 7.4. Схемы работы драглайна:

а – копания; б – поворота груженого ковша на разгрузку; в – поворота порожнего ковша к забюю; г – диаграммы нагрузки (сплошная линия) и скорости (пунктирная) главных механизмов

*Механизм тяги.* Мощность двигателя тяги  $N_m$  за период копания  $t_k^*$  определяется по формуле (7.2) при значениях:

$$S_i = S_m, n_i = n_m, K_i = 1 \text{ и } h_i = h_m,$$

где  $h_m$  – кпд механизма тяги;  $n_m$  – номинальная скорость тяги (см. прил., табл. П11);  $S_m$  – усилие в тяговом канате [уравнение (7.25)] или из выражения  $S_m = P_{01} + G_{к+n} (\sin a + m_l \cos a)$ .

Мощность двигателя тяги  $N'_T$  за период  $t_p$  поворота платформы с груженым ковшом на разгрузку определяется по формуле (7.2) при значениях:  $K_i = (1,1 \div 1,2)$ ;  $S_i = S'_m$ ,  $n_i = n_m$ ,  $h_i = h_m$ :

$$S'_m = m_{к+n} (0,5 g + \omega_3^2 r_e)$$

где  $m_{к+n}$  – масса груженого ковша драглайна, определяемая из выражений (10.4) и (10.5), т;  $\omega_3$  – заданная угловая скорость платформы (определяется

из табл. П11);  $r_6$  – радиус вращения груженого ковша относительно оси поворотной платформы, определяемый по формуле (10.8).

За период  $t_3$  поворота платформы с порожним ковшом к забою основным усилием в тяговом канате является центростремительное усилие  $S_u = m_k u_3^2 r_6$ , удерживающее ковш на траектории движения вокруг оси вращения платформы, величиной которого, однако, пренебрегают ввиду его малости, поэтому средневзвешенная мощность двигателя механизма тяги драглайна определяется выражением

$$N_{m(св)} = (N_m t_k + N'_m t_p) / (t_k + t_p). \quad (7.31)$$

*Механизм подъема* (рис. 7.4, б). В процессе копания двигатель механизма подъема не нагружен ( $S_{nd} = 0$ ). При отрыве ковша от забоя усилие в подъемном канате  $S_{nd}$  определяется по формуле (7.29), при длительности его действия  $t_{om} = 2 \div 3$  с.

Мощность двигателя подъема  $N_{nd}$  за период копания определяется по формуле (7.2) при значениях

$$K_i = 1; S_i = S_{nd}; n_i = n_{nd.n}; h_i = h_{nd},$$

где  $n_{nd.n}$  – номинальная скорость подъема (см. прил., табл. П11);  $h_{nd}$  – КПД подъемной лебедки.

Мощность двигателя механизма подъема  $N''_{nd}$  за время  $t_3$  поворота платформы к месту разгрузки определяется из формулы (7.2) при значениях:

$$K_i = 1; S_i = S'_{nd}; n_i = n_{nd}; h_i = h_{nd},$$

где  $S'_{nd} = G_{к+n}$ .

Мощность двигателя подъема  $N'''_{nd}$  за период  $t_3$  поворота платформы к забою определяется из формулы (7.2) при значениях:

$$K_i = 1,13 \div 1,3; S_i = S''_{nd}; n_i = n_{nd}; h_i = h_{nd},$$

где  $S''_{nd} = G_{nd}$  – усилие отвеса порожнего ковша.

Средневзвешенная мощность двигателя механизма подъема за цикл работы экскаватора:

$$S_{n(св)} = (N_{nd} t_{om} + N'_{nd} t_p + N''_{nd} t_3) / (t_{om} + t_p + t_3). \quad (7.32)$$

*Механизм поворота* (рис. 7.4, в). Средневзвешенную мощность двигателей механизма поворота драглайна определяют по формуле (7.12) в последовательности, аналогичной для мехлопат (см. раздел 7.2.1).

## 7.4. Примеры расчетов

### ПРИМЕР 7.1

Определить линейные параметры и массы конструктивных элементов, а также мощности главных приводов одноковшовой прямой лопаты с зубчато-реечным напором, стрела однобалочная, рукоять двухбалочная, неразгруженная от кручения.

Исходные данные экскаватора: вместимость ковша  $E = 8 \text{ м}^3$ , породы категории IV, тяжелые с плотностью  $\lambda_n = 3,0 \text{ т/м}^3$ , коэффициент разрыхления  $K_p = 1,35$ , скорость подъема ковша  $n_{под} = 0,9 \text{ м/с}$ , скорость напора  $n_n = 0,45 \text{ м/с}$ , частота поворота платформы  $n_{пл} = 2,5 \text{ об/мин}$  (угловая скорость платформы  $\omega_{пл} = 0,105 \cdot 2,5 = 0,263 \text{ рад/с}$ ), расчетное время цикла  $t_{ц} = 27 \text{ с}$ , угол наклона стрелы  $\alpha_{стр} = 45^\circ$ .

#### Решение

1. Масса экскаватора  $m_э = K_э E$ :

$$m_э = 44 E = 44 \cdot 8 = 352 \text{ т},$$

где  $K_э = 44 \text{ т/м}^3$ , выбираем из рекомендуемого диапазона 38 – 55  $\text{т/м}^3$ .

2. Линейные размеры ковша  $B_k = 1,2 \sqrt[3]{E}$ :

$$\text{ширина } B_k = 1,2 \sqrt[3]{8} = 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ м};$$

$$\text{длина } L_k = 0,77 B_k = 0,77 \cdot 2,4 = 1,85 \text{ м};$$

$$\text{высота } H_k = 0,75 B_k = 0,75 \cdot 2,4 = 1,8 \text{ м}.$$

3. Масса и вес ковша  $m_{кл} = K_k E$ :

$$m_{кл} = K_k E = 1,75 \cdot 8 = 14 \text{ т}; G_{кл} = g m_{кл} \cdot 10^3 = 9,81 m_{кл} \cdot 10^3 = \\ = 13,73 \cdot 10^4 = 13,73 \cdot 10^4 \text{ Н},$$

где  $K_k = 1,75 \text{ т/м}^3$  для тяжелых пород.

4. Масса и вес породы в ковше  $m_n = E \gamma / K_p$ :

$$m_{пор} = 8 \cdot 3 / 1,35 = 17,77 \text{ т};$$

$$G_{пор} = 9,81 m_{пор} \cdot 10^3 = 17,43 \cdot 10^4 \text{ Н}.$$

5. Размер стрелы  $L_i = K_i \sqrt[3]{m_э}$ :

$$L_c = K_{Lc} \sqrt[3]{325} = 1,825 \cdot 7,12 = 13 \text{ м},$$

где  $K_{Lc} = 1,825$  из табл. П8 приложения.

6. Размер рукояти:

$$L_p = K_{Lp} \sqrt[3]{325} = 1,27 \cdot 7,12 = 8,5 \text{ м,}$$

где  $K_{Lp} = 1,2 \text{ м/т}^3$  из табл. П8 приложения.

7. Масса и вес рукояти:

$$m_p = K_{рук} m_{кл} = 0,9 \cdot 14 = 12,6 \text{ т,}$$

$$G_p = 9,81 m_p \cdot 10^3 = 12,6 \cdot 9,81 \cdot 10^3 = 12,36 \cdot 10^4 \text{ Н,}$$

где  $K_{рук} = 0,9$  из табл. П9 приложения.

8. Высота напорного вала  $H_n = K_{Ln} \sqrt[3]{m_э} :$

$$H_n = K_{Ln} \sqrt[3]{325} = 1,17 \cdot 7,12 = 7,8 \text{ м,}$$

где  $K_{Ln} = 1,1$  из табл. П8 приложения.

9. Высота пяты стрелы  $L_i = K_i \sqrt[3]{m_э} :$

$$L_n = K_{Ln} \sqrt[3]{325} = 0,45 \cdot 7,12 = 3,2 \text{ м,}$$

где  $K_{Ln} = 0,45$  из табл. П8 приложения.

10. Максимальная высота черпания  $L_{чер} = K_{Lчер} \sqrt[3]{m_э} :$

$$L_{чер} = K_{Lчер} \sqrt[3]{325} = 1,75 \cdot 7,12 = 12,5 \text{ м,}$$

где  $K_{Lчер} = 1,75$  из табл. П8 приложения.

11. Максимальный радиус разгрузки  $L_{раз} = K_{Lраз} \sqrt[3]{m_э} :$

$$L_{раз} = K_{Lраз} \sqrt[3]{325} = 2,4 \cdot 7,12 = 17 \text{ м,}$$

где  $K_{Lраз} = 2,4$  по табл. П8 приложения.

12. Вес ковша с породой:

$$G_{кп} = G_{кл} + G_{пор} = 13,73 \cdot 10^4 + 17,43 \cdot 10^4 = 31,16 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

13. По исходным и расчетным данным строим схемы расположения ковша и рукояти, нагрузочные и скоростные диаграммы (рис. 7.5). При этом цикл «а – копание» соответствует вертикальному направлению подъемного каната ( $\beta = 90^\circ$ , см. рис. 7.1) и горизонтальному положению рукояти ( $g_p = 0$ ). Аналогично строятся схемы «б» и «в».

14. Сопротивление породы копанию:

$$P_{0I} = 0,25 \cdot 10^6 \cdot 8 (7,8 \cdot 1,35)^{-1} = 19 \cdot 10^4 \text{ Н,}$$

где  $K_F = 0,25 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$  – коэффициент сопротивления копанию из табл. П3 приложения.

15. Усилие  $S_{нк}$  подъема ковша при копании по формуле (7.3):

$$S_{нк} = \{P_{01} r_1 + (G_{к+n} r_3 + G'_p r_4) \cos g_p + P_{02} r\} / (r_2 \sin b) = (197 + 31,16 \cdot 5,8 + 6,7 \cdot 2,3 + 0) 10^4 (4,6)^{-1} = 70 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Здесь  $r = 0$ , а величины  $r_1, r_2, r_3, r_4$  определены по схеме «а» рис. 7.8;

$G'_p = 12,36 \cdot 10^4 \cdot 4,6 / 8,5 = 6,7 \cdot 10^4 \text{ Н}$  – доля общей силы тяжести рукояти, создающая момент сопротивления при копании.

16. Мощность затрачиваемая на подъем ковша при копании по формуле (7.2):

$$N_{нк} = \{(S_{нк} V_{под.к}) (h)^{-1}\} 10^{-3} = \{(70 \cdot 10^4 \cdot 0,9) (0,85)^{-1}\} 10^{-3} = 740 \text{ кВт.}$$

17. Усилие  $S_{нр}$  подъема при повороте груженого ковша на разгрузку по формуле (7.3):

$$S_{нр} = \{P_{01} r_1 + (G_{к+n} r_3 + G_p r_4) \cos g_p + P_{02} r_4\} (r_2 \sin b)^{-1} = (31,16 \cdot 9,7 + 12,36 \cdot 4,25) 0,94 \cdot 10^4 (8,5 \cdot 0,78)^{-1} = 50 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Здесь величины  $r_1, r_2, r_3, r_4$  и  $P_{02} = 0$ ,  $b = 51^\circ$ ,  $g_p = 20^\circ$  определены по схеме «б» рис. 7.8, а  $G_p = 12,36 \cdot 10^4 \text{ Н}$  – сила тяжести рукояти, создающая момент сопротивления при повороте на разгрузку.

18. Мощность, затрачиваемая при повороте на разгрузку из выражения (7.2) и с учетом диаграммы скорости на рис. 7.2:

$$N_{нр} = \{(S_{нр} V_{под.к}) (h)^{-1}\} 10^3 = \{0,1(50 \cdot 10^4 \cdot 0,9) (0,85)^{-1}\} 10^{-3} = 53 \text{ кВт.}$$

19. Усилие  $S_{нз}$  подъема при повороте порожнего ковша в забой по формуле (7.3):

$$S_{нз} = \{P_{01} r_1 + (G_{к+n} r_3 + G_p r_4 \cos g_p + P_{02} r)\} (r_2 \sin b)^{-1} = (13,7 \cdot 9,7 + 12,36 \cdot 4,25) 0,94 \cdot 10^4 (8,5 - 0,78)^{-1} = 26,3 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Здесь величины  $r_1, r_2, r_3, r_4$  и  $b = 51^\circ$ ,  $g_p = 20^\circ$  определены по схеме «в» рис. 7.8.

20. Мощность затрачиваемая при повороте с порожним ковшом в забой (из выражения (7.2) и с учетом диаграммы скорости на рис. 7.2):

$$N_{нз} = \{(S_{нз} V_{под.к}) / h\} 10^{-3} = \{1,1 (26,3 \cdot 10^4 \cdot 0,9) / 0,85\} 10^{-3} = 304 \text{ кВт.}$$

21. Средневзвешанная мощность двигателя механизма подъема по формуле (7.1):

$$N_{св} = (N_{нк} t_k + N_{нр} t_p + N_{нз} t_u) = (740 \cdot 9 + 53 \cdot 9 + 304 \cdot 9) / 27 = 366 \text{ кВт.}$$

При установке двух двигателей в подъемной лебедке мощность каждого из них определится, как

$$N_{дв.п} = 0,5 N_{св} = 0,5 \cdot 366 = 183 \text{ кВт.}$$

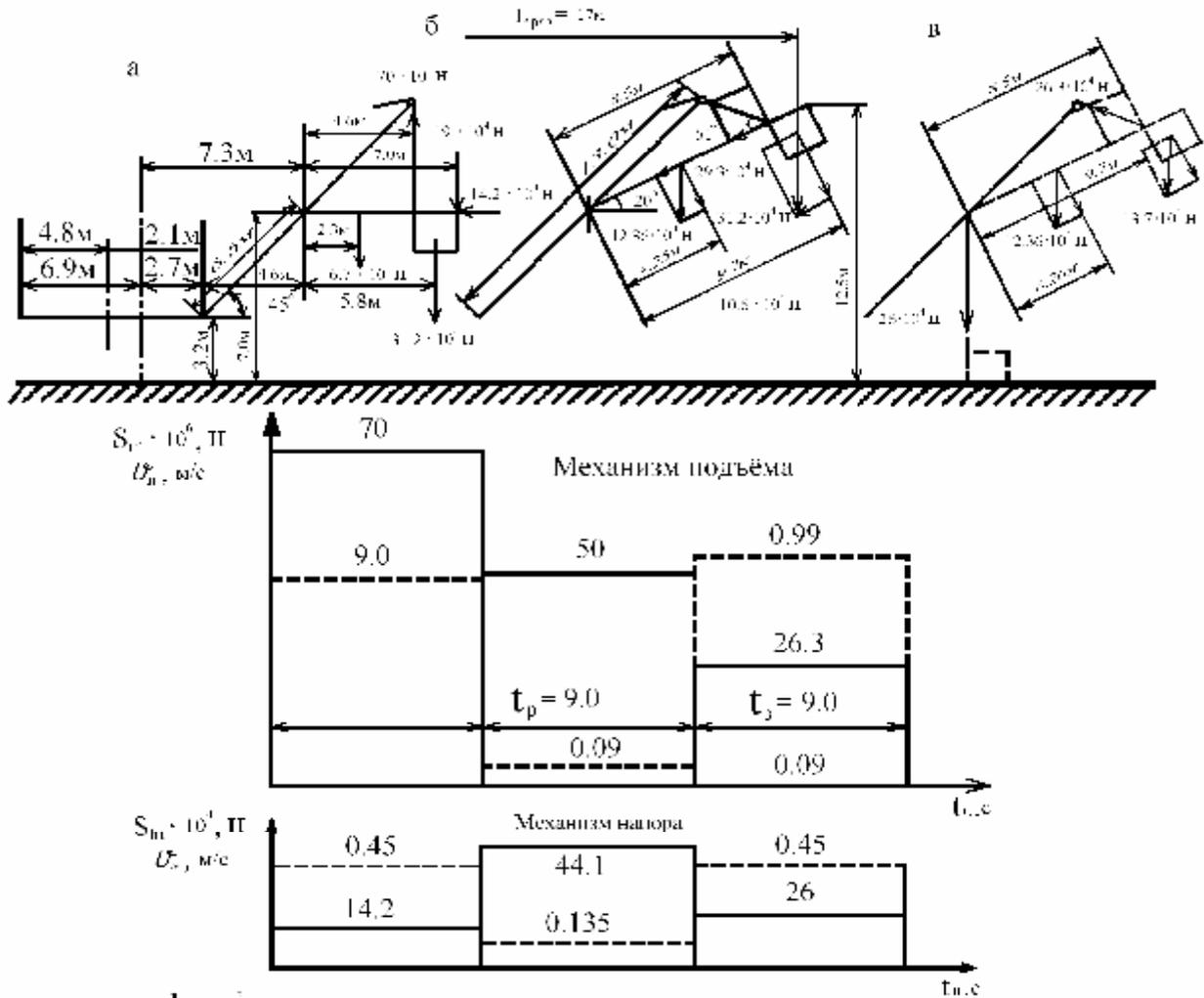


Рис. 7.5. Расчетные схемы расположения ковша и рукояти. Нагрузочные (сплошная линия) и скоростные (пунктир) диаграммы главных механизмов механической лопаты в период: а – копания; б – поворота груженого ковша на разгрузку; в – поворота порожнего ковша на забой

22. Усилие в напорном механизме при копании  $S_{нк}$ , (см. схему «а» рис. 7.5, подъемный канат вертикален  $b = 90^\circ$ , а рукоять горизонтальна  $g_p = 0$ ) по (7.7) получим

$$S_{нк} = P_{02} + S_{нк} \cos b \pm (G_{к+n} + G_p) \sin g_p = P_{02}$$

С учетом формулы (1.7), где  $k_n = 0,5$ , имеем

$$P_{02} = k_n P_{01} V_{н.к.} = 0,5 \cdot 19 \cdot 10^4 = 9,5 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

23. Мощность, затрачиваемая на напор при копании:

$$N_{нк} = \{(S_{нк}) / h\} \cdot 10^3 = \{(9,5 \cdot 10^4 \cdot 4,5) / 0,8\} \cdot 10^{-3} = 53,4 \text{ кВт.}$$

24. Усилие в напорном механизме при повороте груженого ковша на разгрузку по формуле (7.7):

$$S_{np} = S_{нк} \cos b \pm (G_{к+n} + G_p) \sin g_p = \{46,5 \cdot 0,63 + (31,16 + 12,36) \cdot 0,34\} \cdot 10^4 = 44,1 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Здесь величины  $r_1, r_2, r_3, r_4$  и  $P_{02} = 0$ ,  $b = 51^\circ$ ,  $g_p = 20^\circ$  определены по схеме «б» рис. 7.5, а  $G_p = 12,36 \cdot 10^4 \text{ Н}$  – сила тяжести рукояти, создающая момент сопротивления при повороте на разгрузку.

25. Мощность, затрачиваемая на напор при повороте на разгрузку:

$$N_{np} = \{(S_{np} V_{н.р}) / h\} 10^{-3} = \{0,3(44,1 \cdot 10^4 - 0,45) / 0,8\} \cdot 10^{-3} = 75 \text{ кВт.}$$

26. Усилие  $S_{уз}$  напора при повороте порожнего ковша в забой

$$S_{уз} = G_{к+n} + G_p = (13,7 + 12,36) \cdot 10^4 = 26 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Здесь максимальное усилие в напорном механизме возникает при подъеме пустого ковша и рукояти из вертикального положения без участия подъемной лебедки как это показано пунктиром на схеме «б», рис. 7.5.

27. Мощность напорного механизма, затрачиваемую при повороте экскаватора с порожним ковшом в забой, определим по формуле

$$N_{уз} = \{(S_{уз} V_{н.з}) / h\} 10^{-3} = \{(26 \cdot 10^4 \cdot 0,45) / 0,8\} \cdot 10^{-3} = 143 \text{ кВт.}$$

28. Средневзвешенная мощность двигателя механизма напора:

$$N_{св} = (N_{нк} t_k + N_{np} t_z + N_{уз} t_z) / t_u = (53,4 \cdot 9 + 75 \cdot 9 + 143 \cdot 9) / 27 = 90,5 \text{ кВт.}$$

29. Для вычисления моментов инерции вращающихся частей экскаватора с учетом коэффициентов  $K_i$  (по табл. П8 приложения) определяем:

$$\text{ширину платформы } L_{ш} = K_{нл} \sqrt[3]{325} = 0,9 \cdot 7,12 = 6,4 \text{ м;}$$

$$\text{радиус задней стенки } L_{з.с} = 0,97 \cdot 7,12 = 6,9 \text{ м;}$$

$$\text{радиус пяты стрелы } L_{н.с} = 0,38 \cdot 7,12 = 2,7 \text{ м;}$$

$$\text{длину платформы } L_{\partial} = 6,9 + 2,7 = 9,6 \text{ м.}$$

30. По формуле (10.6) с учетом коэффициентов  $K_m$  по табл. П7 приложения определяем:

$$\text{массу стрелы с блоками } m_{см} = 0,06 \cdot 352 = 21 \text{ т;}$$

$$\text{массу напорного механизма } m_{н.} = 0,028 \cdot 362 = 10 \text{ т;}$$

$$\text{массу платформы с механизмами (по формуле (7.16))}$$

$$m_{нл} = 0,5 \cdot 352 = 176 \text{ т.}$$

31. Момент инерции поворотной платформы  $J_n$  относительно оси ее вращения по формуле (7.15):

$$J_n = 0,333 m_{нл} \{(0,5L_{\partial})^2 + (0,5L_{ш.})^2 + 3(0,5L_{\partial} - L_{н.с})^2\} \cdot 10^3 = 0,333 \cdot$$

$$\cdot 176 \cdot 10^3 \{4,8^2 + 3,2^2 + 3 \cdot 2,1^2\} = 2,7 \cdot 10^6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

32. Момент инерции стрелы с блоками  $J_{cm}$  относительно оси вращения платформы из выражения (7.17):

$$J_{cm} = 21 \cdot 10^3 \cdot (7,3)^2 = 1,1 \cdot 10^6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

33. Момент инерции ковша с породой  $J_{k+n}$  и без породы  $J_k$  относительно оси вращения платформы по формуле (7.18):

$$J_{k+n} = 31,71 \cdot 10^3 \cdot (17)^2 = 9,14 \cdot 10^6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2;$$

$$J_k = 14 \cdot 10^3 \cdot (17)^2 = 4,14 \cdot 10^6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

34. Момент инерции напорного механизма  $J_n$  относительно оси вращения платформы по формуле (7.19):

$$J_n = m_n r_n^2 = 10 \cdot 10^3 \cdot (4,6 + 2,7)^2 = 0,53 \cdot 10^6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

35. Момент инерции рукояти  $J_p$  относительно оси вращения платформы по (7.20):

$$J_p = 12,6 \cdot 10^3 \cdot (7,3 + 0,5 \cdot 8,5)^2 = 1,6 \cdot 10^6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

36. Суммарные моменты инерции вращающихся частей экскаватора при повороте с груженым  $J_z$  и порожним  $J_n$  ковшом по (7.14)

$$\dot{a}J_z = (J_n + J_{cm} + J_{k+n} + J_n + J_p) \cdot 10^6 = (2,7 + 1,1 + 9,14 + 0,53 + 1,6) \cdot 10^6 = 15 \cdot 10^6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2;$$

$$\dot{a}J_n = (J_n + J_{cm} + J_k + J_n + J_p) \cdot 10^6 = (2,7 + 1,1 + 4,14 + 0,53 + 1,6) \cdot 10^6 = 10 \cdot 10^6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

37. Средневзвешенная мощность двигателей поворотного механизма при вращении платформы с груженым ковшом по формуле (7.13):

$$N_{n.cв} = 10^{-3} \cdot (\dot{a}J_z + \dot{a}J_n) w_{nl}^2 t_p^{-1} = 10^{-3} \cdot (15 + 10) \cdot 10^6 \cdot 0,263^2 \cdot 9^{-1} = 192 \text{ кВт}.$$

При двух двигателях в поворотном механизме мощность каждого двигателя составляет 96 кВт.

## ПРИМЕР 7.2

Определить эксплуатационные параметры ковша драглайна вместимостью  $E = 100 \text{ м}^3$ , предназначенного для отработки вскрышного уступа с углом наклона борта  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту в тяжелых породах с плотностью  $g = 3 \text{ т/м}^3$  и коэффициентом сопротивления копания  $K_F = 800 \text{ кПа}$ , коэффициентом разрыхления  $K_p = 1,3$ , коэффициент трения ковша о породу  $m_l = 0,4$ , а также определить:  $S_{нд max}$  – максимальное тяговое усилие (кН);

$S_{\text{н}0 \text{ max}}$  – максимальное подъемное усилие (кН);  $m_k$  – массу ковша (т);  
 $r_k$  – высоту крепления тяговой цепи (м).

### Решение

1. Линейные размеры и массу ковша по формулам:

$$B_k = 1,15 \sqrt[3]{E} = 1,15 \cdot 4,64 = 5,33 \text{ м}; L_k = 1,2 B_k = 1,2 \cdot 5,33 = 6,4 \text{ м};$$

$$H_k = 0,65 B_k = 0,65 \cdot 5,33 = 3,46 \text{ м};$$

$$m_k = K_1(K_2 + E) E^{2/3} = 0,046 (40,6 + 100) \cdot 100^{2/3} = 139,3 \text{ т}.$$

2. Масса породы в ковше (табл. П6 приложения):

$$m_n = E g / K_p = 100 \cdot 3 / 1,3 = 230 \text{ т}.$$

3. Вес ковша с породой:

$$G_{k+n} + g(m_k + m_n) = 9,81 (139,3 + 230) = 3630 \text{ кН}.$$

4. Касательная, составляющая усилия сопротивления породы копанию  $P_{01}$  на режущей кромке ковша по формуле (7.21) и табл. П6 приложения:

$$P_{01} = E(1 + \lambda_0) K_F / K_{\text{н}y\text{т}} L_k K_p = 100 \cdot (1 + 0,2) \cdot 800 / 4 \cdot 6,4 \cdot 1,3 = 2885 \text{ кН}.$$

5. Потребное тяговое усилие по формуле (7.25):

$$S_m = P_{01} [1 + K_1 (m_l + t g a)] = 2885 \cdot [1 + K_1 (0,4 + 0,577)],$$

где  $K_1 = P_{02} / P_{01} = 0,3$  для новых и  $0,8$  – для весьма изношенных зубьев;

$$\text{при } K_1 = 0,3, S_m = 3730 \text{ кН};$$

$$\text{при } K_1 = 0,8, S_m = 5140 \text{ кН}.$$

6. Из рис. 7.3 определяем величину

$$r_k = a / \cos a = 3,52 / 0,866 = 4,06 \text{ м}.$$

7. Высота  $r_m$  крепления тяговой цепи на боковой щеке ковша при координатах расположения центра тяжести пустого ковша  $a = 0,55 L_k = 3,52 \text{ м}$  и  $r_0 = 0,5 H_k = 1,76 \text{ м}$ , по формуле (7.26) и рис. 7.3:

$$r_m = (a + r_0 t g a) (K_1^{-1} + m_l + t g a) = (3,52 + 1,76 \cdot 0,577) / (K_1^{-1} + 0,4 + 0,577);$$

$$\text{при } K_1 = 0,3, r_m = 1,05 \text{ м};$$

$$\text{при } K_1 = 0,8, r_m = 2,03 \text{ м}.$$

У стандартного ковша  $r_k / r_m \approx 2$ , откуда принимаем высоту расположения верхнего отверстия крепления тяговой цепи  $r_{mв} = 2 \text{ м}$ , а нижнего  $r_{mн} = 1,5 \text{ м}$ .

8. Условие устойчивости ковша против опрокидывания на откосе  $\alpha = 30^\circ$  при пустом ковше:

$$S_m \mathcal{L} g m_k r_k / r_{m\theta} \leq 9,81 \cdot 139,4 \cdot 4,06 / 2 < 2774 \text{ кН};$$

$$S_m \mathcal{L} g m_k r_k / r_{m\eta} \leq 9,81 \cdot 139,4 \cdot 4,06 / 1,5 < 3700 \text{ кН}.$$

9. Максимальное значение  $P_{0I}$ , которое можно развить на режущей кромке пустого ковша при внедрении его на откосе  $\alpha = 30^\circ$ :

$$P_{0I} \mathcal{L} g m_k (r_k / r_{m\theta} - \sin \alpha - m_l \cos \alpha) \leq 9,81 \cdot 139,4 - (4,06 / 2 - 0,5 - 0,4 \cdot 0,866) \leq 9,81 \cdot 139,4 \cdot 1,15 \leq 1577,5 \text{ кН};$$

$$P_{0I} \mathcal{L} g m_k (r_k / r_{m\theta} - \sin \alpha - m_l \cos \alpha) \leq 9,81 \cdot 139,4 - (4,06 / 2 - 0,5 - 0,4 \cdot 0,866) \leq 9,81 \cdot 139,4 \cdot 1,86 \leq 2544 \text{ кН}.$$

10. По формуле (7.27) определяем максимальное значение  $K_F$ , которое может преодолеть режущая кромка пустого ковша при внедрении его на откосе  $\alpha = 30^\circ$  с верхним и нижним расположением тяговой цепи по высоте:

$$K_F \mathcal{L} [g m_k K_{н\gamma} L_k K_p (r_k / r_{m\theta} - \sin \alpha - m_l \cos \alpha)] / E (1 + \lambda_0) =$$

$$= [9,81 \cdot 139,4 \cdot 4 \cdot 6,4 \cdot 1,3 \cdot 1,15] / 100 (1 + 0) = 523,4 \text{ кПа};$$

$$K'_F \mathcal{L} [g m_k K_{н\gamma} L_k K_p (r_k / r_{m\theta} - \sin \alpha - m_l \cos \alpha)] / E (1 + \lambda_0) =$$

$$= [9,81 \cdot 139,4 \cdot 4 \cdot 6,4 \cdot 1,3 \cdot 1,86] / 100 (1 + 0) = 846,5 \text{ кПа}.$$

11. Максимальное значение силы тяги по формуле (7.28):

$$S_{m \max} = (1,25 \div 1,43) S_m = (1,25 \div 1,43) \cdot 5140 = 6425 + 7350 \text{ кН}.$$

12. Усилие в подъемном канате при отрыве груженого ковша от забоя (концевая нагрузка) по формуле (7.29):

$$S_{nd} = 1,7 G_{k+n} = 1,7 \cdot 3630 = 6170 \text{ кН}.$$

13. Стопорное усилие в подъемном канате при отрыве груженого ковша от забоя (концевая нагрузка) по формуле (7.30):

$$S_{nd, \max} = 1,43 S_{nl} = 1,43 \cdot 6170 = 8825 \text{ кН}.$$

### ПРИМЕР 7.3

Определить производительность и эксплуатационные параметры многоковшового цепного экскаватора при отработке веером вскрышного уступа (средний радиус черпания  $0,5 (R_1 + R_2) = r_{cp} = 30$  м, высотой  $H_y = 25$  м с углом наклона борта  $\alpha = 60^\circ$  к горизонту во влажных породах с плотностью  $g = 2$  т/м<sup>3</sup>, с коэффициентом сопротивления копания  $K_F = 700$  кПа, коэффициентом разрыхления  $K_p = 1,25$ . Мощность двига-

теля привода ковшовой цепи  $N_{д.с.} = 800$  кВт, вместимость ковша  $E = 1000$  л ( $1 \text{ м}^3$ ), номинальная скорость цепи  $n_u = 1$  м/с, скорость боковой подачи цепи  $n_б = 0 - 30$  м/мин, КПД приводов соответственно ковшовой цепи и механизма подачи  $h_k = 0,8$  и  $h_n = 0,75$ .

### Решение

1. По формуле определим шаг цепи:

$$t_{ш} = K_u \sqrt[3]{E} = 0,056 \cdot 10 = 0,56 \text{ м.}$$

2. Размеры ковша:

$$\text{длина } L_k = 0,56 t_{ш} = 0,56 \cdot 2,68 = 1,5 \text{ м;}$$

$$\text{ширина } B_k = 0,56 t_{ш} = 0,56 \cdot 2,15 = 1,2 \text{ м;}$$

$$\text{высота } H_k = 0,56 t_{ш} = 0,56 \cdot 1,5 = 0,85 \text{ м.}$$

3. Устанавливаем расстояние между ковшами, равным 4-м шагам цепи:

$$a = 4 t_{ш} = 4 \cdot 0,56 = 2,24 \text{ м.}$$

4. Максимально допустимая скорость движения цепи:

$$n_{u,max} < 3,13 k \sqrt{t_{ш}} < 3,13 \cdot 0,7 \sqrt{0,56} < 1,64 \text{ м/с.}$$

5. Производительность в целике, которую данный экскаватор может теоретически обеспечить при реализации номинальных исходных данных:

$$Q_T = 3600 N_{д.с.} h / (K_F + g g H_y) = 3600 \cdot 800 \cdot 0,8 / (700 + 2 \cdot 9,81 \cdot 25) = 1935 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

6. Количество ссыпок ковшей в минуту при номинальной скорости движения цепи 1 м/с составляет:

$$n_z = 60 n_u / a = 60 \cdot 1 / 2,24 = 26,7.$$

7. Расчетная производительность экскаватора при данной скорости цепи:

$$Q_m = 60 E n_z / K_p = 60 \cdot 1 \cdot 26,7 / 1,25 = 1281 \text{ м}^3/\text{ч в целике.}$$

8. Путь наполнения ковша при его движении по уступу

$$L_y = H_y / \sin 60^\circ = 25 / 0,866 = 28,86 \text{ м.}$$

9. Одновременно в контакте с забоем на данном пути находятся:

$$Z_K = L_y / a = 28,86 / 2,24 = (12,88) = 12 \text{ или } 13 \text{ ковшей.}$$

10. Для наполнения ковша вместимостью  $E = 1 \text{ м}^3$  на 100 % площадь стружки, снимаемой при каждом черпании с учетом разрыхления породы, должна быть равна:

$$F = E / (L_y K_p) = 1 / (28,86 \cdot 1,25) = 0,028 \text{ м}^2.$$

С учетом рекомендаций о сохранении траектории отклонения ковша при подаче в боковом направлении от направления вектора  $n_p$  не более чем на  $5 - 8^\circ$  и во избежание упирания в забой боковой стенки ковша, имеющей скос  $10^\circ$ , имеем при  $5^\circ$ :

$$b = a \operatorname{tg} 5^\circ = 2,24 \cdot 0,0875 = 0,196 \text{ м}; \quad t = F/b = 0,028 / 0,196 = 0,143 \text{ м}; \\ n_{\bar{c}} = 60 n_p \quad b/a = 60 \cdot 1 \cdot 0,196 / 2,24 = 5,25 \text{ м/мин} = 0,0875 \text{ м/с}.$$

11. Усилие сопротивления черпанию на каждом ковше равно  $P_q = K_F F = 700 \cdot 0,028 = 19,6 \text{ кН}$ .

12. Суммарное сопротивление черпанию на цепи:

$$\dot{a}P_q = Z_k P_q = 12,88 \cdot 19,6 = 252,5 \text{ кН}.$$

13. Мощность привода ковшовой цепи, расходуемая на черпание:  $N_q = \dot{a}P_q n_p = 252,5 \cdot 1 = 252,5 \text{ кВт}$ .

14. Мощность привода ковшовой цепи, расходуемая на подъем породы ковшами цепи к месту разгрузки:

$$N_n = 0,5 \cdot 2,78 \cdot 10^4 Q_m H_y g \quad g = 0,5 \cdot 2,78 \cdot 10^4 \cdot 1281 \cdot 25 \cdot 9,81 \cdot 2 = 87,33 \text{ кВт}.$$

15. Полная мощность, расходуемая приводом ковшовой цепи в данных эксплуатационных условиях:

$$N_{\text{д.ц.}} = (N_q + 2 N_n) / h = (252,5 + 2 \cdot 87,33) \cdot 70,8 = 534 \text{ кВт}.$$

В данных условиях эксплуатации можно повысить скорость движения цепи и боковой подачи, а также уменьшить расстояния между ковшами за счет чего и увеличить производительность экскаватора.

16. Мощность привода механизма боковой подачи:

$$N_{n.ц.} = (M_{\bar{c}} + M_{mp}) w_0 / h = (M_{\bar{c}} + M_{mp}) n_{\bar{c}} / (r_{cp} h) = (3790,5 + 100,7) \cdot 0,0875 / 7(30 \cdot 0,75) = 15,1 \text{ кВт}.$$

17. Момент сопротивления от боковой, составляющей усилия копания:

$$M_{\bar{c}} = 0,5 Z_k b_{cp} t_{cp} K_F r_{cp} = 0,5 \cdot 12,88 \cdot 0,196 \cdot 0,143 \cdot 700 \cdot 30 = 3790,5 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

18. Момент трения в опорно-поворотном устройстве:

$$M_{mp} = 0,1 \cdot GK f_k f_{np} f_{\text{эк}} (2 r_k)^{-1} = 0,1 \cdot 35600 \cdot 12 \cdot 0,1 \cdot 1,1 \cdot 1,2 / 2 \cdot 28 = 100,7 \text{ кН м},$$

где  $G = 35600$  кН – суммарная сила веса от масс поворотной платформы и породы в ковшах;  $R = 12$  м и  $r_k = 28$  см – радиусы соответственно поворотного круга и катков;  $f_k = 0,1$  см – плечо трения качения катков;  $f_{np} = 1,1$  – коэффициент, учитывающий проскальзывание цилиндрических катков по рельсам;  $f_{\text{эк}} = 1,2$  – коэффициент, учитывающий эксцентricность приложения нагрузки.

#### ПРИМЕР 7.4

Определить производительность и эксплуатационные параметры роторного экскаватора с невыдвижной стрелой с радиусом черпания от оси вращения поворотной платформы  $r = 25$  м при обработке вскрышного уступа в вязких породах III категории с плотностью  $g = 2,5$  т/м<sup>3</sup>, коэффициентом сопротивления копанью  $K_F = 600$  кПа, коэффициентом разрыхления породы  $K_P = 1,25$ . Мощность двигателя привода ротора  $N_{\text{д.р.}} = 600$  кВт, диаметр бескамерного ротора  $D_0 = 6$  м, вместимость ковша  $E = 1000$  л (1 м<sup>3</sup>), количество ковшей на колесе  $Z = 15$ , конструктивный угол разгрузки ковшей  $g_0 = 100^\circ$ , скорость вращения ротора  $n_p = 0 \div 3$  об/мин, скорость боковой подачи  $n_б = 0 \div 30$  м/мин, КПД привода  $h = 0,85$ .

#### Решение

1. Высота, длина и ширина ковша:

$$H_k = \sqrt[3]{E} / K_e = \sqrt[3]{1} / 1,25 = 0,89 \text{ м};$$

$$L_K = B_k \geq 1,52 \geq 1,34 \text{ м}.$$

2. Максимальная производительность экскаватора по целику, которую он может обеспечить при заданном коэффициенте сопротивления копанью:

$$Q_T = 3,82 \cdot 10^3 N_{\text{д.р.}} h / (K_F + g g R_p K_m) = 3,82 \cdot 10^3 \cdot 600 \cdot 0,85 / (600 + 9,81 \cdot 2,5 \cdot 31,6) = 2714 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

3. Предельно допустимая частота вращения ротора, при которой происходит гравитационная разгрузка ковшей колеса:

$$n_{p \text{ max}} = 14,8 R_p^{-0,5} = 14,8 / 1,73 = 8,55 \text{ об/мин}.$$

4. Определяем максимально допустимое число разгрузок  $n_z$  ковшей и число оборотов  $n_p$  роторного колеса в минуту исходя из способности

ковша освободиться от породы в секторе  $g_0 = 100^\circ = 1,744$  рад при времени разгрузки ковша  $T = 3$  с по формуле

$$n_z = 9,55 g_0 Z / T = 9,55 \cdot 1,744 \cdot 13 / 3 = 72,2 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_p = n_z = 5,55 \text{ об/мин.}$$

5. Расстояние между ковшами колеса по окружности:

$$a = p R_p / Z = 2 \cdot 3,14 \cdot 3 / 13 = 1,45 \text{ м.}$$

6. Линейная скорость резания на режущей кромке колеса:

$$n_p = 2p n_p R_p / 60 = 2 \cdot 3,14 \cdot 5,55 \cdot 3 / 60 = 1,74 \text{ м/с.}$$

Выбираем высоту подступа, равной  $4/3 R_p$ , т.е.  $H_c = 4$  м.

### Вопросы для контроля

1. Какие условия работы механизма подъёма?
2. Как работает механизм напора?
3. Напишите формулу определения средневзвешенной мощности.
4. Как определить в подъёмном канате при черпании породы?
5. Нарисуйте нагрузочную диаграмму механизма подъёма.
6. Приведите нагрузочную диаграмму механизма напора экскаватора ЭКГ.
7. Объясните нагрузочную диаграмму механизма поворота экскаватора ЭКГ.
8. От чего зависит мощность механизма подъёма экскаватора?
9. Определите мощность механизма напора экскаватора ЭКГ.
10. Назовите основные параметры, определяющие мощность механизма поворота экскаватора ЭКГ.
11. Какие условия работы механизма тяги экскаватора драглайн?
12. Нарисуйте нагрузочную диаграмму механизма тяги экскаватора драглайн.
13. Приведите нагрузочную диаграмму механизма подъёма экскаватора драглайн.
14. Что представляет собой нагрузочная диаграмма механизма поворота экскаватора драглайн?

## Глава 8. ТЯГОВЫЙ РАСЧЕТ ХОДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГОРНЫХ МАШИН

Тяговый расчет ходового оборудования имеет целью определить необходимые тяговые усилия, развиваемые в двигателе, и мощность его приводов.

### 8.1. Тяговый расчет рельсового ходового оборудования

Приводная мощность двигателей рельсового ходового оборудования рассчитывается по полному сопротивлению перемещения  $W_{жс}$  (кН), определяемому из выражения

$$W_{жс} = \sum_1^5 W_i = Gv_1(2f_k + dm_{тп})/D + Gv_2 \sin \alpha + GBKj/R_0 + v_3 \sum P_4 \operatorname{tg} \alpha + p_6 FK_2 K_a \quad (8.1)$$

где  $W_{жс} = \sum_1^5 W_i$  – сумма сопротивлений (кН): перекачиванию колес  $W_1$  на подъеме пути  $W_2$  и движению на криволинейном участке пути  $W_3$ ; на рабочем органе от боковой составляющей при черпании  $W_4$  (учитывается для экскаваторов, предназначенных для работы вдоль фронта уступа или имеющих неповоротное верхнее строение); от силы ветра, действующего в направлении против движения  $W_5$ ;  $G$  – вес машины с породой или равнодействующая вертикальных сил, приложенных к машине, кН;  $f_k$  – плечо трения качения ( $f_k = 0,04 \div 0,12$  см для ходовых колес тележки соответственно диаметром  $D = 31,5 \div 100$  см);  $m_{тп}$  – коэффициент трения в подшипниках (для подшипников скольжения 0,06 – 0,09; для подшипников качения 0,01 – 0,07);  $D, d$  – диаметры колеса и его оси, см;  $b_1$  – коэффициент, учитывающий извилистость пути вследствие неточности его укладки, и зависящий от типа подшипников (для подшипников скольжения – 1,3; для подшипников качения – 2,5);  $b_2 = 1,5$  – коэффициент, учитывающий неоднородность уклона пути (колеи) и просыпи породы на рельсы;  $\alpha \leq 6^\circ$  – максимальный угол подъема пути;  $Kj$  – коэффициент, зависящий от типа подшипников (для подшипников скольжения 0,5; для подшипников качения 0,9);  $B$  и  $R_0$  – ширина колеи и радиус закругления рельсового пути, м;  $b_3 = 0,9 \div 1,2$  – коэффициент, учитывающий величину боковой составляющей силы копания;  $\dot{a}p_4$  – сила сопротивления копанию, кН;  $\chi$  – угол наклона траектории движения ковша относительно оси ковшовой рамы,  $\operatorname{tg} \chi = 0,25 \div 0,5$ ;  $p_6$  – расчетный максимальный скоростной напор ветра (до 0,4 кПа);  $F$  – площадь экскаватора в плоскости действия ветра, м<sup>2</sup>;  $K_2$  – коэффициент сплошности, равный для решетчатых ферм 0,4 – 0,6 и для ме-

ханизмов 0,6 – 0,8;  $K_a$  – коэффициент аэродинамичности, равный для трубчатых ферм 0,8 и для уголковых – 1,0.

Общая потребная мощность  $N_{ж.э}$  (кВт) двигателей рельсового ходового оборудования при скорости  $V_x$ , м/с определяется по формуле

$$N_{ж.э} = W_{ж.э} V_x h_{ск} / h, \quad (8.2)$$

где  $h_{ск}$  – скоростной КПД;  $h_x$  – КПД трансмиссии.

Коэффициент буксования для стальных колес на экскаваторах при времени разгона 10 – 15 с практически равен нулю. Поэтому скорости поступательного движения (теоретическая и действительная) равны и скоростной КПД  $h_{ск} = 1$ .

Число приводных колес  $n_{пр}$  определяется из условия, что суммарная сила тяги, создаваемая ведущими колесами, должна быть больше всех сил сопротивления движению, т.е.

$$N_{пр} = W_{ж} / P_m,$$

где  $P_m$  – сила тяги, развиваемая на приводном колесе, кН;

$$P_m = (G_k f_c K_3 = G f_c K_3 / n,$$

где  $G_k$  – средняя нагрузка на колесо, кН;  $f_c$  – коэффициент сцепления колеса с рельсом (для сухих чистых рельсов  $f_c = 0,1$ ; при подсыпке песка  $f_c = 0,15$ – $0,6$ );  $K_3 = 0,8$  – коэффициент запаса;  $n$  – общее число опорных колес на экскаваторе. Таким образом

$$W_{ж} = G n_{пр} K_3 / n.$$

## 8.2. Тяговый расчет гусеничного ходового оборудования

Тяговый расчет гусеничного ходового оборудования рассматривается для прямолинейного движения и поворота машины (движения по кривой). Суммарное тяговое усилие на всех гусеницах  $W_m$  (кН) в установившемся движении расходуется на преодоление следующих сопротивлений: внутренних  $W_{вн}$  в гусеницах (приводных и холостых), катанию  $W_k$  с учетом затрат энергии на деформацию основания под гусеницами, ветра  $W_в$  инерции  $W_u$ , подъему  $W_n$  и повороту  $W_c$ , т. е.

$$W_m = W_{вн} + W_k + W_в + W_n. \quad (8.3)$$

Одновременное действие всех приведенных в выражении (8.3) сопротивлений в расчет не принимают.

В тяговом расчете определяют два значения тягового усилия: максимальное и минимальное (реактивное). Первое необходимо для выбора дви-

гателей передвижения, второе определяет способность незаторможенной машины сопротивляться внешним силам, способствующим ее угону (инерции, ветра, составляющей веса на уклоне).

При определении минимального сопротивления угону значения  $W_{\text{вн}}$  и  $W_{\text{к}}$  принимаются минимальными, а значения  $W_{\text{н}}$  и  $W_{\text{и}}$  – максимальными со знаком минус.

Сопротивление силы инерции  $W_{\text{и}}$  преодолевается за счет запаса крутящего момента двигателя (в действительности оно составляет 1 – 2 % веса экскаватора и может не учитываться в расчетах применительно для экскаваторов, имеющих скорости передвижения менее 1 км/ч).

*Прямолинейное движение.* Максимальное тяговое усилие  $W_{\text{тн max}}$  (кН) при прямолинейном равномерном движении на подъем двух- и многогусеничных машин с достаточной для практики точностью можно определить по формуле

$$W_{\text{тн max}} = W_{\text{вн}} + W_{\text{к}} + W_{\text{в}} + W_{\text{н}} = Gf_1 + p_{\text{max}}^2 b n_z / (2p_0) + p_{\text{в}} F_{\text{в}} + G \sin a, \quad (8.4)$$

где  $G$  – вес машины с породой или равнодействующая вертикальных сил, приложенных к машине, кН;  $f_1$  – приведенный коэффициент сопротивления перекачиванию машины (при установке опорных катков, натяжных и ведущих звездочек на подшипниках скольжения  $f_1 = 0,1$ , на подшипниках качения  $f_1 = 0,05$ );  $p_{\text{max}}$  – максимальное давление под гусеницами, кПа;  $b$  – ширина гусеницы, м;  $n_z$  – число гусениц, движущихся по самостоятельной колее;  $p_0$  – коэффициент сопротивления смятию породы, кН/м<sup>3</sup> (для наиболее слабых пород на отвалах  $p_0 = 2 \cdot 10^3$  кН/м<sup>3</sup>);  $p_{\text{в}}$  – наибольший рабочий скоростной напор ветра, при котором допускается эксплуатация машины ( $p_{\text{в}} = 0,25$  кПа);  $F_{\text{в}}$  – расчетная площадь наветренных поверхностей машины, м<sup>2</sup>;  $a$  – наибольший угол подъема, градус.

Более детальный расчет внутренних сопротивлений  $W_{\text{м}}$  изложен в работе [4].

Благодаря одинаково жестким механическим характеристикам двигателей передвижения тяговое усилие гусеницы, встречающей меньшее сопротивление движению, может передаваться через раму машины гусенице, встречающей большее сопротивление. Поэтому можно считать, что при прямолинейном движении суммарное тяговое усилие распределяется поровну между всеми приводными гусеницами независимо от различия в вертикальных нагрузках, приходящихся на тележки гусеничной системы, и в сопротивлениях передвижению отдельных гусениц.

Потребное тяговое усилие  $S_{\text{м}}$  (кН) в одной приводной гусенице при числе приводных гусениц  $n_{z,n}$ , в системе будет

$$S_{\text{м}} = W_{\text{тн max}} / n_{z,n}.$$

*Поворот машины.* В двухгусеничной системе момент поворота создается разностью тяговых усилий в забегающей и отстающей гусеницах при неизменном направлении этих усилий.

Уравнение тягового баланса для забегающей гусеницы при установившемся движении по кривой при повороте имеет вид

$$W_{mp\ max} = W'_{вн} + W'_k + W'_в + W'_c + M_c / B, \quad (8.5)$$

где  $W_{mp\ max}$  – максимальное тяговое усилие, кН;  $W'_{вн}$ ,  $W'_k$ ,  $W'_в$ ,  $W'_c$  – сопротивления соответственно внутренние, катанию, ветра и подъему, кН;  $M_c$  – момент сопротивления поворота, кН·м;  $B$  – ширина колеи гусеничного хода, м.

Ниже приводятся значения этих сопротивлений.

Внутренние сопротивления

$$W'_{вн} = G_3 f_l K_c = 0,5 G f_l K_c (1 + 2 r / B), \quad (8.6)$$

где  $K_c$  – коэффициент увеличения внутренних сопротивлений при повороте под действием поперечных сил на катки ( $K_c = 1,2 \div 1,3$  при  $R \leq 5L$ ,  $K_c = 1$  при  $R > 5L$ , здесь  $R$  и  $L$  – соответственно средний радиус разворота и длина гусеницы, м);  $r$  – выбег равнодействующей  $G$  сил веса, приблизительно равный радиусу опорно-поворотного круга платформы, м;  $G_3$  – нагрузка на забегающую гусеницу, кН.

Сопротивление катанию  $W_k = W'_k$ .

Сопротивление ветра

$$W'_c = p_v F_v (0,5 + a_v / B), \quad (8.7)$$

где  $p_v$  – расстояние от центра тяжести опорной поверхности машины до точки приложения равнодействующей ветровой нагрузки (до центра парусности машины), м.

Сопротивление подъему

$$W'_c = 0,5 G \sin a (1 + 2 r / B). \quad (8.8)$$

Момент сопротивления при повороте

$$W_c = k m' G L^2 / (L + 0,15R) B, \quad (8.9)$$

где  $k$  – коэффициент, равный 0,25 для двухгусеничного оборудования с балансирной подвеской опорных катков или для трех- и четырехопорных гусеничных систем и 0,5 для двухгусеничного оборудования с жесткой подвеской опорных катков;  $m'$  – коэффициент сопротивления повороту (глины сухие 0,6 – 0,9; глины влажные 0,25 – 0,35; бурый сухой уголь 0,55 – 0,7).

Режим поворота – решающий в тяговом расчете, поскольку необходимая сила тяги в гусенице при повороте двухгусеничной машины в несколько раз превышает силу тяги при прямолинейном движении.

Одновременный учет всех составляющих сил сопротивления по формуле (8.5) приводит к завышению необходимой силы тяги.

### 8.3. Тяговый расчет шагающего ходового оборудования

Привод шагающего механизма расходует энергию на подъем экскаватора массой  $m_3$  (т), преодоление сил трения базы о грунт при перемещении экскаватора и на перенос ходовых башмаков. Последнюю составляющую можно не учитывать из-за ее относительно малой величины.

Работа  $A_1$  (кДж), расходуемая на подъем экскаватора, определяется

$$A_1 = g m_3 K h_{nc}, \quad (8.10)$$

где  $K = 0,9 \div 0,85$  – коэффициент, показывающий, какая часть веса экскаватора ( $G_3 = g m_3$ , кН) передается на башмаки при шагании;  $h_{nc}$  – высота подъема центра тяжести экскаватора, м.

Работа  $A_2$  (кДж), расходуемая на преодоление сил трения базы о породу, определяется из выражения

$$A_2 = g m_3 S [(1 - K) m_f + \sin a], \quad (8.11)$$

где  $S$  – длина шага, м;  $m_f = 0,5 \div 1,0$  – коэффициент трения базы о породу;  $a$  – угол подъема пути, градус.

Если принять продолжительность одного шага  $T$  (с), то привод за время, примерно равное  $0,25T$ , произведет подъем экскаватора и его перемещение, а за время, равное  $0,5T$ , осуществит перенос башмаков.

Мощность  $N_x$  (кВт) привода ходовой части определим, как

$$\begin{aligned} N_x &= (A_1 + A_2) / (0,25T\eta) = \\ &= g m_3 [K h_{nc} + S m_f (1 - K) + S \sin a] / (0,25T\eta), \end{aligned} \quad (8.12)$$

где  $\eta = 0,5 \div 0,7$  – КПД механизма шагания.

Скорость хода  $V_x$  (км/ч) шагающих экскаваторов определяется по формуле

$$V_x = 3600 S K'' / T, \quad (8.13)$$

где  $K'' = 0,7 \div 0,9$  – коэффициент, учитывающий проскальзывание башмаков по грунтовому основанию в начале и конце шага, ведущее к уменьшению фактической длины шага.

#### 8.4. Тяговый расчет шагающе – рельсового ходового оборудования

Суммарное сопротивление передвижению экскаватора по лыжам складывается из сопротивлений, возникающих при движении экскаватора по рельсам лыж  $W_l$  при движении экскаватора на подъем  $W_n$  и от ветра  $W_v$ .

Тяговое усилие при передвижении экскаватора по рельсам лыжи преодолевает упомянутые выше сопротивления  $W_i$  (кН).

Сопротивление передвижению экскаватора по лыжам, приходящееся на один двигатель:

$$W_l = G_{\varepsilon} m_2 (2/f_k + d m_{m.n.}) D_k n, \quad (8.14)$$

где  $G_{\varepsilon}$  – вес перемещающихся по лыжам частей экскаватора;  $f_k$  – плечо трения качения  $0,08 \div 0,22$  см;  $m_{m.n.}$  – коэффициент трения в подшипниках: качения –  $0,01 \div 0,07$  и скольжения –  $0,06 \div 0,09$ ;  $n$  – количество двигателей;  $m_2$  – коэффициент трения реборд ходовых, колес о головку рельса при движении  $1 - 2$ ;  $d$  и  $D_k$  – диаметры оси и ходового колеса, см.

Сопротивление передвижению лыж складывается из сопротивлений перекачиванию лыж по ходовым колесам тележки  $W'_l$  и перекачиванию опорных катков лыж по рельсам  $W''_l$ :

$$W_{nl} = W'_l + W''_l = n_l G_l (2f_k + d_{xk} m_{m.n.}) / n D_{xk} + n_l G_k (2f_k + d_{ок} m_{m.n.}) / n D_{ок}, \quad (8.15)$$

где  $G_l$  и  $G_k$  – вес, соответственно лыж и катков, кН;  $f_k$  – плечо трения качения по лыжам  $0,08 - 0,12$  см;  $D_{xk}$ ,  $D_{ок}$ ,  $d_{xk}$ , и  $d_{ок}$  – диаметры, соответственно ходовых и опорных колес и их осей.

При работе роторного экскаватора в забое время, соответствующее передвижению экскаватора по лыжам  $t_{эл}$ , разбивается на отдельные периоды, продолжительность которых при отработке забоя вертикальными стружками равна времени перемещения экскаватора к груди забоя на толщину стружки (см. гл. 15) с промежутками времени, достаточными для отработки одной ленты по всему фронту подустапа. Время копания, в свою очередь, зависит от длины ленты забоя и скорости поворота роторной стрелы.

Мощность двигателей хода при передвижении экскаватора по лыжам

$$N_{эн} = T_P V_{эн} / h_{шр} = (W_l + W_n + W_v) V_{nl} / h_{шр}. \quad (8.16)$$

Мощность двигателей при передвижении лыж

$$N_l = T_l V_{nl} / h_{ур} = (W_{nl} + W_{ла}) V_n / h_{ур}, \quad (8.17)$$

где  $h_{ур}$  – кпд привода шагающе-рельсового хода.

Средневзвешенная мощность при шагании

$$N_{ур\ св} = (N_{эн} t_{эл} + N_{nl} t_{nl}) / (t_{эл} + t_{nl}). \quad (8.18)$$

## 8.5. Примеры расчетов

### ПРИМЕР 8.1

Определить мощность и выбрать двигатели привода рельсового хода неповоротного цепного экскаватора с полной массой, с полезной нагрузкой  $m_э = 5260$  т (с полным весом  $G = 51012$  кН), перемещающегося по слабонаклонной ( $a = 5^\circ$ ), хорошо выровненной поверхности ( $b_l = 1,3$ ) по колее шириной  $B = 2,14$  м с радиусом закругления  $R_0 = 150$  м. Скорость передвижения экскаватора по рельсам при черпании  $V_x = 5,25$  м/мин (0,0875 м/с). Максимальная скорость передвижения экскаватора на горизонтальном участке пути  $V_{x\ max} = 1400$  м/ч.

#### Решение

1. Потребное количество опорных колес на экскаваторе при максимально допустимой нагрузке на ось  $p_0 = 319$  кН:

$$n = 2G / p_0 = 2 \cdot 51012 / 319 = 320.$$

2. Диаметр колеса на подшипниках качения ( $m_{m.n} = 0,02$ ) для обеспечения минимального значения плеча трения качения  $f_k = 0,04$  см выбираем  $D = 100$  см с осью  $d = 20$  см.

3. Сопротивление перекачиванию колес по рельсам:

$$W_l = G b_l (2f_k + d m_{m.n}) / D = 51012 \cdot 1,3 (2 \cdot 0,04 + 20 \cdot 0,02) / 100 = 318,3 \text{ кН.}$$

4. Сопротивление на подъеме пути:

$$W_l = G b_l \sin a = 51012 \cdot 1,3 \cdot 0,08 = 6121,4 \text{ кН.}$$

5. Сопротивление движению на криволинейном участке пути

$$W_3 = G B K / R_0 = 51012 \cdot 2,14 \cdot 0,9 / 150 = 655 \text{ кН.}$$

6. Сопротивление на рабочем органе от боковой составляющей усилия черпания (см. пример 15.2, откуда  $\dot{a}P_ч = 252$  кН и  $\text{tg } 5^\circ = 0,0875$ ):

$$W_4 = b_3 \dot{a} P_{\text{ч}} \operatorname{tg} \alpha = 1,2 \cdot 252 \cdot 0,0875 = 26,5 \text{ кН.}$$

7. Максимальное сопротивление от силы ветра при скоростном напоре ветра  $p_6 = 0,4$  кПа и наветренной площади экскаватора  $F = 3500 \text{ м}^2$ :

$$W_5 = p_6 F K_2 K_a = 0,4 \cdot 3500 \cdot 0,5 \cdot 0,8 = 560 \text{ кН.}$$

8. Полное сопротивление  $W_5$  (кН) передвижению экскаватора по рельсам:

$$W_{\text{жс}} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 = 7674,7 \text{ кН.}$$

9. Суммарная мощность двигателей хода экскаватора при черпании:

$$N_{\text{жс.г}} = W_{\text{жс.г}} V_x h_{\text{ск}} / h_x = 7674,7 \cdot 0,0875 \cdot 1 / 0,75 = 895 \text{ кВт,}$$

где  $h_x = 0,75$  – КПД привода рельсового хода.

10. Сила тяги на приводном колесе при средней нагрузке на колесо  $G_k = 195,5$  кН:

$$P_m = G_k f_c K_3 = 195,5 \cdot 0,3 \cdot 0,8 = 47 \text{ кН.}$$

11. Потребное количество приводных колес:

$$n_{\text{пр}} > W_{\text{жс}} / P_m > 7674,7 / 47 > 164.$$

12. Минимальное количество ведущих осей – 82.

13. Выбор мощности приводных моторов зависит от выбранной схемы размещения трансмиссий ходовых тележек. При условии, что один двигатель приводит 4 колеса, в приводе хода экскаватора необходимо установить 41 двигатель мощностью по 22 кВт.

## ПРИМЕР 8.2

Произвести тяговый расчет двухгусеничного хода одноковшового экскаватора с полной массой, включая полезную нагрузку (породу в ковше)  $m = 462,8$  т (вес машины  $G = 4540$  кН) при прямолинейном движении на горизонтальном участке со скоростью  $V_x = 0,7$  км/ч (0,194 м/с) и при скоростном напоре ветра  $p_6 = 0,25$  кПа. Максимальное давление под гусеницей при передвижении  $p_{\text{max}} = 400$  кПа. Ходовая тележка: общая ширина  $B' = 6,68$  м при звеньях  $b = 1,4$  м; ширина колеи  $B = 5,28$  м; общая длина по осям ведущей и натяжной звездочек  $L = 7,95$  м. Наветренная площадь экскаватора  $30 \text{ м}^2$ . Максимальный угол подъема при передвижении  $\alpha = 12^\circ$ , грунт – сухие глины с коэффициентом сопротивления смятию  $p_0 = 4000$

кПа/м и коэффициентом сопротивления повороту  $m' = 0,6$ ; средний радиус разворота  $R \leq 5L$ ; КПД привода хода  $h = 0,6$ .

### Решение

1. Максимальное тяговое усилие хода при прямолинейном движении экскаватора с подъемом на угол  $\alpha = 12^\circ$  по формуле (8.2):

$$W_{mn \max} = W_{вн} + W_K + W_\epsilon + W_n = Gf_1 + p_{\max}^2 b n_z / (2 p_0) + p F_\epsilon + G \sin \alpha = 4540 \cdot 0,05 + 400^2 \cdot 1,4 \cdot 2 / (2 \cdot 4000) + 0,25 \cdot 30 + 4540 \cdot 0,2 = 1198,5 \text{ кН.}$$

2. Максимальное тяговое усилие при развороте экскаватора по формуле (8.3) с учетом формул (8.5) и (8.6). Сопротивлением ветровой нагрузке пренебрегаем, т.к. она, как показал предыдущий расчет, составляет менее 1 %:

$$W_{mn \max} = W'_{вн} + W'_k + W'_\epsilon + W'_c + M_c / B = 0,5 Gf_1 K_c(l+2r/B) + p_{\max}^2 b n_z / (2 p_0) + p_\epsilon F_\epsilon (0,5 + a_\epsilon/B) + 0,5 G \sin \alpha (1+2r/B) + 0,5 G B' m' L / (L+0,15R) B = 0,5 \cdot 4540 \cdot 0,05 \cdot 1,2 (1 + 2 \cdot 1,9 / 5,28) + 400^2 \cdot 1,4 \cdot 2 / (2 \cdot 4000) + 0 + 0,5 \cdot 4540 \cdot 0,2 (1 + 2 \cdot 1,9 / 5,28) + 0,5 \cdot 4540 \cdot 6,68 \cdot 0,6 \cdot 7,95 / (7,95 + 0,15 \cdot 5 \cdot 7,95) \cdot 5,28 = 2055 \text{ кН.}$$

3. Суммарная мощность двух двигателей при движении экскаватора по горизонтальной поверхности с подъемом на максимальный угол  $\alpha = 12^\circ$  с учетом снижения на 40 % номинальной скорости движения  $V_x' = 0,6 V_x = 0,1166$  м/с составляет

$$N_{m.z.} = W_{m.n. \max} V_x' / m = 1198,5 \cdot 0,1166 / 0,6 = 234 \text{ кВт.}$$

4. Выбираем два двигателя постоянного тока ДЭ-812 номинальной мощностью по  $N_n = 100$  кВт при  $n_{\text{дх}} = 750$  об/мин, допускающие 2-х кратную перегрузку в течение 45 мин.

5. Мощность двигателей при движении на разворот с подъемом и с учетом снижения на 50% номинальной скорости движения  $V_x' = 0,5 V_x = 0,097$  м/с:

$$N_{m.z.} = W_{m.n. \max} V_x' / h = 2055 \cdot 0,097 / 0,6 = 333 \text{ кВт.}$$

6. Фактическая перегрузка в самом тяжелом режиме составляет  $k_n = 333/2 \cdot 100 = 1,66$ , что позволяет эксплуатировать двигатели хода в этом режиме в течение более 1,5 ч.

7. Диаметр ведущего колеса  $D_{вк} = K_{LK} \sqrt[3]{462,8} = 0,18 \cdot 7,73 = 1,4$  м.

8. Частота вращения ведущего колеса:

$$n_{\text{вк}} = 60 V_x / p D_{\text{вк}} = 60 \cdot 0,194 / 3,14 \cdot 1,4 = 2,647 \text{ об/мин.}$$

9. Передаточное отношение механизма хода:

$$i = n_{\text{дх}} / n_{\text{вк}} = 750 / 2,647 = 283.$$

### ПРИМЕР 8.3

Определить мощность привода шагающего механизма драглайна с ковшом  $E = 40 \text{ м}^3$ .

#### Решение

1. Масса экскаватора:

$$m_{\text{э}} = K_{\text{экс}} E = 85 \cdot 40 = 3400 \text{ т,}$$

где  $K_{\text{экс}} = 85 \text{ т/м}^3$  выбираем из рекомендуемого диапазона 50 – 120  $\text{т/м}^3$ .

2. Размер стрелы:

$$L_c = K_{LC} \sqrt[3]{3400} = 7 \cdot 15,1 = 105,7 \text{ м,}$$

где  $K_{LC} = 7$  по табл. П8 приложения.

Стрелу устанавливаем под углом  $30^\circ$  к горизонту.

3. Радиусы задней стенки и пяты поворотной платформы:

$$L_{3c} = K_{LC} \sqrt[3]{3400} = 1,6 \cdot 15,1 = 24 \text{ м; } L_{nc} = K_{Ln} \sqrt[3]{3400} = 0,6 \cdot 15,1 = 9 \text{ м.}$$

4. Длина платформы:

$$L_n = L_{3c} + L_{nc} = 23 \text{ м.}$$

5. Масса стрелы с учетом коэффициента  $K_m$  по табл. П7 приложения:

$$m_{cm} = 0,07 \cdot 3400 = 238 \text{ т.}$$

6. Масса платформы:

$$m_{nl} = 0,75 \cdot 3400 = 2550 \text{ т.}$$

7. Диаметр базы  $D_{\text{б}}$ , исходя из среднего удельного давления на грунт  $p_{cp} = 100 \text{ кПа}$ , достаточного для работы на породах отвала:

$$D_{\text{б}} = 2 \sqrt{gm_{\text{э}} / pp_{cp}} = 2 \sqrt{9,81 \cdot 3400 / 3,14 \cdot 100} = 20,6 \text{ м.}$$

8. Координата центра тяжести экскаватора относительно оси вращения платформы:

$$x = \{m_{nl} (L_{3c} \cdot 0,5 L_n) \cdot m_{cm} (0,5 L_c \cos 30^\circ + L_{nc})\} / m_{\text{э}} = \\ = (2550 \cdot 24 \cdot 0,5 \cdot 23) \cdot 238 (0,5 \cdot 105,7 \cdot 0,87 + 9) / 3400 = 5,5 \text{ м.}$$

9. Работа  $A_1$ , расходуемая на подъем экскаватора при высоте подъема центра тяжести  $h_{nc} = 0,8$  м и с учетом того, что до 85 % веса экскаватора ( $K = 0,85$ ) передается на башмаки, определяется по формуле (8.10):

$$A_1 = K g m_э h_{nc} = 0,85 \cdot 9,81 \cdot 3400 \cdot 0,8 = 22680 \text{ кДж.}$$

10. Работа  $A_2$ , расходуемая на преодоление сил трения базы о породу при длине шага  $S = 3$  м, угле подъема пути  $\alpha = 12^\circ$  и коэффициенте трения базы о влажную породу  $m_f = 0,5$ , находится по формуле (8.11):

$$A_2 = g m_э S [(1 - K)m_f + \sin \alpha] = 9,81 \cdot 3400 \cdot 3 [(1 - 0,85) \cdot 0,5 + 0,2] = 27517 \text{ кДж.}$$

11. Мощность привода хода при продолжительности одного шага  $T = 120$  с и КПД привода  $h = 0,7$  получим по формуле (8.12):

$$N_x = (A_1 + A_2) / (0,25 T h) = (22680 + 27517) / (0,25 \cdot 120 \cdot 0,7) = 2390 \text{ кВт.}$$

Учитывая относительную кратковременность действия максимальной нагрузки в цикле шагания, а также наличие перегрузочной способности ходовых двигателей постоянного тока ( $n_{пер} \geq 2$ ) выбираем два двигателя привода хода по 1000 кВт каждый.

12. Скорость передвижения экскаватора с учетом проскальзывания башмаков по влажному глинистому грунту  $K'' = 0,8$  получим из формулы:

$$V_x = 3600 S K'' / T = 3600 \cdot 3 \cdot 0,8 / 120 = 72 \text{ м/ч.}$$

#### ПРИМЕР 8.4

Определить мощность и выбрать двигатели привода шагающе-рельсового хода роторного экскаватора с теоретической производительностью  $5250 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Масса экскаватора  $m_э = 4850$  т; масса перемещающихся по лыжам частей экскаватора  $m_{пер} = 0,75 m_э = 3637,5$  т; масса ходовой части машины  $m_x = 0,265 m_э = 1285,2$  т.

Длина хода по лыжам  $L_{л} = 10$  м, скорость передвижения экскаватора по лыжам  $V_{эл} = 8$  м/мин ( $0,266$  м/с), скорость передвижения лыж  $V_{нл} = 16$  м/мин ( $0,266$  м/с), скорость передвижения экскаватора  $V_x = 140$  м/ч. Передаточные числа: редуктора  $i_p = 20,49$ , открытой передачи  $i_{он} = 5,47$ , полиспаста  $i_n = 3$ .

#### Решение

1. Сопротивление передвижению экскаватора по лыжам:

$$W_{л} = 0,0165 g m_{пер} = 0,0165 \cdot 9,81 \cdot 3637,5 = 588,8 \text{ кН.}$$

2. Сопротивление передвижению лыж:

$$W_{nl} = 0,026 g m_x = 0,026 \cdot 9,81 \cdot 1285,2 = 327,8 \text{ кН.}$$

3. Сопротивление при перемещении экскаватора по лыжам на подъем с углом атак  $\alpha_{max} = 4^\circ$  определим:

$$W_n = g m_{nep} \sin \alpha_{max} = 9,81 \cdot 3637,5 \cdot 0,07 = 2498 \text{ кН.}$$

4. Сопротивление ветру определяют при  $p_6 = 0,245$  кПа и  $F = 3500 \text{ м}^2$ :

$$W_B = K_2 K_a p_6 F = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,245 \cdot 3500 = 343 \text{ кН.}$$

5. Полное сопротивление при передвижении экскаватора по лыжам:

$$T_P = W_l + W_n + W_6 = 588,8 + 2498 + 343 = 3430 \text{ кН.}$$

6. Сопротивление передвижению лыж на подъем под углом  $4^\circ$ :

$$W_{ln} = g m_x \sin 4^\circ = 9,81 \cdot 1285,2 \cdot 0,07 = 882,5 \text{ кН.}$$

7. Полное сопротивление при передвижении лыж на подъем:

$$T_l = W_{nl} + W_{ln} = 327,8 + 882,5 = 1210 \text{ кН.}$$

8. Потребное число шагов экскаватора в час  $n_{ш}$  и продолжительность шагания  $T_{шш}$  соответственно равны:

$$n_{ш} = V_x / L_l = 140 / 10 = 14 \text{ шагов/ч и } T_{шш} = 3600 / n_{ш} = 257 \text{ с.}$$

9. Продолжительность передвижения экскаватора по лыжам  $t_{эл}$  и продолжительность передвижения лыж  $t_{nl}$  соответственно равны:

$$t_{эл} = L_l / V_{эн} = 10 / 0,133 = 75 \text{ с; } t_{nl} = L_l / V_{nl} = 10 / 0,266 = 37,6 \text{ с.}$$

10. Время подъема и опускания лыж и базы:

$$t_{ол} = t_6 = 0,5 (T_{шш} \cdot t_{эл} \cdot t_{nl}) = 0,5 \cdot (257 \cdot 75 \cdot 37,6) = 72,25 \text{ с.}$$

11. Ходовая часть экскаватора оборудована четырьмя лыжами, каждая из которых должна иметь индивидуальный привод.

Суммарная мощность 4-х двигателей хода при передвижении экскаватора по лыжам:

$$N_{эн} = T_P V_{эн} h_{ур} = (W_l + W_n + W_6) V_{эн} / h_{ур} = 3430 \cdot 0,133 / 0,85 = 538 \text{ кВт.}$$

13. Суммарная мощность двигателей при передвижении лыж:

$$N_l = T_l V_{nl} / h_{ур} = (W_{nl} + W_{ла}) V_{nl} / h_{ур} = 1210 \cdot 0,266 / 0,85 = 379 \text{ кВт,}$$

где  $h_{ур} = 0,85$  – КПД привода шагающе-рельсового хода.

13. Суммарная средневзвешенная мощность привода:

$$N_{ур св} = (N_{эн} t_{эл} + N_{nl} t_{nl}) / (t_{эл} + t_{nl}) = (538 \cdot 75 + 379 \cdot 37,6) / (75 + 37,6) = 485 \text{ кВт.}$$

14. Средневзвешенная мощность двигателя хода составляет  
 $0,25 \cdot N_{ур.св} = 121$  кВт.

15. Продолжительность включения привода:  
 $ПВ = (75 + 37,6) / 257 = 44 \%$ .

16. Усилие в тяговом канате:

$$S_K = 0,25 T_P / i_n h_n = 0,25 \cdot 3430 / 3 \cdot 0,93 = 307,3 \text{ кН,}$$

где передаточное число полиспаста  $i_n = 3$ , КПД  $h_n = 0,93$ .

13. Разрывное усилие каната  $S_{кр} = 5S_K = 1538$  кН. Этому усилию соответствует канатик = 45,5 мм и барабан с диаметром  $D_{б} = 30 d_k = 30 \cdot 45,5 = 1300$  мм.

14. Частота вращения барабана:

$$n_{б} = 60 V_{эл} i_n / p D_{б} = 60 \cdot 0,133 \cdot 3 / 3,14 \cdot 1,3 = 5,88 \text{ об/мин.}$$

15. Передаточное число редуктора  $i_p = 20,49$  и передаточное число открытой передачи  $i_{от} = 5,47$ . Общее передаточное отношение:

$$i_{пер} = i_p \cdot i_{от} = 20,39 \cdot 5,47 = 112,1.$$

20. Частота вращения двигателя:

$$n_{дв} = n_{б} i_{пер} = 6,6 \cdot 112,1 = 740 \text{ об/мин.}$$

На экскаваторе можно установить четыре двигателя постоянного тока типа ДЭ-812 со следующими основными параметрами:

$$N_{ном} = 100 \text{ кВт; } n_{ном} = 750 \text{ об/мин; } J_{я} = 8,25 \text{ кг}\cdot\text{м}^2; \text{ ПВ} = 100\%.$$

$$\text{Номинальный момент двигателя } M_{ном} = 9550 \cdot 100 / 750 = 128 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

### Вопросы для контроля

1. Что такое тяговое усилие?
2. Чему равно суммарное тяговое усилие?
3. Определите тяговое усилие при прямолинейном равномерном движении.
4. От чего зависит тяговое усилие при повороте машины?
5. Чем создаётся момент поворота в много-гусенечных системах?
6. Что такое механизм шагания?
7. Чему равна работа, расходуемая на подъём экскаватора?
8. Определите работу, расходуемую на преодоление сил трения базы о породу.
9. Как определить мощность привода ходовой части механизма шагания?

## Глава 9. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЭКСКАВАТОРОВ И КОМПЛЕКСОВ

### 9.1. Производительность экскаваторов

К основным факторам, влияющим на производительность экскаватора, относятся следующие:

- трудность разработки горной массы, которая оценивается категорией породы и ее состоянием. При разработке, например, влажной глинистой породы, которая налипает на ковш, уменьшается полезный объем последнего и увеличивается продолжительность цикла из-за более длительной разгрузки ковша. В зимних условиях плохо раздробленный мерзлый грунт также снижает коэффициент наполнения ковша;
- технические данные, состояние и надежность экскаватора;
- квалификация машиниста;
- качество забоя, оцениваемое его высотой, условиями подхода транспорта к месту погрузки, освещенностью;
- организация работ, зависящая от достаточности транспортных средств, состояния дорог, своевременного снабжения топливом, энергией, запасными частями и т.п. Различают теоретическую (паспортную), техническую и эксплуатационную производительности экскаватора.

*Теоретическая производительность* экскаватора – количество продукции (в тоннах или кубических метрах), которое может быть выработано в единицу времени (обычно за час) при непрерывной его работе. Условия работы берутся предположительно одинаковыми для всех машин, коэффициенты наполнения ковша ( $K_n$ ) и разрыхления породы ( $K_p$ ) принимаются равными единице. У одноковшовых экскаваторов при расчете теоретической производительности принимаются: одинаковыми угол поворота на выгрузку ( $90^\circ$  у лопат и  $135^\circ$  у драглайнов), высота черпания (до уровня напорного вала – для лопат) и номинальными скорости рабочих движений и удельные сопротивления породы копанию. У многоковшовых экскаваторов расчет ведется по числу ковшей, разгружающихся в 1 мин при номинальном режиме (скорости резания), сопротивлению породы копанию и коэффициентах  $K_p$  и  $K_n$ , равных единице.

Теоретическая производительность для данной машины всегда одинакова и повысить ее можно только внесением усовершенствований в ее конструкцию. Поэтому теоретическая производительность позволяет сравнивать различные машины и оценивать их совершенство. Теоретическая производительность машины указывается в ее паспорте.

*Техническая производительность* – максимальная производительность для данного экскаватора при его непрерывной работе в данном забое за единицу времени. Рассчитывается с учетом конкретных условий работы: категорий пород, разрыхления породы и наполнения ковша при непрерывной рабо-

те, а также с учетом перерывов в работе, неизбежных для данного типа машины (например, у одноковшового экскаватора при его передвижении, а у роторного – при изменении направления поворота стрелы и передвижении при подходе к забою). Сравнивая техническую производительность экскаваторов, рассчитанную для одинаковых условий, можно выяснить, какая машина лучше подходит для данных условий.

*Эксплуатационная производительность* – это действительный объем горной массы, обработанный экскаватором за определенный период эксплуатации. Она рассчитывается с учетом неизбежных организационных и технологических простоев: потерь времени на приемку смены и осмотр машины, смазку, замену подвижного состава. Эксплуатационная производительность численно меньше технической. Ее величина отражает совершенство организации работы экскаватора и всех обслуживающих его машин. Эксплуатационная производительность может быть сменной, месячной и годовой (в последних случаях учитываются потери времени на ремонтные осмотры, текущие и капитальные ремонты). В наибольшей мере характеризует организацию работы на данном предприятии (не только по добыче полезного ископаемого, но и по обслуживанию экскаваторов, снабжению их запасными частями) годовая производительность экскаватора.

Теоретическая (часовая)  $g_{г.4}$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) производительность экскаватора по рыхлой массе определяется по формуле

$$Q_{m.ч} = 60 E n_z, \quad (9.1)$$

где  $E$  – вместимость ковша,  $\text{м}^3$ ;  $n_z$  – число разгружаемых в минуту ковшей,  $\text{мин}^{-1}$ .

Для многоковшовых экскаваторов  $n_z$  указывается в технической характеристике, для одноковшовых экскаваторов в технической характеристике дается длительность цикла  $t_{ц}$ , а  $n_z$  рассчитывается по формуле

$$n_z = 60 / t_{ц}.$$

Продолжительность цикла обычно указывается для угла поворота, равного  $90^\circ$ . Для углов поворота, отличных от  $90^\circ$ , время цикла умножают на коэффициент корректировки, который приводится в справочниках [3].

Техническая производительность  $Q_{mex}$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) определяется, как

$$Q_{mex} = Q_{m.ч} K_n t_p / (t_p + t_n) K_p = 60 E n_z t_p K_{эк} / (t_p + t_n), \quad (9.2)$$

где  $K_n$  и  $K_p$  – коэффициенты соответственно наполнения ковша и разрыхления породы (берутся из справочника  $K_n = 0,8 \div 1,1$  и  $K_p = 1,1 \div 1,5$ );  $t_p$  – длительность непрерывной работы экскаватора с одного места установки или при одном направлении движения рабочего органа (для многоковшовых экс-

каваторов);  $t_n$  – длительность одной передвижки (для одноковшовых экскаваторов) или перемены направления движения рабочего органа (для многоковшовых);  $K_{эк} = K_n/K_p$  – коэффициент экскавации.

Эксплуатационная производительность  $Q_э$  (м<sup>3</sup>/смену) определяется по формуле

$$Q_{m.ч} = Q_{mex} T_c K_э = 60 t_p K_{эк} K_э T_c E n_z / (t_p + t_n), \quad (9.3)$$

где  $T_c$  – длительность смены, ч;  $K_э$  – коэффициент использования экскаватора по времени. Для экскаваторов, работающих с погрузкой в железнодорожные вагоны,  $K_э = 0,55 \div 0,8$ , с погрузкой в автосамосвалы, на конвейеры и в отвал  $K_э = 0,8 \div 0,9$ .

Годовая производительность  $Q_{э.г}$  (м<sup>3</sup>/г.) экскаватора определяется, как

$$Q_{э.г} = Q_э n_c,$$

где  $n_c$  – число рабочих смен в год.

Зависимость производительности от организации работы и систем разработки изучается в дисциплине «Технология горного производства».

## 9.2. Производительность горно-транспортных комплексов

В технологическом потоке машин, образующих комплекс, определяющим фактором является производительность выемочно-погрузочной машины:

$$Q_k = NE_n T_c K_{эк} K_{вi} = NLV K_{вi} = N_n V_y T_c K_э / K_p, \quad (9.4)$$

где  $N$  – число единиц оборудования, занятых в данном потоке;  $n$  – число циклов в час;  $K_{вi}$  – коэффициент использования данного оборудования по времени;  $L$  – производительность бурового станка в смену, м;  $V$  – выход горной массы с 1 м скважины, м<sup>3</sup>;  $V_m$  – вместимость транспортного сосуда, м<sup>3</sup>;  $V_y$  – объем горной массы, перемещаемой отвалообразователем за цикл, м<sup>3</sup>;  $T_c$ ,  $E$ ,  $K_n$  и  $K_p$  – то же, что и для формул (9.1) – (9.3).

Производительность выемочно-погрузочной машины, входящей в комплекс (в качестве которой ниже рассматривается роторный экскаватор), зависит:

- от конструктивных, кинематических и линейных параметров, а также динамических характеристик экскаватора;
- от физико-механических свойств разрабатываемых пород и их состояния в момент экскавации, транспортировки или отвалообразования;
- от технологических условий применения экскаватора, структурного состава комплекса, организации рабочего процесса, надежности элементов,

входящих в комплекс, и квалификации обслуживающего персонала.

Различают теоретическую, техническую, забойную и эксплуатационную производительность комплекса.

На теоретическую производительность собственно экскаватора [см. формулу (9.1)] оказывают влияние только факторы, перечисленные в первом пункте, которые полностью определяются конструкцией машины и для конкретной модели являются постоянными.

Техническая же производительность комплекса  $Q_{mex.k}$  (м<sup>3</sup>/ч) измеряется по плотной массе и характеризуется технической производительностью экскаватора (с учетом (9.2)) при его непрерывной работе в составе горно-транспортного комплекса в конкретных горно-геологических условиях:

$$Q_{mex.k} = Q_{m.ч} K_{эк} h_F h_y = 573 E Z w_{max} K_{эк} h_F h_y, \quad (9.5)$$

где  $h_F$  – коэффициент, характеризующий снижение производительности экскаватора в зависимости от отношения фактического коэффициента сопротивления породы копанью ( $K'_F$ ) к принятому коэффициенту при расчете мощности приводов ротора и механизма поворота ( $K_p$ );  $h_y$  – коэффициент, характеризующий снижение пропускной способности конвейеров по горной массе в зависимости от отношения плотности породы  $g$ , принятой при расчете мощности привода конвейера, к конкретной плотности породы  $g_p$ , подлежащей транспортированию экскаватором;  $w_{max}$  – наибольшая угловая скорость вращения ротора (рад/с) с  $Z$  ковшами при расчетном  $K_F$ ,

$$h_F = (K_F + 6,7 \cdot 10^{-3} g_p D) / (K_p + 6,7 \cdot 10^{-3} g D),$$

где  $D$  – диаметр ротора, м.

Действительное значение технической производительности ограничивается: при разработке пород с  $K'_F < K_F$  – мощностью приводов ротора и механизма поворота; при разработке пород с  $g > g_p$  – пропускной способностью конвейеров по горной массе. Поэтому основные параметры транспортно-отвального (погрузочного) оборудования, работающего в комплексе с роторным экскаватором, следует определять из выражения (9.5) при  $h_F = h_y = 1$  и  $K_{и} = 1$ .

Забойная производительность  $Q_{з.к}$  определяется фактической технической производительностью экскаватора, которую он может обеспечить в конкретных условиях забоя. Она определяется с учетом затрат времени на выполнение экскаватором всех элементов операций, обусловленных схемой отработки забоя, и составляет

$$Q_{з.к} = Q_{mex} K_m K_y, \quad (9.6)$$

где  $K_m$  – коэффициент технически возможной непрерывности работы (или коэффициент забоя). Определяется как отношение теоретически минимально необходимого времени, расходуемого на отработку блока объемом  $V_c$  производительностью, равной технической  $Q_{tex}$ , к фактически затраченному времени  $T_\phi$ , на отработку того же блока;  $K_y = T'_\phi / T_\phi$  – коэффициент управления, характеризующий соотношение между фактическими затратами времени при выполнении как рабочих, так и вспомогательных элементов операций и расчетными, предусмотренными коэффициентами непрерывности  $K_m$  работы.

На практике на величину  $T_\phi$  оказывает влияние степень совмещения элементов операций во времени. Наибольший интерес представляют крайние случаи, а именно работа с полным отсутствием совмещения элементов операций и с максимальным совмещением, так как они характеризуют диапазон, вариации коэффициента  $K_y$ , при одних и тех же условиях эксплуатации.

Эксплуатационная производительность, являясь одним из основных технико-экономических показателей работы роторного экскаватора и горно-транспортного комплекса в целом, выражается в кубических метрах, полученных за смену, месяц, сезон или год эксплуатации, и определяется как

$$Q_{э.к} = V_\partial / T_k,$$

где  $V_a$  – действительный объем горной массы ( $m^3$ ), отработанной экскаватором за рассматриваемый календарный отрезок времени  $T_k$ .

Принято рассматривать  $V_\partial$  ( $m^3$ ) как произведение производительности  $Q_{э.к}$  на планируемое время работы, определяемое, в свою очередь, произведением расчетного числа часов работы в сутки, рабочих дней в неделю (месяц, сезон, год) и коэффициента технического использования машины. С большой степенью точности  $V_\partial$  может быть оценен только с учетом структуры горно-транспортного комплекса и изменения его технического состояния во времени.

### Вопросы для контроля

1. Какие виды производительности Вы знаете?
2. Определите теоретическую производительность экскаватора.
3. Дайте определение технической производительности.
4. Как определяется эксплуатационная производительность?
5. Что такое горно-транспортный комплекс?
6. Чему равна производительность горнотранспортного комплекса?
7. Перечислите меры повышения производительности экскаватора.
8. От чего зависит производительность выемочно-погрузочной машины?

## Глава 10. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

### 10.1. Параметрические ряды и типы экскаваторов

Существующие конструкции экскаваторов классифицируют по наиболее общему признаку – эксплуатационному назначению, согласно которому построены параметрические ряды и типы отечественных экскаваторов.

*Параметрические ряды* одноковшовых экскаваторов составлены по главному параметру – вместимости ковша  $E$  ( $\text{м}^3$ ) в соответствии с рядом предпочтительных чисел  $R10$ , так как вместимость ковша (для карьерных лопат исключительно, а для драглайнов – наряду с радиусом черпания) характеризует экскаватор по всем основным параметрам: линейным (длина стрелы, радиус черпания и разгрузки), массе, мощности главных приводов, продолжительности цикла и производительности.

*Типаж на одноковшовые экскаваторы* предусматривает создание экскаваторов следующих типов:

- ЭО – универсальные (строительные) гусеничные и пневмоколесные; четыре цифры после букв означают: первая – номер размерной группы по емкости ковша, вторая – тип ходового устройства, третья – исполнение рабочего оборудования и четвертая – порядковый номер модели.
- ЭКГ – экскаватор карьерный электрический на гусеничном ходу; цифры, стоящие после дефиса, означают вместимость основного ковша ( $\text{м}^3$ );
- ЭШ – экскаватор шагающий (драглайн); цифры, стоящие до точки – номинальная емкость основного ковша ( $\text{м}^3$ ), цифры, стоящие после точки – длина стрелы (м);
- ЭГ и ЭГО – экскаваторы карьерные гидравлические на гусеничном ходу, соответственно прямая и обратная лопаты; цифры, стоящие после дефиса, обозначают вместимость основного ковша ( $\text{м}^3$ ).

Буквы А, И, М, С, добавленные к названию, обозначают модификацию экскаваторов; Ус – экскаватор с удлиненным рабочим оборудованием для погрузки в транспорт, расположенный на уровне стояния экскаватора; У – экскаватор с удлиненным рабочим оборудованием для верхней погрузки.

Строительные экскаваторы типа ЭО на карьерах применяются редко и в настоящем учебнике не рассматриваются.

Базовые модели и модификации всех типов одноковшовых экскаваторов имеют сменные ковши для работы в породах различных категорий (по крепости). Вместимость сменного ковша, как правило, соответствует вместимости стандартных ковшей предыдущего и последующего по параметрическому ряду типоразмера экскаватора.

## **10.2. Технические характеристики экскаваторов – механических лопат**

Параметры экскаваторов – механических лопат, приведенные в табл. 10.1, необходимы при выборе экскаватора для работы в условиях конкретного карьера или разреза при расчетах в курсовом и дипломном проектировании.

Ответственные элементы карьерных экскаваторов изготавливаются из высокопрочных материалов, обеспечивающих надежную их работу в любых климатических условиях (при температуре от + 60 до – 50 °С). Удельная масса у современных карьерных лопат, как правило, не менее 36,5 – 52,8 т/м<sup>3</sup>, а удельная энерговооруженность 58 – 67,8 кВт на 1 м<sup>3</sup> емкости ковша.

## **10.3. Техническая характеристика шагающих экскаваторов - драглайнов**

Драглайны используются на карьерах при бестранспортных системах разработки в условиях, где длинная стрела дает им преимущество перед мехлопатами при недостаточной несущей способности грунта, или в условиях, где мощность вскрыши достигает величин, которые не могут быть обработаны с помощью вскрышных лопат.

Несомненные достоинства шагающих драглайнов заключаются в возможности эффективного черпания как выше, так и ниже горизонта установки, длине стрелы (до 130 % длиннее, чем у лопат той массы), малом удельном давлении на грунт и высокой маневренности (табл. 10.2).

## **10.4. Техническая характеристика гидравлических экскаваторов (АО «УЗТМ»)**

На базе ходовой части экскаватора ЭКГ – 5А УЗТМ разработана гидравлическая прямая полноповоротная карьерная лопата на гусеничном ходу с комбинированным электрогидравлическим приводом, предназначенную для погрузочных работ в транспортные средства или отвал при температурах от + 40 до – 40° С.

Гидравлические экскаваторы развивают максимальное усилие копания 1,1 МН и способны разрабатывать связные породы I и II категорий без предварительного рыхления, а породы III, IV и V категорий – с предварительным частичным или полным рыхлением взрывом.

Технические характеристики приведены в табл. 10.3.









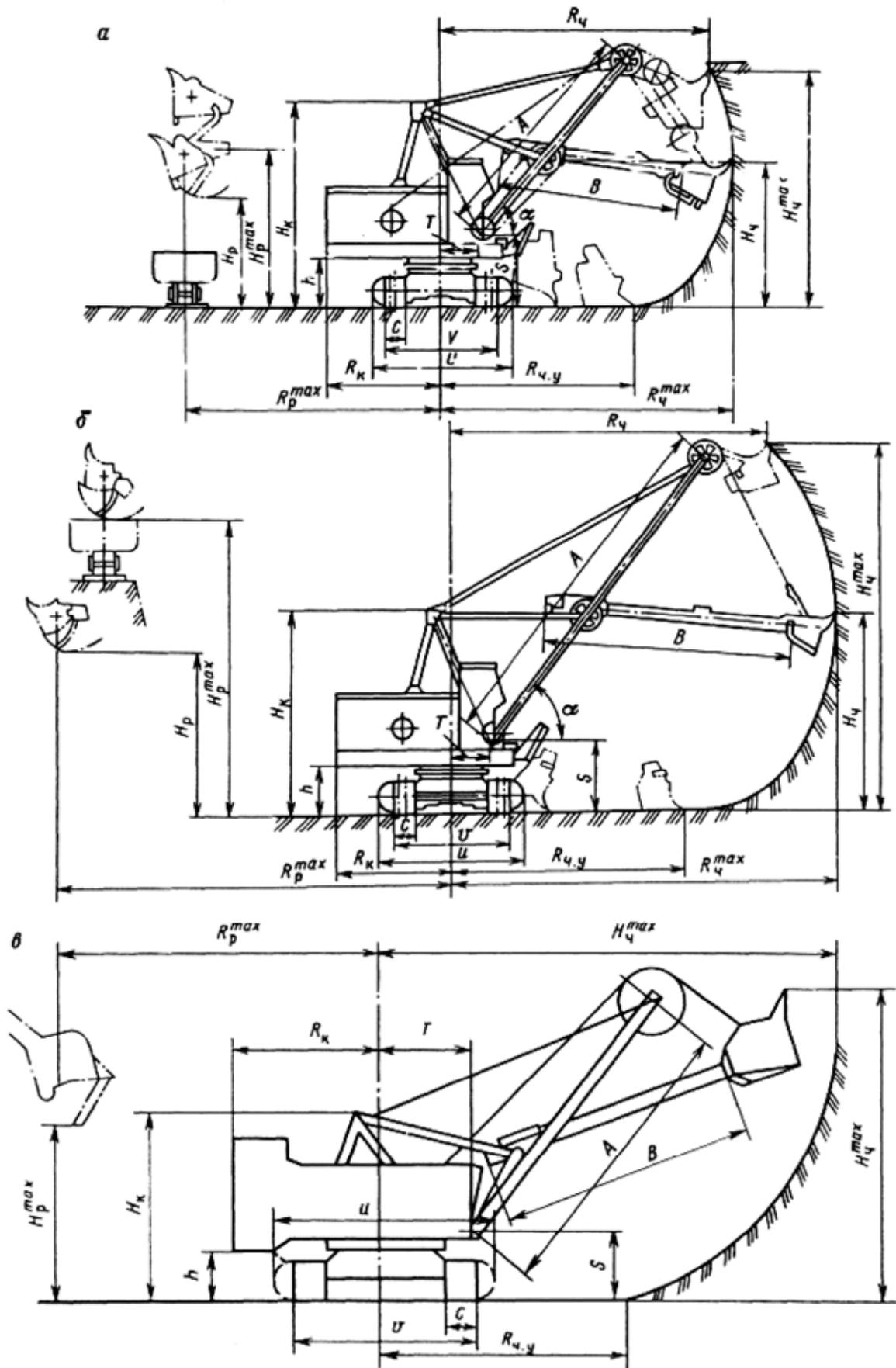


Рис 10.1. Конструктивные схемы экскаваторов – механических лопат:

*a* – ЭКГ–8И и ЭКГ–6,3; *б* – ЭКГ–5У; *в* – ЭКГ–5А







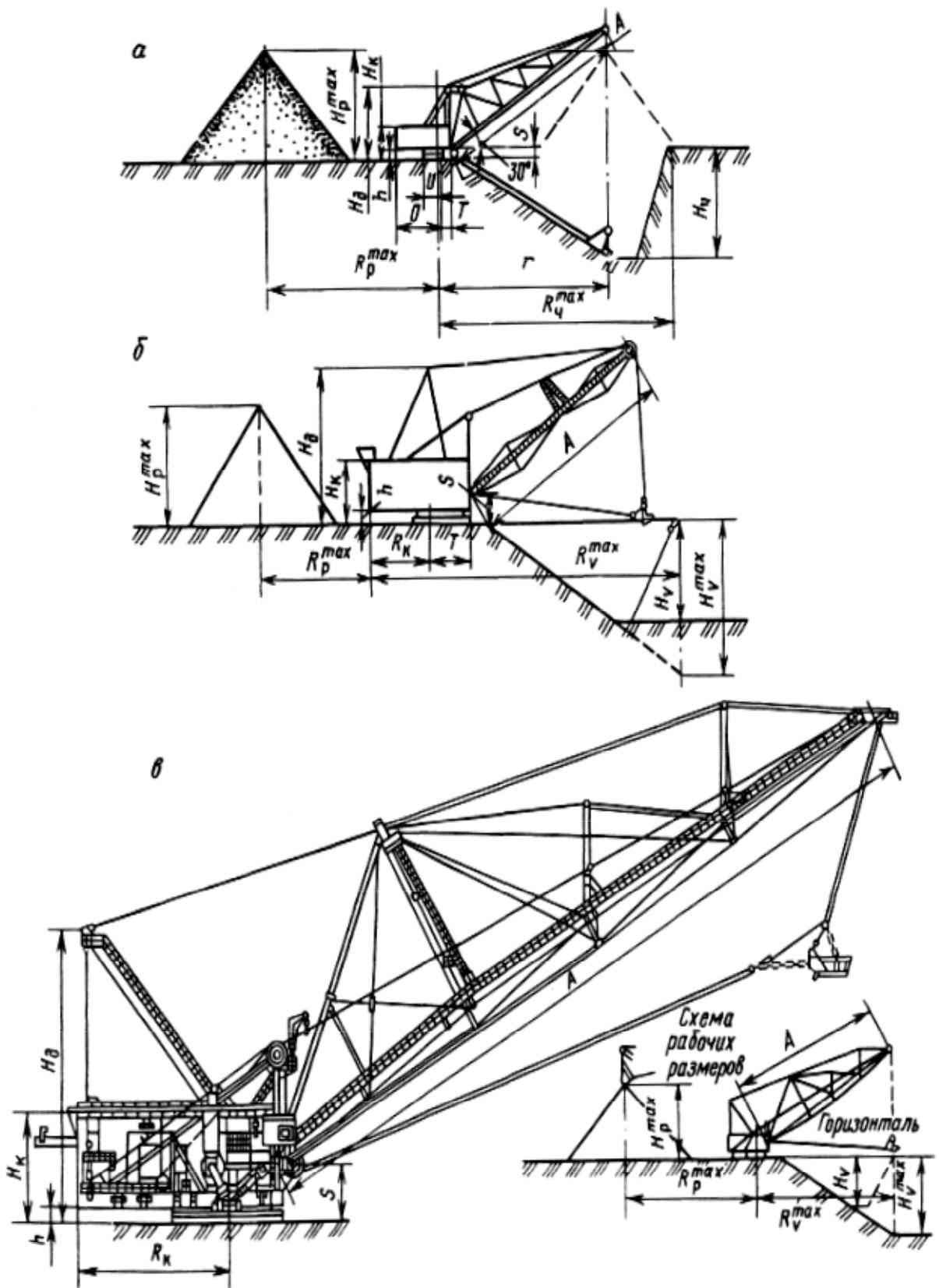


Рис.10.2. Конструктивные схемы шагающих экскаваторов - драглайнов:  
 а – ЭШ11.70; б – ЭШ100.125; в – ЭШ40.100, ЭШ30.110, ЭШ25.120





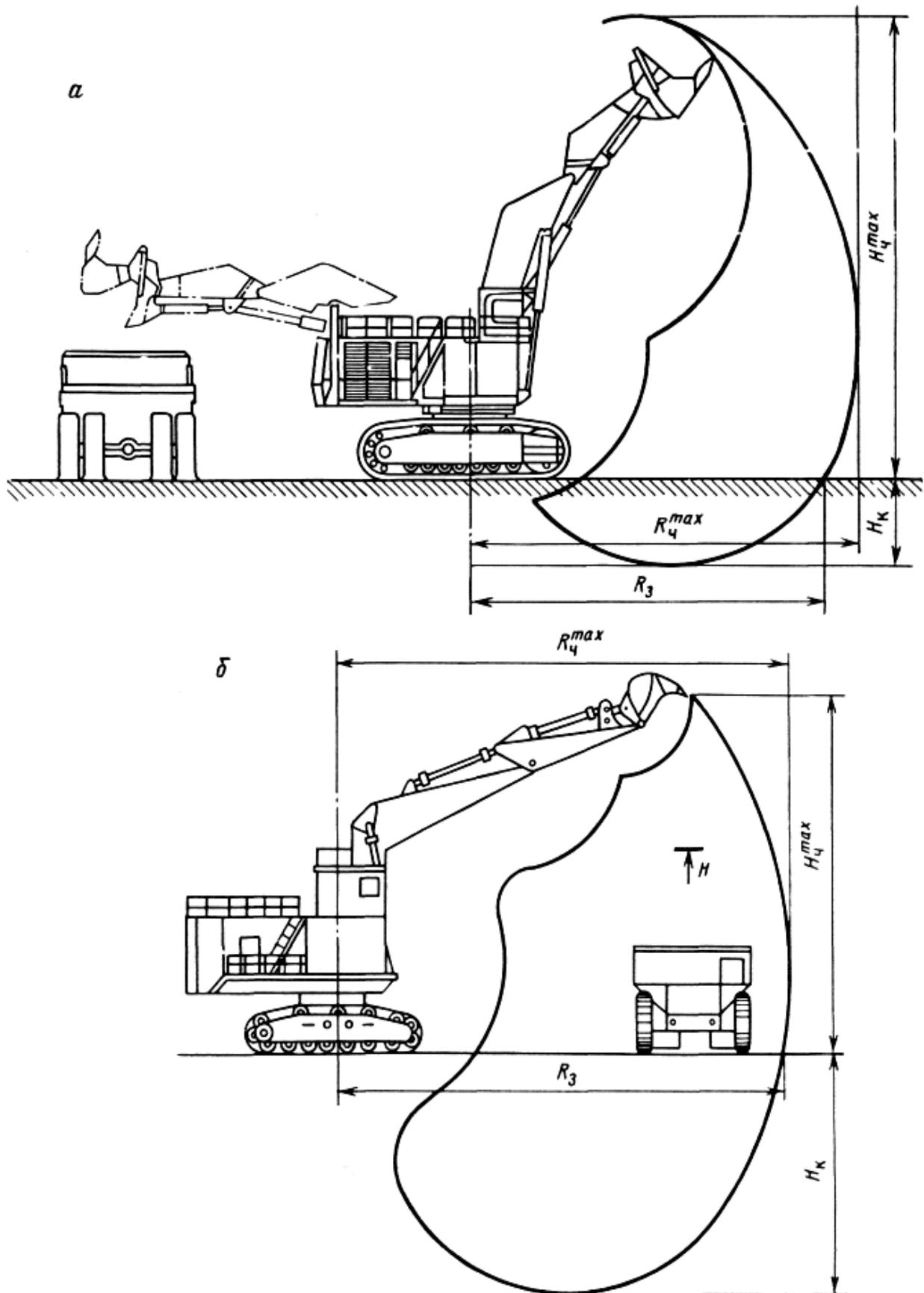


Рис. 10.3. Конструктивные схемы карьерных гидравлических экскаваторов:  
*a* — прямых лопат; *б* — обратных лопат

## Вопросы для контроля

1. Приведите классификацию карьерных гидравлических экскаваторов.
2. Каков типаж одноковшовых экскаваторов?
3. Назовите основные классификационные признаки одноковшовых экскаваторов.
4. Каковы основные параметры экскаватора ЭКГ?
5. Чем отличаются рабочие параметры экскаватора ЭКГ от экскаватора ЭГ?
6. От чего зависят основные параметры экскаватора ЭШ?

## **РАЗДЕЛ II**

### **Техническое обслуживание одноковшовых экскаваторов**

**МОНТАЖ И НАЛАДКА**

**ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И ЭКСКАВАТОРОВ**

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ**

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА**

**РЕМОНТ**

**МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ**

**СМАЗКА**

**НАЛАДКА И ИСПЫТАНИЕ**

**ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РЕМОНТЕ**

## Глава 11. МОНТАЖ И НАЛАДКА ЭКСКАВАТОРОВ

### 11.1. Подготовка монтажно-наладочных работ

**Монтажно-наладочная документация.** К монтажной документации относятся: проект организации строительства объекта; проект производства работ; технологические карты и схемы производства работ; журналы монтажных и специальных работ. Монтажная документация составляется на базе нормативных документов, районных и ведомственных расценок, ценников и прейскурантов оптовых цен на материалы и оборудование, строительных норм и правил (СНиП), технических условий (ТУ) на производство и приемку монтажных работ, отраслевых (ОСТ) и государственных.

Заводы-изготовители вместе с оборудованием поставляют инструкции по монтажу и наладке машин и два комплекта конструкторской документации; сборочные и установочные чертежи со спецификациями и комплектовочно-отгрузочными ведомостями; паспорта машин, аппаратов и контрольно-измерительных приборов; схемы разбивки негабаритных узлов на блоки с указанием маркировки; акты завода-изготовителя на контрольную сборку, обкатку и испытание оборудования с приложением монтажных карт, в которых указаны допустимые и фактические зазоры в соединениях, усилия затяжек, данные регулировки муфт и тормозов, частота вращения и т.д.

При производстве монтажных работ ведут журналы монтажа оборудования, подведомственного Госгортехнадзору Российской Федерации, в которых указываются фамилии должностных лиц, ведущих монтаж. В журнале должны быть отмечены состояния поставленных изделий и их упаковка, основные этапы и даты монтажа, дефекты и меры по их устранению.

В исполнительных схемах и формулах в процессе производства работ указывают проектные и фактические размеры, положение осей и высотных отметок элементов металлоконструкций, допустимые и фактические зазоры в подшипниках, зубчатых и червячных передачах, другие данные согласно ТУ на монтаж, наладку и регулировку ответственных узлов и механизмов.

**Монтажные площадки.** Оборудование для открытых горных работ поступает на предприятия отдельными деталями и узлами, масса которых достигает 40 – 60 т, а в уникальных машинах – 120 т.

Для укрупненной сборки узлов и монтажа машин сооружают специальные монтажные площадки (рис. 11.1, 11.2, 11.3).

Монтажные площадки подготавливаются на территории горного предприятия. Оборудование монтажной площадки должно обеспечивать минимальные сроки монтажных работ при высоком их качестве. Размеры монтажной площадки зависят от числа и типа одновременно монтируемых машин и интенсивности монтажа. Проект монтажной площадки разрабатывается про-

ектно-техническими организациями и согласуется с поставщиком оборудования.

Для монтажной площадки используется не слишком пересеченная, с плотными, не обводненными грунтами, с удалением от места будущей работы собранных машин на 1,5 – 3 км. При этом учитывается необходимость строительства подъездных железнодорожных и автомобильных дорог, подвода высоковольтной линии электропередачи, связи, возможности использования грунтовых вод для хозяйственных нужд и противопожарных мероприятий.

Площадка должна быть достаточно ровной и иметь плотный естественный или насыпной грунт. Часть площадки, предназначенной для установки экскаватора и размещения узлов, накладываются щебнем или гравием высотой 100 – 120 мм с последующей утрамбовкой, а для мощного оборудования площадка покрывается бетонными плитами. Для стока поверхностных вод площадка должна быть спланирована с небольшим уклоном в стороны от центра стоянки экскаватора.

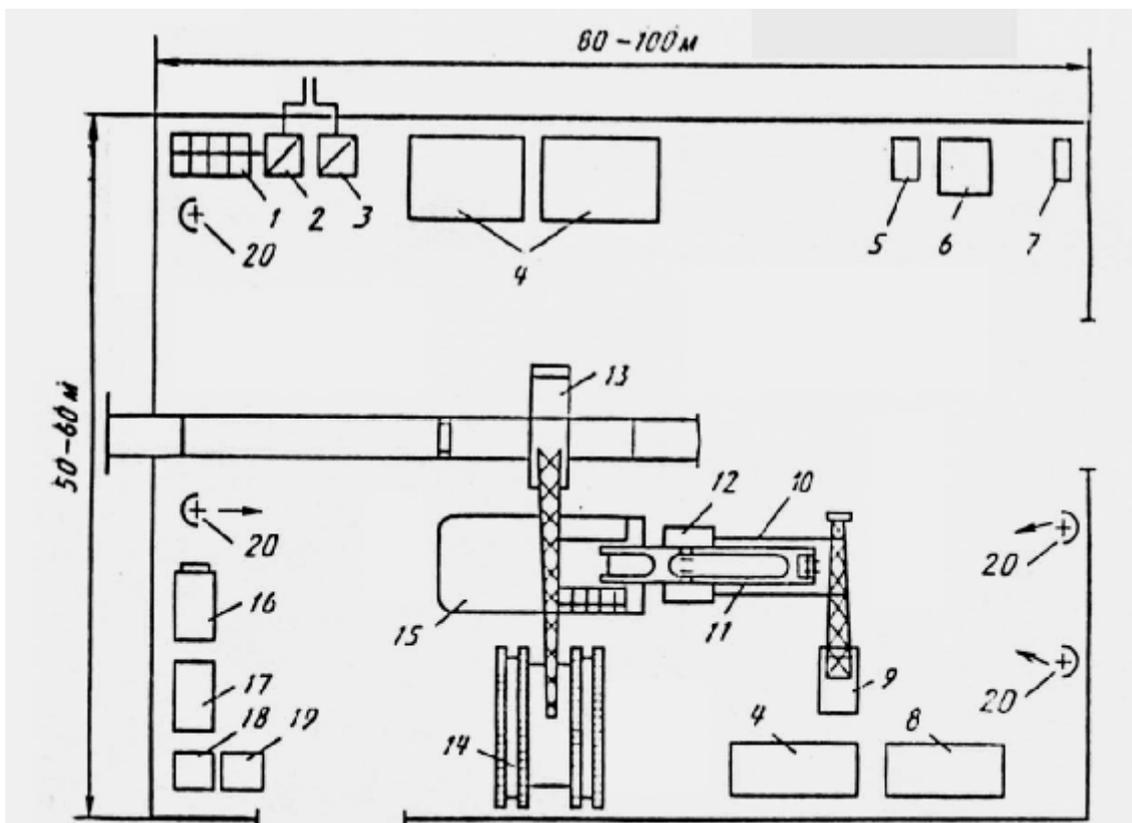


Рис. 11.1. План монтажной площадки:

- 1 – распределительный щит; 2 – трансформаторный киоск; 3 – пункт подключения к электрической сети; 4 – площадка для деталей и узлов; 5 – компрессор передвижной; 6 – площадка горюче-смазочных материалов; 7 – санузел; 8 – площадка для металло-лома;
- 9 – кран гусеничный (автомобильный); 10 – площадка монтажная; 11 – стрела; 12 – подставка под стрелу; 13 – кран железнодорожный; 14 – тележка ходовая;
- 15 – платформа поворотная; 16 – помещения бытовые; 17 и 18 – помещения складские; 19 – стеллаж; 20 – прожектор



Габариты площадки должны позволять свободное и удобное размещение узлов экскаватора и монтажных приспособлений, нормальную работу грузоподъемных и транспортных машин (табл. 11.1).

Таблица 11.1

Площадки для монтажа горно-транспортного оборудования

Тип монтируемого оборудования	Размеры площадки, м	
	длина	ширина
Одноковшовые экскаваторы		
ЭКГ – 4,6А, Э – 2505, ЭКГ – 5А, ЭКГ – 4У, ЭКГ – 6,3УС; ЭКГ – 4,6Б, ЭВГ – 4И	40 – 50	20 – 30
ЭКГ – 8, ЭКГ – 8И, ЭШ – 6/45М; ЭКГ – 5У; ЭКГ – 10И	60 – 70	30 – 40
ЭШ – 20/60; ЭКГ – 12,5; ЭКГ – 15И; ЭКГ – 6,3У, ЭШ – 10/60; ЭШ – 13/50; ЭВГ – 6; ЭГ – 12А	75 – 80	40 – 60
ЭКГ – 20, ЭШ – 20/90А; ЭГ – 20	90 – 160	60 – 80
ЭШ – 10/70А; ЭШ – 15/90; ЭВГ – 15, ЭШ – 20/75Б; ЭШ – 14/75	150 – 180	70 – 90
ЭШ – 40/85; ЭВГ – 35/65; ЭШ – 25/100; ЭШ – 80/100, ЭШ – 100/100	180 – 280	90 – 120
Многоковшовые экскаваторы, массой, т не более		
1500	150 – 180	80 – 120
3000	200 – 300	150 – 180
5000 – 6000	350 – 500	200 – 300

На монтажной площадке заранее сооружаются необходимые фундаменты, якоря и углубления. После их закладки грунт вокруг них утрамбовывается механическими трамбовками.

Трасса, соединяющая монтажную площадку с забоем, должна быть удобной для передвижения экскаватора своим ходом и проходить по плотным грунтам, причем путь не должен иметь продольных уклонов более  $12^{\circ}$  и пересекаться с оврагами, руслами рек и ручьев, высоковольтными линиями электропередачи.

На монтажной площадке предусматривается навес для хранения материалов, инструментов и некоторых узлов монтируемой машины; временные и складские помещения для размещения ремонтной бригады, хранения узлов, материалов, инструментов и запчастей.

Освещение монтажной площадки должно обеспечивать хорошую видимость в зоне монтажа в любое время суток. Площадка оборудуется отдельным распределительным устройством, необходимыми грузоподъемными средствами, приспособлениями, материалами, необходимыми для производства сварочных работ, сжатым воздухом для работы пневмоинструмента.

К концу монтажа экскаватора на площадку подается напряжение 6 кВ для испытания и окончательной наладки электрооборудования экскаватора.

Прибывшие на монтажную площадку узлы и агрегаты экскаватора нужно располагать так, чтобы дополнительные работы по транспортированию их на монтируемый экскаватор были минимальными. Необходимо учитывать последовательность монтажа и возможности грузоподъемных средств.

В качестве грузоподъемных средств необходимо использовать краны на железнодорожном и гусеничном ходу. Для правильного выбора грузоподъемных средств учитываются массы и размеры наиболее крупных монтируемых узлов, а также высота их подъема в процессе монтажа. Кроме основных грузоподъемных средств (кранов) на монтажной площадке необходимо иметь: электрические лебедки, гидравлические домкраты и автокраны, грузоподъемность которых зависит от типа монтируемого оборудования и массы отдельных узлов и деталей. На монтажной площадке необходимо иметь в достаточном количестве стальные и пеньковые канаты, стропы и другие такелажные приспособления, а также слесарный инструмент. Для изготовления различных стоек, подкладок, шпальных клеток необходимо иметь от 400 до 1000 железнодорожных шпал, в зависимости от типа монтируемого оборудования.

**Графики монтажа.** Монтажные работы на площадках осуществляются по заранее разработанным графикам – сетевым или линейным.

Линейные графики в отличие от сетевых не отражают всех взаимосвязей между работами при монтаже, а также сроков совершения монтажа. Поэтому для ускорения монтажных работ применяют сетевые графики обуславливающих параллельный монтаж различных машин в блоки, которые затем соединяют между собой. Монтаж начинают с момента поступления первых сборочных единиц на предприятие.

В сетевом графике используется метод критического пути. График позволяет более четко планировать взаимоувязку и последовательность работ и контролировать ход выполнения их, наиболее рационально расставлять рабочих и использовать средства механизации. Главные элементы сетевого графика – работа и событие.

*Работа* – это трудовой процесс, характеризующийся объемом (в физическом или стоимостном выражении) и временем монтажа, к которому может быть присовокуплено возможное «ожидание» с затратами только времени, а также «зависимость», не требующая никаких затрат ресурсов и времени, но показывающая взаимосвязь между работами. Важным является то, что последующая работа не может быть начата, пока не будет завершена предшествующая, но возможно параллельное ведение независимых работ. *Событие* – это факт окончания одной или нескольких работ.

*Сетевые графики* монтажа представляются кружками события, а стрелками работа (рис. 11.4).



Рис. 11.4. Элемент сетевого графика

Продолжительность отдельных работ определяется по действующим сборникам единых норм, общая продолжительность монтажно-наладочных работ определяется суммированием длительности отдельных работ.

Продолжительность монтажа представлена в табл. 11.2.

Таблица 11.2

Продолжительность монтажа и наладки  
экскаваторов на разрезах, сут.

Экскаватор	Всего	В том числе монтаж и наладка электрической части
ЭШ – 40/85; ЭВГ – 35/65	730	280
ЭРП – 2500; ЭШ – 15/90А	370	180
ЭКГ – 20; ЭШ – 15/75; ЭГ - 20	180	90
ЭШ – 20/90А; ЭШ – 25/100	370	185
ЭКГ – 12,5; ЭКГ – 6,3У; ЭКГ – 15И; ЭГ – 12А	90	45
ЭР – 1250Д; ЭРП – 1250; ЭВГ – 6	222	110
ЭРГВ – 630	160	82
ЭШ – 10/70А; ЭШ – 13/50	124	76
ЭШ – 6/45М	98	50
ЭКГ – 8И; ЭВГ – 4И; ЭКГ – 4У; ЭКГ – 6,3УС	45	37
ЭКГ – 4,6А; ЭКГ – 4,6Б; ЭКГ – 5А	25	14
Э – 2505	20	10

Приближенно продолжительность работ может быть вычислена по формуле

$$t_{.m} = \frac{t_{\min} + 4t_n + t_{\max}}{6}, \quad (11.1)$$

где  $t_{\max}$ ,  $t_{\min}$  - наибольшая и наименьшая продолжительность (ч, сут., смен) монтажа соответственно при неблагоприятных и благоприятных условиях производства работ;  $t_n$  - наиболее вероятная продолжительность монтажа, определяемая на основе данных предыдущего опыта в тех же показателях.

Расчет сетевого графика заключается в определении критического пути наибольшей длины между началом и окончанием монтажа; раннего и позднего окончания работ; запасов времени по работам вне критического пути.

Сетевой график разрабатывается в несколько этапов. Сначала на основе изучения проектной документации выдается техническое задание и составляются локальные графики, главные цепи, уточняются работы, которые можно вести параллельно. Работы увязываются между собой зависимостью так называемых фиктивных работ, не требующих затрат труда и времени.

Фиктивные работы изображают пунктирной линией. Различают условные, организационные и технологические работы [1, 2].

**Обеспечение монтажно-наладочных работ.** При сборке и разборке горно-транспортного оборудования для открытых работ применяют *грузоподъемные механизмы* с высотой подъема 30 – 40 м и массой поднимаемого груза до 250 – 300 т.

Для выполнения монтажных операций (подготовка и сборка крепежных резьбовых и заклепочных соединений, прокладка трубопроводных и кабельных трасс; разделка металлических листов, труб и кабелей; мойка и обезжиривание деталей) используют различные машины и механизмы.

Сверление отверстий диаметром 32 мм осуществляют пневматическими и электрическими сверлильными машинами.

Для сборки и разборки резьбовых соединений используют резьбозакрывающие машины (гайковерты и шурупверты) с электрическим или пневматическим приводом.

Нарезание резьбы производят электрическими и пневматическими резьбонарезными машинами.

Для зачистки литья, сварочных швов, подготовки кромок под сварку, шлифование металлических поверхностей, снятия заусенцев используют ручные шлифовальные машины.

Для заточки ножей рубанков, крупных пил, долбежных и пильных цепей, разводки зубьев круглых пил машины заточные и точила.

Для питания ручных машин энергией применяют компрессорные станции и бензоэлектрические агрегаты.

Для преобразования переменного тока промышленной частоты в переменный ток повышенной частоты используют преобразователи частоты тока.

Рубку и клепку металла осуществляют с помощью ручных пневматических молотков.

Для прямой и фасонной резки листовой стали применяют ножницы и ножевые и вырубные.

Резку и распиливание металлических заготовок и обработку кромок проводят электрическими пилами по металлу и кромкорезами.

Резку и вальцовку труб осуществляют трубрезами и вальцовочными машинами.

Для удаления ржавчины с поверхности металла пользуются ручными, электрическими и пневматическими щетками.

Для механизированной мойки деталей применяют специальные моечные установки и машины.

Для завинчивания и отвинчивания крепежных деталей используют различные гаечные ключи (односторонние с открытым зевом; двухсторонние с открытым зевом; комбинированные; торцевые; разводные; для круглых гаек, шпилек, изготавливаемых из качественной стали марок 45, 40ХФА, 40Х, с твердостью рабочей поверхности не менее HRC 40 – 50.

При монтаже и демонтаже резьбовых соединений используют специальные ключи: с регулируемым крутящим моментом – тарировочные (боковые торцевые) и предельные.

Для контроля усилия затяжки резьбовых соединений ответственных конструкций оборудования применяют ключи динамометрические.

Для захватывания и вращения труб и соединительных частей трубопроводов применяют ключи трубные.

Молотки слесарные, предназначенные для монтажно-слесарных работ, выпускают двух типов – с круглым и квадратным бойком. Материал бойка – сталь марки 50 или У7. Твердость рабочей части бойка должна быть не менее HRC 49 – 56.

Молотки клепальные для отстукивания заклепок изготавливают из стали 50. Для смягчения удара применяют свинцовые или медные молотки со вставным бойком.

Кувалды тупоносые и остроносые, предназначенные для кузнечных и молотковых работ, изготавливают из стали 50, У7А. Твердость рабочей части кувалд должна быть не менее HRC 48 – 52.

Ломы стальные различного назначения (гвоздодерный, лапчатый, монтажный, обыкновенный) изготавливают из круглой стали марки 45 или 50. Твердость концов не менее HRC 40 – 46.

Тиски и струбцины предназначены для зажима мелких деталей при обработке. Применяют тиски ручные ступовые, слесарные поворотные и неповоротные, с поворотной губкой для фасонных деталей, с дополнительными губками для труб. Струбцины выпускают трех типов: параллельные, скобкообразные, скобкообразные с пяткой.

Острогубцы (кусачки) торцевые предназначены для перекусывания проволоки и других подобных изделий при монтажно-демонтажных работах. Материал кусачек – сталь марок 60, 70, У7, У8. Твердость губок HRC 52 – 60.

Плоскогубцы предназначены для перекусывания проволоки, а также захвата и удержания изделий различной конфигурации. Материал плоскогубцев – сталь марки У7 или У8. Твердость зажимных поверхностей губок HRC 52 – 60.

Пассатижи комбинированные предназначены для захвата и зажима труб и круглых стержней. Материал – сталь марки 45 или 50. Твердость губок HRC 42 – 52.

Щипцы (прямые и боковые) предназначены для развода пружинных колец.

Отвертки слесарно-монтажные предназначены для отвинчивания и завинчивания винтов и шурупов со шлицевыми прорезями. Материал стержней отверток – сталь марок 40Х, 50ХФА, У7. Твердость стержня HRC 46 – 51.

Напильники слесарные общего назначения предназначены для выполнения операций опилования, выпускают шести типов: плоские остроносые и тупоносые; круглые с насеченными и нарезанными зубьями; полукруглые; трехгранные; квадратные. Все напильники выполняют с двойной насечкой – основной под углом  $60^\circ$  и вспомогательной под углом  $45^\circ$  к оси напильника. Узкие стороны выполняют с одинаковой насечкой под углом  $65^\circ$ . Круглые и полукруглые напильники могут изготавливаться с одинарной или спиральной насечкой под углом  $75 \pm 5^\circ$ . Стандартом установлено шесть номеров насечки (от 0 до 5) и четыре номера нарезки (от 0 до 3).

Для зачистки пазов ротора и статора электродвигателя используют пазовые напильники.

Надфили, предназначенные для тонкого опилования деталей, выпускают девяти типов: плоские, остроносые, тупоносые, ромбические, овальные, трехгранные, трехгранные односторонние, ножовочные круглые, полукруглые и квадратные. Надфили имеют двойную насечку – основную под углом  $25^\circ$  и вспомогательную под углом  $45^\circ$ . Стандартом установлено десять номеров насечки – от 00 до 8.

Шаберы изготавливают цельными из стали марки У12А или сборными с пластинками из твердого сплава марки Т15К6 и стержнями из стали марки 45.

Полотна ножовочные из металла выпускаются ручные из стали Р9 или Х6ВФ и машинные из стали Р9 или Р18.

Ножницы ручные для резки листовой стали и других материалов толщиной 1 – 2 мм выпускают: праворежущие и леворежущие; для резки отверстий; для фигурной резки. Материал ножниц – сталь марки У7, У7А. Усилие на рукоятках ножниц не должно превышать 20 Н.

Зубила и крейцмейсели слесарные изготавливаются из стали марок 7ХФ, 8ХФ, У7А, У8А с углом заточки 45, 60,  $70^\circ$ . Зубила предназначены для

рубки незакаленных металлов, крейцмейсли – для рубки канавок и пазов в металлических изделиях.

Просечки и пробойники изготавливают из стали марок У8 и У7А с твердостью рабочей части HRC 52 – 57, ударной части HRC 32 – 40.

Кернеры предназначены для нанесения меток на предварительно прочерченных линиях в процессе разметки. Материал кернеров – сталь У7 или У8А. Твердость рабочей части HRC 52-56, ударной части HRC 32-40.

Циркули разметочные предназначены для разметки металлических и неметаллических материалов, изготавливаются 4 типов: простой; с дугой; с пружиной; для разметки диаметров. Циркули каждого типа выпускаются в двух исполнениях: со стальными ножками; с остриями ножек, оснащенными твердыми сплавами. Длина ножки (мм) циркулей типов: 1 – от 100 до 400; 2 – от 150 до 400; 3 – от 75 до 250; 4 – от 500 до 3150.

Чертилки выпускают в двух исполнениях: со стальными ножками и с остриями ножек, оснащенными твердыми сплавами. Твердость острия должна быть не менее HRC 52 – 56.

Для обработки отверстий в деталях применяют разнообразные виды режущего инструмента, наиболее распространенными являются сверла, зенкеры, развертки. По материалу они делятся на быстрорежущие, твердосплавные-монокристаллические или оснащенные пластинками из твердого сплава.

Быстрорежущие сверла изготавливают из стали марок Р9, Р18 или, по заказу потребителя, из стали марки 9ХС. Твердость режущей части сверл HRC 61 – 65.

Для нарезания внутренней резьбы применяют метчики, изготавливаемые из стали марок У11А и У12А.

Для накатывания наружной резьбы применяют плашки круглые, изготавливаемые из стали марок ХВСТ, 9ХС или из быстрорежущей стали.

При монтаже горного оборудования применяют контрольно-измерительную технику общего и специального назначения.

Для контроля линейных и угловых размеров, отклонений формы и расположения элементов оборудования, а также для выверки, центровки, опробования механизмов, при переналадке приводов, подводке, подгонки соединений используют различные контрольные и измерительные инструменты (разметочные и поверочные плиты, отвесы, угольники, штангенциркули, щупы, рулетки, угломеры, линейки, уровни).

Твердость материалов определяют твердомерами для металлов типа ТШ, ТП, ТК, принцип действия которых основан на методах измерения твердости соответственно по Бинеллю, Виккерсу и Роквеллу.

Уровень вибрации в диапазоне частот 11 – 280 Гц определяют вибрографом ВР-1.

Контроль освещенности на рабочих местах и в проходах осуществляют моксиометром 10 – 16.

Степень запыленности и загазованности атмосферы устанавливают с помощью газоанализаторов УГ-2, УГ-7.

Уровень шума в пределах 55 – 140 дБ определяют шумомером Ш-3М.

Дефектоскопию деталей оборудования осуществляют с помощью рентгеновских аппаратов.

Контроль стальных канатов должен производиться при их движении дефектоскопами. В дефектоскопе ДСК – 2 с постоянным магнитным полем реализуется метод магнитной дефектоскопии, в основу которого положена зависимость магнитного потока от характера износа каната, фиксирует при 5 % разрыва проволок. Предназначен для канатов Ø 31 – 56 мм.

В дефектоскопе ИИСК-2 реализован метод индуктивной дефектоскопии, основанный на намагничивании каната переменным током. Регистрирует уменьшение сечения каната до 20 % и предназначен для контроля диаметров 25 – 62 мм.

## **11.2. Технология монтажных работ**

Монтаж карьерного оборудования осложняется: значительной массой и габаритами монтируемых узлов; большими объемами сборочных работ; значительным удельным весом подъемно-транспортных операций и такелажных работ; разнообразием сварочных, клепальных и металлорежущих работ; большими объемами электромонтажных и наладочных работ.

В зависимости от типа оборудования и принятой технологии монтаж машин может осуществляться двумя методами – постепенным наращиванием металлоконструкций или укрупненными блоками массой до 180 – 330 т. Последний метод позволяет обеспечивать выполнение монтажа в наиболее короткие сроки.

Наиболее распространенными соединениями сборочных единиц карьерного оборудования являются сварные или заклепочные соединения, которые должны отвечать требованиям, указанным в чертежах.

Машина, состоящая из привода, передающего механизма, рабочего органа и соединительных устройств, может нормально работать только в том случае, когда все указанные части правильно расположены друг относительно друга, а соединительные устройства точно выполняют свое назначение. В сопряжениях деталей и узлов допускаются некоторые отклонения от проектных положений. Монтаж машин выполняют по техническим условиям, которыми определяются возможные отклонения указанных величин. Задача монтажа заключается в том, чтобы сборка машин была выполнена с наиболее возможной в конкретных условиях степенью точности с тем, чтобы при возникновении дополнительных искажений, они в сумме с допущенными при монтаже отклонениями не выходили из пределов полей допусков. Точность сборки и установки машин определяют контрольными приборами, а контролируют положение машины при монтаже, проверяя расположение деталей относительно поверхностей, называемых базовыми. Проверке подлежат: расстояния и угловые положения элементов, соосность, параллельность и пер-

пендикулярность, прямолинейность и плоскость отдельных элементов машины.

**Базирование.** По назначению базы делят на проектные, конструкторские, измерительные и технологические. Выбранные при проектировании базы определяют расчетное положение той или иной детали относительно других частей конструкции. На чертежах это оси отверстий валов, плоскости симметрии и т.д. В отличие от проектных конструкторские базы представляют собой реальные поверхности, относительно которых определяют положение детали. При сборке и монтаже агрегата сопрягают конструкторские базы составляющих его элементов друг с другом. При этом элементы изделия фиксируются стопорными винтами, контрольными штифтами и т.д. Измерительные базы используют для определения относительного положения изделия и средств измерения. Если измерительной базой является реальная поверхность, то проверку выполняют прямыми методами контроля (замерами), а при использовании в качестве измерительной базы геометрических линий или точек прибегают к косвенным методам контроля.

Для определения положения детали или узла в процессе монтажа, изготовления или ремонта пользуются так называемыми технологическими базами. Обычно за технологические базы принимают реальные поверхности базовой детали изделия, непосредственно контактирующее с установочными элементами приспособления.

При сборке и монтаже изделий небольших размеров используют простейшие зажимные устройства. При необходимости выполнять сборку с разных сторон используют поворотные приспособления. В целях повышения производительности целесообразно применять гидравлические и пневматические зажимные устройства. В этом случае корпусную деталь устанавливают на нижнюю плоскую поверхность без точной фиксации в других направлениях. При сборке и монтаже сложных конструкций соединяемые детали устанавливают в единое целое сваркой, свинчиванием и другими методами. В этом случае необходимо точно установить не только базовую, но и все соединяемые детали.

Погрешностью закрепления называется разность предельных расстояний от измерительной базы собираемого изделия до заданной поверхности присоединяемой детали в результате смещения изделий под действием силы закрепления. Погрешность положения изделия определяется ошибками изготовления и сборки установочных элементов, их прогрессирующим износом, а также ошибками установки и фиксации приспособления. При изготовлении первая составляющая погрешности установки равна 0,01 – 0,03 мм, износ регламентирован в пределах 0,01 – 0,02 мм, а третья величина не превышает 0,01 мм.

**Оптико-геодезический метод.** Точность взаимного расположения отдельных узлов агрегата и соответствие их установки проектному положению определяют качеством геодезического обоснования монтажа. Оно представляет собой совокупность поперечных, продольных, горизонтальных и верти-

кальных осей, которые служат для установки и выверки монтируемых узлов. Эти оси называются монтажными. При расположении монтажных осей учитывают удобство установки отдельных узлов в проектное положение, а также возможность использования этих осей для контроля положения механизмов в процессе эксплуатации. Рабочие монтажные оси, часто изменяемые в процессе работы, закрепляют с помощью струн и отвесов и одновременно задают осью оптических приборов или лучем лазера. Закрепив монтажные оси, проверяют их плановое положение и взаимную перпендикулярность. Расстояние между осями измеряют лентами и тросами, а угловые измерения проводят теодолитами. Для задания базового направления при контроле отклонений от прямолинейности, соосности, вертикальности в процессе установки агрегата в проектное положение применяют струны. Натянутую струну подвешивают в двух базовых точках. Ось струны проектируют на осевые риски монтируемого агрегата с помощью отвеса, который крепится к струне. При необходимости отвес перемещается вдоль струны. При данном методе за счет провисания, колебания и искривления струны ошибки при предварительной выверке узлов и визуальном контроле по меткам составляет 2 – 5 мм. Повышение точности монтажа достигается применением оптических, электрических, электроиндуктивных и других методов отсчета положения. Для установки узлов оптическим методом используют оптические центрирующие приборы и ординатомеры. При этом методе струну располагают так, чтобы в крайних положениях прибора ее изображение совпадало с перекрестием нитей окуляра. Отклонения от прямолинейности поверхности в различных ее точках вызывают соответствующие смещения перекрестия относительно струны. Применение оптических приборов позволяет уменьшить среднюю квадратическую погрешность измерений до 0,12 мм [2].

**Центровка валов** предполагает прежде всего проведение работ по установлению соосности. Под соосностью понимают совпадение осей двух и более узлов машины, двух или нескольких деталей одного узла. При нарушении соосности в соединительных элементах возникают дополнительные напряжения, вибрации и повышенные нагрузки, приводящие к нарушению целостности механизмов. Проверка соосности заключается в определении отклонения осей от совпадения. При несовпадении оси могут пересекаться под некоторым углом или параллельно смещаться относительно друг друга. Встречаются и оба отклонения одновременно. Проверку соосности проводят определением отклонений от общей оси, зафиксированной в пространстве натянутой стальной стрелой.

Соосность двух соединяемых полумуфт или валов производят специальными приспособлениями (рис. 11.5). О несоосности судят путем сопоставления зазоров  $l$  и  $d$ , определенных при четырех различных положениях валов, которые одновременно поворачивают на  $90^\circ$ . Поверхности муфт являются базовыми, при измерениях предварительно проверяют на биение. При проверке линейкой и щупом точность измерений составляет 0,3 – 0,6 мм, а при проверке скобой погрешность снижается до 0,02 – 0,05 мм.

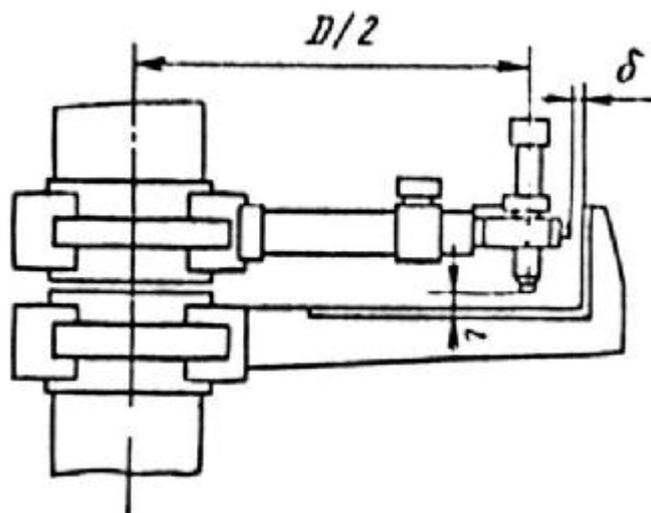


Рис. 11.5. Схема проверки соосности двух валов

Весьма распространенным отклонением от соосности является несовпадение осей двух сопряженных между собой деталей, например вала и полумуфты. Биения по торцу и внешней поверхности деталей определяют при помощи рейсмуса и щупа или индикатора. Исправить муфту можно путем ее проточки на станке. При небольшом отклонении от соосности посадочных мест подшипников исправление ведут шабровкой, при большом – постановкой прокладок, напылением и наплавкой. При соединении двух валов в зависимости от необходимой точности их центрования применяют муфты различных типов. Отверстия под штифты в валах сверлят по отверстиям в муфте после ее окончательной установки.

При фланцевом соединении валов допустимое отклонение от соосности обеспечивается центрующим буртиком, сопрягаемым по посадке H7/p6 при минимальном отклонении перпендикулярности торцевых поверхностей фланцев относительно осей соединяемых валов. Установку болтов в отверстиях фланцев производят при посадке H 7/k6 или H 7/p6. При сборке обе части вала, установленные на призмах, сдвигают до соприкосновения фланцев и фиксируют тремя болтами под углом 120°. Собранный вал устанавливают в центрах и проверяют радиальное биение обеих половин. После этого устанавливают и затягивают остальные болты.

При соединении валов втулочно-пальцевыми муфтами проверяют прилегание пальцев с набранными упругими кольцами к поверхностям отверстий полумуфт. Количество пальцев, участвующих в работе, определяют смещая одну полумуфту в направлении вращения и проверяя щупом прилегание пальцев к поверхности вращения. Зазор у отдельных пальцев не должен превышать 0,3 – 0,6 мм. После этого пальцы крепят гайками.

При муфтовом соединении валов электродвигателя и редуктора соосность достигается путем некоторого перемещения двигателя, который прицентровывают к закрепленному механизму. Проверку производят перечисленными выше методами. Перекос валов вычисляют по разности результатов измерений расстояний между торцами полумуфт, а значение их параллельно-

го смещения – измерением по окружности. Если результаты измерений по торцам и окружности в каждом из четырех положений, после поворота валов на  $90^\circ$  одинаковы, то валы соосны. Если при измерениях по окружности получается разность, а по торцам изменений нет, то имеет место параллельное смещение валов, а если при измерении зазоров между полумуфтами получаются разные значения, а по окружности отклонений нет, то это свидетельствует о перекосе валов. При превышении указанных отклонений, допустимых для данной схемы соединения валов, перемещают машину до получения необходимой соосности валов.

**Резьбовые соединения.** Резьбовые соединения обеспечивают регулировку взаимного положения деталей, силу затяжки, а также прочность, надежность и герметичность конструкций. Основные детали резьбовых соединений: болты, винты, шпильки, гайки.

Сборка резьбовых соединений состоит в установке деталей, предварительного ввертывания, подвода инструмента, завертывания, затяжки, отвода инструмента, дотяжки, стопорения, контроля. Предварительная затяжка резьбовых соединений оказывает большое влияние на надежность работы конструкции. Чтобы исключить возможность появления, необходимо обеспечить правильную установку одной детали относительно резьбовой поверхности другой. При групповом соединении гайки и болты необходимо затягивать в определенной последовательности, исключая перекос и коробление деталей. Затяжку начинают со средних гаек, постепенно приближаясь к краям. Гайки, расположенные по окружности, затягивают крест-накрест в диаметрально противоположных точках.

Надежность резьбовых соединений определяется их прочностью и стабильностью силы затяжки, которую необходимо контролировать, так как недостаточная или чрезмерная затяжка может привести к поломкам крепежных либо соединяемых деталей. Силу затяжки контролируют по крутящему моменту затяжки, углу поворота гайки, удлинению болта либо шпильки. При затяжке предельными ключами они автоматически отключаются при достижении определенного момента затяжки. Предельные ключи не обеспечивают точной затяжки, однако простота конструкции обеспечивает широкое их распространение. Динамометрические ключи имеют шкалу на стержне и стрелку, фиксирующую момент затяжки. Предельные и динамометрические ключи в процессе использования периодически тарируют с помощью грузов на специальных установках.

С целью повышения производительности затяжки при сборке экскаваторов применяют гайковерты, которые используются при моменте затяжки 50 Н·м и имеют пневмо- или электропривод.

Количество сборки резьбовых соединений в значительной мере зависит от того, как «наживлена» гайка, так как неправильное «наживление» приводит к смятию, заеданию и срыву резьбы. Для механизации этого процесса применяют головки, в которых гайки удерживаются подпружиненными или упругими элементами. При большом количестве гаек, кроме того, что вы-

держивают определенную последовательность, их затягивают постепенно: вначале на половину требуемой затяжки, а затем в том же порядке на полную величину. При разборке резьбовых соединений выдерживают обратную последовательность отвинчивания, что позволяет избежать коробления деталей. Вначале гайки необходимо слегка расслабить, а затем отвинчивать полностью. Для заворачивания гаек применяют ручные гаечные ключи с открытыми зевами, кольцевые, комбинированные, торцевые, специального назначения, ударные, разводные и т.д. Для получения большого момента затяжки применяют ударный ключ, имеющий сменные головки, надеваемые на один из хвостовиков. Нашли применение также ключи с шариками, наклонными зубьями, фрикционные, торцевые, динамометрические, позволяющие механизировать операции по навинчиванию гаек.

При постановке шпилек в корпусные детали должна обеспечиваться устойчивость сопряжения шпильки с корпусом с целью поворота при затяжке или отворачивании гайки и вывертывания в процессе соединения. Выполнение указанных требований достигается путем создания значительных сил трения на боковых гранях витков шпильки, препятствующих их повороту.

При установке шпилек контролируют их перпендикулярность. Для этого в резьбовое отверстие корпуса ввинчивают валик и с помощью угольника и щупа определяют отклонение от перпендикулярности. Для контроля высоты выступающей части шпильки применяют шаблоны. С целью предохранения резьбы от повреждения в процессе сборки на выступающие части шпильки необходимо надевать колпачки или сразу навинчивать гайку. Если выступающая часть шпильки не соответствует заданной величине, то необходимо ее вывернуть и ввернуть новую. То же необходимо сделать, если шпилька при затяжке гайки провернулась. Если шпилька сломалась, то ее выкручивают с помощью зубчатого бора, который подают в просверленное в шпильке отверстие. К торцу сломанной шпильки можно приварить гайку, а затем выкрутить ее.

В резьбовые отверстия корпусных деталей шпильки закручивают ручными и механизированными ключами и патронами различных конструкций.

Для предотвращения самоотвинчивания резьбовых соединений, проводят стопорение, которое осуществляется с помощью шплинтов, проволочных отгибных и деформируемых штифтов, проволочных обвязок головок болтов и гаек, недеформируемых стопорящих элементов с цилиндрическими и коническими штифтами, колец-шплинтов удерживающей накладки, установочного винта, зажима, пайки, расклепывания, накернивания, деформируемых листовых шайб с лапками. При монтаже к крепежным соединениям типы и размеры их должны соответствовать чертежам заводов-изготовителей.

**Неподвижные соединения.** При необходимости передачи усилия от одной детали к другой, вдоль оси или от крутящего момента, либо одновременно эти детали сопрягаются так, чтобы одна охватывала другую по цилиндрической или конической поверхности. При этом относительная неподвижность неразъемных соединений с натягом обеспечивается силами трения между сопрягаемыми поверхностями. Сборка соединений с натягом осевой си-

лой, создаваемой прессом или температурным воздействием (путем нагрева при сборке охватывающей детали либо охлаждением охватываемой). При гидропрессовой сборке деформация деталей достигается подачей в зону сопряжения деталей через специальные канавки под высоким давлением масла при одномоментном осевом воздействии. Прочность соединения с натягом должна обеспечивать способность сопротивляться осевому сдвигу и повороту втулки относительно вала, когда они находятся под воздействием осевого усилия, вращательного и изгибающего моментов. Прочность соединения и сила запрессовки зависят от скорости выполнения операции и угла захода фаски.

Прочность продольно-прессового соединения контролируется по силе запрессовки, которая фиксируется показаниями гидравлического манометра или пневматического пресса. Давление на поверхности контакта можно контролировать ультразвуковым методом, основанным на уменьшении отраженной ультразвуковой энергии, пропускаемой через соединение, при увеличении контактного давления. Отраженные ультразвуковые колебания преобразуются в электрические сигналы, которые изображаются на экране.

При прессовой сборке соединений применяют базирующие устройства, способствующие правильной установке и устранению деформаций и перекосов деталей. На сопрягаемых деталях предусматривают фаски, скругленные кромки или направляющие пояски. В связи с большим значением усилия, прилагаемого при прессовании, иногда происходят повреждения сопрягаемых поверхностей, поэтому при повторной запрессовке рекомендуется заменять одну из сопрягаемых деталей новой. При гидропрессовом способе сборки под действием высокого давления до 200 МПа за счет увеличения диаметра охватывающей поверхности и уменьшения охватываемой практически исчезает контакт сопрягаемых поверхностей, что в десятки раз снижает усилие запрессовки или распрессовки. Этот способ наиболее эффективен для посадки зубчатых колес, крупных подшипников качения и тонких втулок с номинальным диаметром более 100 мм.

При сборке с термовоздействием в 1,5 – 2,5 раза по сравнению с механической запрессовкой повышается прочность собранных соединений. В этом случае микронеровности не сглаживаются, а заходят друг в друга, повышая коэффициент трения, а следовательно, и прочность сцепления. При данном методе сборки охватываемую деталь нагревают до  $t = 320 \div 350 \text{ }^\circ\text{C}$  в электропечах сопротивления, индукционных установках и т. д. В масляных ваннах нагревают до  $130 \text{ }^\circ\text{C}$ . При сборке с охлаждением охватываемую деталь охлаждают в твердой углекислоте или жидком азоте до температур порядка  $-190 \text{ }^\circ\text{C}$ . Этот способ позволяет сохранить структуру металла, в связи с чем его целесообразно применять для сборки ответственных узлов.

В конструкциях, воспринимающих интенсивные вибрационные и ударные нагрузки и работающих при высоких и низких температурах, применяют заклепочные соединения. Клепка может быть горячей и холодной. Горячую применяют в силовых и прочноплотных соединениях при диаметре

заклепок свыше 14 мм, холодную – для заклепок диаметром 12 – 16 мм из стали и алюминиевых сплавов. Заклепки общего назначения изготавливают из углеродистых сталей, а ответственных соединений – из сталей 20Х, 15ГФ, 14 Г2, 10Г2С1Д, обладающих высокой пластичностью и прочностью. При горячей клепке усилие на прессах составляет в кН не менее  $100F$ , а при холодной клепке –  $250F$ , где  $F$  – площадь поперечного сечения заклепки,  $\text{см}^2$ . Температура нагрева заклепок из углеродистых сталей – 1100 – 1150 °С. Клепку ведут электромеханическими, пневматическими, гидравлическими и другими прессами или механизированным инструментом. Расклепывание мелких заклепок диаметром 3 – 5 мм проводят ручными пневматическими скобами. Качество заклепочных соединений проверяют внешним осмотром и простукиванием заклепок. Внешний осмотр позволяет выявить дефекты оформления замыкающих головок, а простукивание – плохо затянутые заклепки. Не плотное прилегание заклепок проверяют щупами. При обнаружении дефектов, заклепки высверливают и устанавливают новые.

Одним из методов получения неразъемных соединений является сварка. При сборке и ремонте карьерных экскаваторов чаще всего применяется ручная дуговая сварка. Процесс получения сварного соединения состоит из подготовки деталей под сварку, самой сварки, термической обработки, зачистки швов, контроля сварного соединения. При подготовке к сварке детали правят, очищают и разделяют кромки. При этом применяют различную сварочную оснастку: упоры, фиксаторы, установочные пальцы или кондукторы и т.д. Сварочная оснастка должна обеспечивать: заданную точность сборки, надежность закрепления деталей, уменьшение деформации, защиту ответственных поверхностей от сварочных брызг, быстрый отвод тепла и газов, свободный доступ к местам сварки. Полученные сварные швы подвергаются термической обработке с целью снятия внутренних напряжений, возникших в металле.

Для соединения валов с зубчатыми колесами, муфтами, шкивами используют шпоночные соединения. В связи с тем, что они обладают малой несущей способностью, ослабляют пазом соединяемые детали, недостаточно технологичны при сборке, их применяют для малонагруженных конструкций. В более ответственных соединениях применяют шлицы. Шпоночные соединения делятся на ненапряженные и напряженные. В первом случае соединяют призматическими и сегментными, во втором – клиновыми. Большое распространение получили призматические шпонки, обеспечивающие более высокую точность централизованности. Эти шпонки могут иметь один или два закругленных торца, плоские торцы предназначены для соединения ступиц с валами. Направляющие шпонки крепят в пазу вала винтами, а скользящие соединяют со ступицей цилиндрическим выступом. Призматические шпонки устанавливают в пазы легким ударом медного молотка, под прессом либо специальными приспособлениями. Качество установок шпонок проверяют щупом. Для посадки детали на вал призматическую шпонку подгоняют по пазу вала так, чтобы был обеспечен зазор, а боковые грани шпонки входили в

паз с плотной посадкой между шпонкой и боковыми гранями паза может быть зазор или натяг величиной 0,03 – 0,06 мм в зависимости от размера шпонки. При использовании клиновых шпонок натяг создают забиванием шпонки либо затяжкой ступицы гайкой на шпонку, установленную на валу. Контроль ведут щупом.

Для соединений, работающих в условиях высоких динамических нагрузок, применяют тангенциальные клиновые шпонки, состоящие из двух клиньев, с боковыми односторонними скосами. Их забивают в паз, образованный угловыми уступами на валу и в ступице. Шпонки устанавливают парно под углом 135 – 180 °С. Эти шпонки передают большие вращательные моменты. Шлицевые соединения в зависимости от профиля зубьев делят на прямобочные, эвольвентные и треугольные. Прямобочные соединения имеют четное число зубьев: 6, 8, 10, 16 и 20. Неподвижные соединения легкой серии, имеющие наименьшую высоту зуба, предназначены для передачи небольшого вращающего момента при безударной нагрузке. Соединения средней серии передают средние вращающие моменты при безударной нагрузке. Соединения тяжелой серии отличаются наибольшим числом и высотой шлицев и применяются при наиболее напряженных условиях работы. Эвольвентные шлицевые соединения по сравнению с прямобочными передают большие вращающие моменты, обеспечивают лучшее центрирование и имеют повышенную циклическую прочность и долговечность. Их центрирование происходит по боковым поверхностям зубьев.

При сборке тугоразъемных шлицевых соединений целесообразно нагреть до 100 – 120 °С охватываемую деталь перед ее запрессовкой. В ответственных соединениях для снижения напряжений смятия боковые поверхности проверяют на прилегание по краске. К неподвижным также относятся плоские соединения, работающие при незначительном внутреннем давлении (разъемы редукторов и др. машин, крышки люков и т.д.), и плоские соединения, воспринимающие внутренние давления (разъемы корпусов, компрессоров, насосов и др. машин работающих под давлением). Перед выполнением данной операции поверхности тщательно очищают и уплотняют плотной бумагой, картоном, листовым асбестом, а соединения второй группы – еще и резиной. Материал прокладки выбирают в зависимости от конструкции разъема.

При сборке неподвижных соединений карьерных экскаваторов необходимо выдерживать следующие требования:

поверхности деталей, соединяемых с натягом, перед сборкой тщательно проверить и очистить;

сборку проводить гидравлическим или винтовым прессами, при сборке соединений с натягами более 0,1 мм при механической возможности нагревать охватываемые детали от + 75 °С до 150 °С или охлаждать охватываемые от – 70 до – 190 °С;

детали нагревать в воде или масле, специальных печах высокой частоты или открытым пламенем горелки;

охлаждать детали в сухом льде, жидком азоте в зависимости от температуры охлаждения;

при сборке шпоночных соединений следить, чтобы охватывающая деталь центрировалась исключительно по конической или цилиндрической поверхности вала, не «сажаясь» на шпонку, устанавливать шпонку с натягом следует легкими ударами молотка с медным или свинцовым бойком, не допуская перекоса шпонки;

при сборке точных шпоночных соединений допускается пригонка шпонки по месту;

поверхности шлицев перед сборкой тщательно зачистить от забоин и заусениц;

шлицевые соединения должны иметь равномерный контакт по окружности, проверяют их прилегание с помощью краски;

контролировать соосность сопрягаемых деталей.

**Подвижные соединения.** К подвижным соединениям экскаватора следует отнести системы валов, опор с подшипниками качения и скольжения, зубчатых передач, различных механизмов.

Подшипники скольжения – опоры вращающихся валов и вместе с шейкой вала представляют вращательную кинематическую пару. При высоких нагрузках на вал на соприкасающихся поверхностях возникают значительные силы трения, снижающие коэффициент полезного действия машины. Для уменьшения трения и износа трущихся деталей применяют подшипники качения. Для быстроходных валов, если требуется точное направление вала, а также для тяжелых валов с вибрациями и динамическими нагрузками, где обязательны разъемные подшипники, при небольших габаритах и в других условиях, когда подшипники качения неработоспособны, устанавливают подшипники скольжения. Они бывают неразъемными (цельные втулки, вставляемые в отверстия корпусов машин) и разъемные с вкладышами и без вкладышей. Сборку подшипников скольжения начинают с проверки сопряжения и промывки вкладышей в керосине. Внешним осмотром устанавливают сохранность корпусов, проверяют наличие трещин, раковин. Пригонка наружной поверхности вкладыша к корпусу должна быть такой, чтобы щуп толщиной 0,03 – 0,05 мм не проходил между этими поверхностями. Площадь прилегания наружной поверхности вкладыша к корпусу должна быть не менее 85 %. Поверхности проверяют на краску – на квадрате 25 x 25 см должно быть 3 – 5 пятен касания. Если это условие не соблюдается, подшипник пришабривают и проверяют соосность вкладыша и корпуса. Число пятен касания зависит от диаметра вала и частоты его вращения, и выбираются по справочнику.

При одностороннем вращении вала пришабривают только нижний вкладыш, в реверсивных передачах – нижний и верхний. Собранный и отрегулированный вкладыш должен обеспечивать создание между шейкой вала и внутренней поверхностью вкладыша масляной пленки и отвод из зоны трения возникающего тепла, т.е. диаметр вкладыша должен быть больше диа-

метра шейки вала на размер масляного зазора, который составляет 0,0018 – 0,0025 диаметра шейки вала. Верхний зазор подшипника измеряют продавливанием в собранном подшипнике свинцовых проволочек, уложенных поперек шейки вала на расстоянии 20 – 25 мм от торцов подшипников. Боковой зазор измеряют около поверхности разъема щупом при открытом подшипнике. Верхний зазор в регулируемых подшипниках устанавливают прокладками, укладываемыми на плоскость разъема корпуса. Толщину пакета прокладок устанавливают так: количество прокладок увеличивают до тех пор, пока краска, нанесенная на шейку вала будет едва заметна на верхнем вкладыше после сборки и проворачивания вала. Зазор при этом составляет 0,02 – 0,03 мм. Заданный зазор получают добавлением прокладки толщиной, равной размеру зазора.

При опробовании машин следует определить нагрев подшипника, температура которого должна повышаться равномерно и не превышать 60 – 75 °С. Превышение может быть вызвано избыточным или недостаточным зазором, неправильной подгонкой вкладышей. В этом случае необходимо проверить контакт вала с вкладышем на краску, чтобы установить правильный зазор. Причиной перегрева может быть несоответствие смазки условиям работы, попадание воды и мелких частиц. В этом случае меняют смазку, а иногда и промывают смазочную систему. Проверка температуры масла на выходе из маслоохладителя не должна превышать 40 °С, перегрев может быть вызван неисправностью маслоотделителя и недостаточным количеством смазки подаваемой в узел.

Надежная работа подшипников жидкостного трения обеспечивается их правильной сборкой и смазкой. При сборке подшипников скольжения экскаваторов требуется провести осмотр и очистку острых кромок втулки и отверстия перед запрессовкой; разворот и шабрение втулки при обнаружении дефектов; проверяют отверстие втулки после запрессовки нутромером, при установке вкладышей разъемных подшипников скольжения совпадение масляных каналов в корпусе и крышке с отверстиями во вкладышах, степень прилегания вала к вкладышам краской (допускается 1 – 2 пятна с 1 см<sup>2</sup>).

**Подшипники качения.** Срок их службы зависит от нагрузки на них в процессе эксплуатации. Превышение нагрузки по сравнению с номинальной на 25 % снижает их срок службы в 2 раза, а увеличение на 50 % – в десять раз.

Непосредственно перед сборкой подшипники распаковывают, расконсервируют в горячем 80 – 90 °С минеральном масле, тщательно промывают в 6 – 8 % растворе масла или керосине, нагретых до 75 – 85 °С. Проводят нагруженный осмотр с целью выявления коррозии, механических повреждений, контролируют маркировку, легкость вращения, уровень шум, размеры, радиальное и осевое биение, радиальный зазор, начальный осевой зазор.

Если на поверхности подшипника имеется чернота и незначительная коррозия, то их удаляют специальной шлифовально-полировальной пастой ГОИ или порошком окиси хрома, которые наносят на валок или фетр в смеси

с минеральным маслом. После промывки и протирки посадочных поверхностей осматривают и проверяют детали в соответствии с ТУ.

Перед установкой крупных подшипников в разъемные корпуса необходимо провести легкое шабрение поверхностей, полуотверстий в местах разъема, что позволит предотвратить «закусывание» подшипника при монтаже и эксплуатации.

Степень прилегания крупных подшипников в разъемных корпусах проверяют с помощью калибра и краски (отпечатки краски должны составлять не менее 75 % общей посадочной площади). Плотность и равномерность прилегания основания и крышки в разъемных корпусах проверяют щупом, зазор должен составлять 0,03 – 0,05 мм. После промывки и контроля посадочные места вала и корпуса смазывают минеральным маслом.

Посадочные поверхности валов в подшипниковых узлах изготавливаются в системе отверстия, а посадочные поверхности корпусов – в системе вала. Посадочные поверхности колец подшипников изготавливаются с меньшими допусками, чем принято в машиностроении. Поэтому при одинаковых посадках подшипники качения сопрягаются с валами и корпусами с большими натягами и меньшими зазорами. Характер сопряжения задают из условий работы узла.

Так циркуляционно нагруженные кольца подшипников за один оборот воспринимают нагрузку всеми своими точками, их устанавливают с натягом. Кольца подшипников с местной нагрузкой воспринимают ее на ограниченном участке, их сажают с зазором с тем, чтобы они могли провертываться на валу. При монтаже следует тщательно контролировать качество сопряжения колец подшипника с валом и корпусом. Измерения проводят в 2 – 3 сечениях инструментом с микрометрическим винтом. Если зазор превышает допустимый, то деталь исправляют хромированием посадочного места. При большом зазоре допускается наплавка с последующей обработкой. Если между шейкой вала и подшипником нет зазора, то после демонтажа шейки протачивают.

Кроме посадки при монтаже проверяют, чтобы радиус галтели вала и заплечников корпуса был меньше толщины сопрягаемого с ним кольца. Сопряжение кольца подшипника с заплечником контролируется по дуге и должно быть не менее 180 °С. Если по условиям сопряжения зубчатых колес подшипник необходимо отодвинуть по галтели, то между ней и кольцом подшипника ставят дистанционное кольцо.

Запрессовывают подшипники механическим, тепловым либо гидро-прессовым методом. На валу подшипник крепится за счет натяга пружинного кольца либо втулки, прижимаемой гайками посредством резьбовых элементов. Механическая запрессовка проводится прессами, пресс-скобами, различными станками. При тепловой сборке подшипники перед установкой на вал их нагревают в электрических масляных ваннах до 90 °С. При установке же наружных колец подшипников в неразъемный корпус их охлаждают сухим льдом либо жидким азотом.

Посадку подшипников легкой серии выполняют небольшими усилиями запрессовки ударами молотка через промежуточную деталь. При посадке крупных подшипников необходимо применять переносные гидравлические или винтовые прессы. Применение трубы с фланцем или специальной оправки позволяет сажать подшипник одновременно на вал и корпус. Усилие при этом создается прессом.

Демонтаж подшипников выполняют при помощи съемника или прессы. Для предотвращения смятия внутреннее кольцо подшипника при демонтаже следует нагреть. Для этого через воронку к кольцу подают горячее масло.

После монтажа подшипниковых опор проводят их контрольное испытание. Температура работающего подшипника не должна превышать температуру окружающей среды более чем на 50 °С. Нагрев подшипников более 3 – 4 часов свидетельствует о наличии дефектов (неправильный монтаж, неисправность работы смазочной системы и т.д.). Норма заполнения подшипника смазкой составляет 2/3 свободного его объема при малых и средних числах оборотов и 1/3 – при больших. Промывка смазочной системы и ее заправка свежей зачастую позволяет устранить нагрев подшипников.

Причина нагрева подшипников может быть в недостаточном в них зазоре. Если зазор регулируемый, то в зависимости от установленного состояния увеличивают или уменьшают осевое отклонение. Если зазор уменьшен вследствие большого натяга, то протачивают шейку вала.

В правильно собранном подшипниковом узле должен быть ровный, слегка жужжащий звук без стука. Высокий тон шума свидетельствует о недостаточном количестве смазки и малом радиальном зазоре. При больших зазорах работа узла сопровождается стуками. Скрежет или сильный стук могут быть вызваны задеванием вращающихся частей за неподвижные. В этом случае механизм необходимо остановить.

Большое значение для работы подшипникового узла имеет соосность посадочных мест. Эту операцию выполняют либо при помощи фальшвала, либо поверочной линейкой по наружным кольцам подшипников, либо по зазорам подшипников, установленных вместе с валом в посадочные места. Фальшвал представляет собой трубу, к концам которой приварены пробки, рабочая поверхность которых обработана на станке с одной установки с высокой чистотой и точностью и закалена. Фальшвал устанавливают в посадочные места и проверяют на краску. Исправление ведут шабрением.

При втором методе проверки соосности линейку устанавливают на верхние точки колец подшипников, помещенных на разъемных опорах. На линейку устанавливают уровень. Допустимый перекося определяют в соответствии с видами подшипников по справочным данным.

Соосность опор по зазорам подшипников проверяют, когда вал лежит на расточках через каждые 90° – 120°. Если расточки сосны, то зазоры должны располагаться в верхней части симметрично относительно вертикальной плоскости, проходящей через центры расточек. При отклонении проводят шабрение корпусов, а всю расточку по кольцам подшипников доводят обра-

боткой крышек. Соосность подшипников, установленных в неразъемных корпусах, проверяют по зазорам.

Проверке следует подвергать и зазоры в уплотнениях подшипников. Если между неподвижными и вращающимися деталями уплотнения недостаточный радиальный зазор, то его доводят до нормы путем механической обработки вала либо расточки фланцевой крышки. При эксцентричном расположении радиального зазора уплотнения обработке подвергают деталь, вызвавшую эксцентриситет.

При сборке экскаваторов подшипники необходимо промывать в 6 % растворе масла и бензина или в горячих антикоррозионных растворах; при посадке на вал предварительно нагреть подшипник в минеральном масле от + 70 до + 100 °С; запрессовку подшипников производить оправками с опорным торцом из мягкого металла; усилие запрессовки прикладывать только к тому кольцу, которое при данной операции сопрягается с базовой деталью; направление усилия запрессовки должно совпадать с осью сопрягаемых поверхностей; после запрессовки проверить работоспособность подшипника; его вращение должно быть равномерным без заклинивания; после установки конических роликоподшипников отрегулировать с помощью регулировочных прокладок радиальный зазор путем осевого перемещения наружного кольца.

**Зубчатые передачи.** При монтаже зубчатых передач рабочие поверхности не должны иметь заусенцев, забоин, задигов, царапин и др. повреждений. В правильно собранной зубчатой передаче усилия между зубьями должно передаваться по контактной линии – начальной окружности колеса. Боковые зазоры должны находиться в пределах, заданных для зацепления допусков.

В процессе сборки зубчатых передач контролируют: отклонения формы, размеров и расположения сопрягаемых поверхностей зубчатых колес, валов и корпусов редукторов; установку колес на валах и собранных валов в корпус; регулирование зацепления; проведение обкатки собранного механизма. Требования к точности сборки зубчатых передач зависят от условий их эксплуатации. Например, в тяжелонагруженных тихоходных редукторах экскаваторов одно из основных требований – полнота контакта сопрягаемых поверхностей зубьев, в реверсивных передачах – боковой зазор.

Сборку шестеренчатых пар начинают с подготовки посадочных мест для валов. Для этого проверяют соосность и межцентровое расстояние отверстий. Соосность посадочных мест проверяют одним из ранее описанных способов, а межцентровое расстояние – при помощи микроштихмасса замерами расстояний между уложенными валами. Для комплексного контроля относительного расположения осей отверстий в корпусе применяют прибор "центратор". Радиальное и боковое биение зубчатого колеса проверяют после укладки вала в корпус редуктора. Значение радиального биения определяют контрольным роликом, который укладывают во впадины колеса через каж-

дые 3, 4 зуба. Изменение контакта ножки индикатора с контрольным роликом указывает на радиальное отклонение.

Сборку редуктора начинают с укладки выходного вала, прицеливая его к исполнительному механизму, который к этому моменту уже собран и не подлежит перемещению. Параллельность валов в каждой собранной паре определяют с помощью штихмасса. Однако этот метод в недостаточной мере гарантирует получение необходимых норм контакта зубьев в зацеплении. Для указанного контроля и проверки сопряжений цилиндрических колес измеряют боковой зазор, значение которого зависит от вида сопряжения и межцентрового расстояния.

Боковые зазоры между рабочими и нерабочими поверхностями зубьев измеряют либо щупом, микрометром тонких свинцовых пластин, полученных в результате продавливания через зацепление проволоки толщиной 2 – 3 мм. Для этой проверки на зубьях шестерни солидолом закрепляют изогнутые по контуру два ровных по длине отрезка проволоки, чтобы они начинались по краям одного из зубьев с обеих сторон колеса, кончались на одном из последующих. При этом получают две свинцовые пластины переменной толщины. Меньшая толщина  $a$  соответствует зазору с рабочей стороны зуба, а большая  $\partial$  – с нерабочей. Общий зазор определяется как сумма двух названных величин  $c = a + \partial$ . Толщина обеих проволок в правильно собранном зацеплении одинаковая, т.е.  $a = a_1$  и  $\partial = \partial_1$ . Если толщина проволок не одинаковая, то это свидетельствует о непараллельности осей. Ее размер характеризуется разностью боковых зазоров  $\Delta c = (a_1 + \partial_1) - (a + \partial)$ . Для получения необходимой параллельности, оси следует сблизить в том месте, где получен больший зазор, на величину

$$\Delta a = \frac{\Delta c}{2 \sin \beta},$$

где  $\beta$  - угол зацепления передачи обычно  $20^\circ$ . Непараллельность, отнесенная к 1000 мм длины, мм/м

$$x = \frac{\Delta a}{l} 1000,$$

где  $l$  - расстояние между свинцовыми проволоками, установленными в зацеплении, мм. Соотношения  $a < a_1$ ,  $\partial < \partial_1$ ,  $a + \partial = a_1 + \partial_1$ , свидетельствует о том, что оси перекрещиваются. Относительная скрещивания, мм/м,

$$y = \frac{a_1 - a}{l} 1000.$$

Полученные в результате измерений отклонения сравнивают с допускаемыми.

Контакт зубчатого зацепления проверяют на краску или по металлическому блеску в местах соприкосновения шестерни с колесом. Перед проверкой рабочие поверхности зубьев обезжиривают бензином-растворителем. На

зубья шестерни наносят слой краски толщиной 4 – 6 мкм и производят обкатку при легком притормаживании. Если отпечаток находится в верхней части зуба, то межцентровое расстояние больше нормального, если же оттиск в нижней части зуба, то это расстояние меньше нормального. Если отпечаток находится с одной стороны зуба, то это свидетельствует о непараллельности осей. Если же на одной поверхности зуба оттиск находится с левой стороны, а на другой – с правой, это свидетельствует о том, что оси скрещиваются. Если контакт рабочих поверхностей не превышает 35 % длины зуба, то зубья пришабривают. При контакте поверхностей 35 – 50 % длин, а также после шабрения ведут притирку пастой ГОИ, которую разводят с тавотом или солидолом – 60 % от массы, керосином – до 30 %. Для приработки зубчатых передач карьерных экскаваторов часто готовят пасту, состоящую из 60 % порошка электрокорунда и 40 % технического вазелина. В процессе притирки, которую выполняют в кор-



пусе редуктора, необходимо следить за тем, чтобы паста не попала в подшипники. Смесь через короткие промежутки времени наносят кистью на колесо, которое вращают со скоростью 2 м/с. Окончательно зацепление доводят приработкой с маслом под нагрузкой.

При сборке редуктора и передачи следует обкатать с целью приработки пар трения и выявления дефектов в процессе обкатки.

О правильности сборки зубчатой передачи можно судить по шуму, который в нормальных условиях должен быть низкого тона, ровно жужжащим. Шум, напоминающий шелканье, связан с ошибками в окружном шаге зубьев и устраняется приработкой. Если при этом образуется металлический блеск,

то его устраняют шабрением. Также шабрением устраняют искажения формы рабочих поверхностей зуба, которые вызывают шум высокого тона и постоянный неравномерный стук. При эксцентричном расположении зубьев относительно оси вращения возникает циклический шум, то усиливающийся, то ослабевающий. Устранить такой шум не представляется возможным.

Между видом пятна касания и характером шума имеется определенная зависимость. Так при испытании карьерных экскаваторов получены такие зависимости (рис. 11.6).

### 11.3. Монтаж одноковшовых экскаваторов

Одноковшовые экскаваторы с ковшом вместимостью 0,5 – 1 м<sup>3</sup> поступают с заводов со снятым рабочим оборудованием и противовесом, поэтому монтаж их сводится к подсоединению данных частей и длится 3 – 5 суток.

Разгружаемые на монтажной площадке сборочные единицы экскаваторов укладывают на настил из шпальных клеток или размещают в определенном порядке непосредственно на ее участках. Расконсервацию производят перед установкой узла в проектное положение. Тщательной ревизии подвергают маслонасосные установки и арматура, редукторы, барабаны лебедок, зубчатые передачи и муфты, электромашинные агрегаты, блоки подъемных механизмов, электрооборудование.

При наружном осмотре проверяют: комплектность оборудования согласно спецификации чертежей; маркировку и соответствие узлов заводским отгрузочным документам; состояние частей машин (отсутствие видимых деформаций, сохранность окраски и консервирующих покрытий, отсутствие коррозии).

Чисто обработанные и шлифованные поверхности очищать металлическими инструментами на разрешается. Их следует промывать керосином и протирать насухо. Краску, нанесенную на сопрягаемую посадочную поверхность для предохранения от коррозии или при транспортировке и хранении, смазывают керосином или специальным растворителем. Консервационная смазка, кроме смазки в подшипниках качения, заменяется смазочными материалами, применяемыми при эксплуатации. Промывку деталей керосином или другими легковоспламеняющимися жидкостями следует производить в специально отведенном месте с соблюдением правил противопожарной безопасности. Все посадочные поверхности и поверхности трения деталей, а также крепежные детали перед установкой должны быть смазаны.

**Монтаж механических лопат.** Рассмотрим последовательность монтажа на примере экскаватора ЭКГ – 12,5.

Выставить на шпальной решетке и домкратах обе секции нижней рамы вплотную друг к другу. Тщательно проверить прилегание сопрягаемых листов и плоскость платиков подкольцевых рельсов. Соединить обе секции монтажными болтами. В соответствии с заводской маркировкой установить накладки и произвести клепку. Вынуть монтажные болты и на их место установить заклепки.

В это же время выложить на ровной горизонтальной площадке четыре гусеничных цепи на расстояниях, соответствующих их положению на машине. На гусеничные цепи установить рамы ходовой тележки с опорными колесами и приводами таким образом, чтобы за ведущие звездочки выходило по два гусеничных звена. После этого желательно с помощью геодезических инструментов добиться параллельности ходовых тележек и плоскости их верхних платиков.

Установить и закрепить нижнюю раму на ходовых тележках, при этом замкнуть гусеничные цепи пальцами и застопорить пальцы; зубчатый венец

на нижней раме, выдержав concentричность делительной окружности венца и центрирующей заточки; нижний кольцевой рельс в соответствии с заводской маркировкой; на нижней раме стакан центральной цапфы без конусной втулки и гайки. В соответствии с заводской маркировкой собрать и установить на нижний роликовый круг.

Приварить к нижней раме основание кабельного барабана, а затем его смонтировать. При монтаже привода кабельного барабана контролировать боковой зазор в зацеплении открытой пары ( $\delta = 0,34 - 0,88$  мм) и соосность валов электродвигателя и редуктора (допускаемое отклонение от соосности – эксцентриситет – не более 0,3 мм).

Выставить на шпальной клетке раму поворотной платформы и вплотную к ней левую и правую передние секции и левую и правую задние секции. Тщательно проверить прилегание сопрягаемых листов и параллельность плоскостей обработанных платиков. В соответствии с заводской маркировкой установить накладки и прокладки, соединить секции с рамой поворотной платформы монтажными болтами и произвести клепку. Вынуть монтажные болты и на их место установить заклепки. Собрать платформу и густанку верхнего рельса при положении рамы нижними платиками вверх.

Установить и приварить желоба для электрокабелей в раме поворотной платформы и передних секциях.

Смонтировать в соответствии с заводской маркировкой на передних секциях поворотной платформы верхние рельсы. Раму поворотной платформы с секциями установить на нижнюю раму. На стакан центральной цапфы одеть конусную втулку с запрессованной в нее латунной втулкой. Установить сверху кольцо и сферическую шайбу. Закрепить конусную втулку на поворотной платформе болтами. Одеть гайку центральной цапфы и завернуть ее, обеспечив зазор между нею и сферической шайбой не более 3 мм. Зафиксировать это положение гайки центральной цапфы стопорными планками. Установить трубки и масленку для смазки латунной шайбы центральной цапфы.

В полном соответствии с чертежом поворотной платформы прикрепить площадки к раме поворотной платформы. Установить входную площадку.

Под противовесной частью поворотной платформы выложить шпальную клетку и произвести загрузку противовеса в полном соответствии со схемой загрузки (рис. 11.7). После загрузки отсеков с № 1 по № 23 балластом, сверху устанавливаются съемные листы и производится их приварка к верхнему настилу поворотной платформы. Количество, наименование, насыпной вес заполнителя и схема загрузки должны быть занесены в паспорт машины.

При наличии достаточно мощных грузоподъемных средств на нижнюю раму можно устанавливать поворотную платформу в сборе с площадками. После сборки поворотной платформы и загрузки противовеса дальнейший монтаж экскаватора может вестись с широким совмещением монтажных операций в зависимости от наличия грузоподъемных средств и рабочей силы.

На поворотной платформе собрать и установить механизмы поворота экскаватора. При установке масляных резервуаров заборные отверстия совместить с соответствующими отверстиями в стаканах поворотной платформы. Смонтировать смазку поворотных механизмов; подъемную лебедку, напорную лебедку, строго соблюдая требования по соосности и перекосу валов редуктора и электродвигателей. Раму под электродвигатели и стойку для кожуха муфты приварить по месту. Установить четырехмашинный преобразовательный агрегат и лебедки подъема стрелы.

Смонтировать и закрепить кольцевой токоприемник, магнитную станцию, высоковольтный ящик, компрессорную установку и трансформатор, а в передней части поворотной платформы амортизаторы и кабину машиниста.

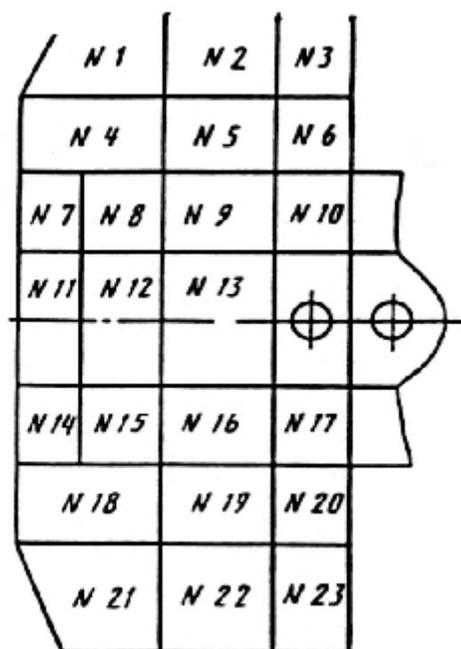


Рис. 11.7. Схема расположения отсеков противовеса

Собрать и вывесить краном (либо двумя кранами) двуногую стойку. Завести задние ноги в соответствующие проушины поворотной платформы и закрепить их полыми пальцами. Пальцы зафиксировать стопорными планками. При этом боковые зазоры между ухом двуногой стойки и проушиной поворотной платформы заложить специальными прокладками. Прокладки прихватить электросваркой. Передние ноги стойки соединить с литыми кронштейнами. Совместить осевые риски на кронштейнах с соответствующими рисками на поворотной платформе и приварить кронштейны.

Произвести монтаж пневмосистемы и разводку электропроводов.

Собрать кузов. На крыше кузова и на поворотной платформе установить и закрыть ограждения и лестницы кузова и площадок. Установить на кузове правый и левый кожухи. Установить раму тельферов.

Смонтировать и закрепить лестницы и площадки на двуногой стойке. Одновременно с этим ведут монтаж рабочего оборудования.

Склепать обе половины нижней секции стрелы, выдержав соосность расточек в пяте стрелы и в голове нижней секции (рис. 11.8).

Выложить шпальную клетку перед экскаватором. Соединить нижнюю секцию стрелы с поворотной платформой. Нижняя секция располагается горизонтально либо с небольшим подъемом к голове. Головная ее часть опирается на шпальную клетку. В местах соединения нижней секции стрелы с поворотной платформой зазоры не допускаются – они должны быть выбраны шайбами.

Присоединить к нижней секции стрелы седловой подшипник в верхнюю секцию с головными блоками. Верхняя секция стрелы также располагается на шпальной клетке. Зазоры в месте соединения нижней и верхней секции стрелы должны быть выбраны шайбами. При установке седлового подшипника выдерживаются осевые зазоры, равные 1 мм, величина которых регулируется прокладками.

Собрать и подсоединить к стреле подвеску стрелы. При сборке подвески стрелы строго следить за выполнением технических требований по контролю равенства длин правой и левой подвесок.

Смонтировать на стреле лестницы и площадки. Установить на нижней секции стрелы кронштейн блока механизма открывания днища ковша. Соединить ковш с рукоятью и подвеской ковша. Канаты лебедок подъема стрелы согласно чертежу надстройки запасовать.

Поднять стрелу и подвести стрелы в рабочее положение. Подъем стрелы необходимо производить после регулировки и пуска всех механизмов на поворотной платформе.

Завести рукоять в седловой подшипник, перед ее установкой в седловой подшипник необходимо предварительно снять напорный блок и задние упоры, а затем их вновь установить на место.

Собрать механизм открывания днища ковша. Запасовать подъемные, напорный и возвратные канаты. Перед запасовкой канатов подъемная и напорная лебедки должны быть опробованы.

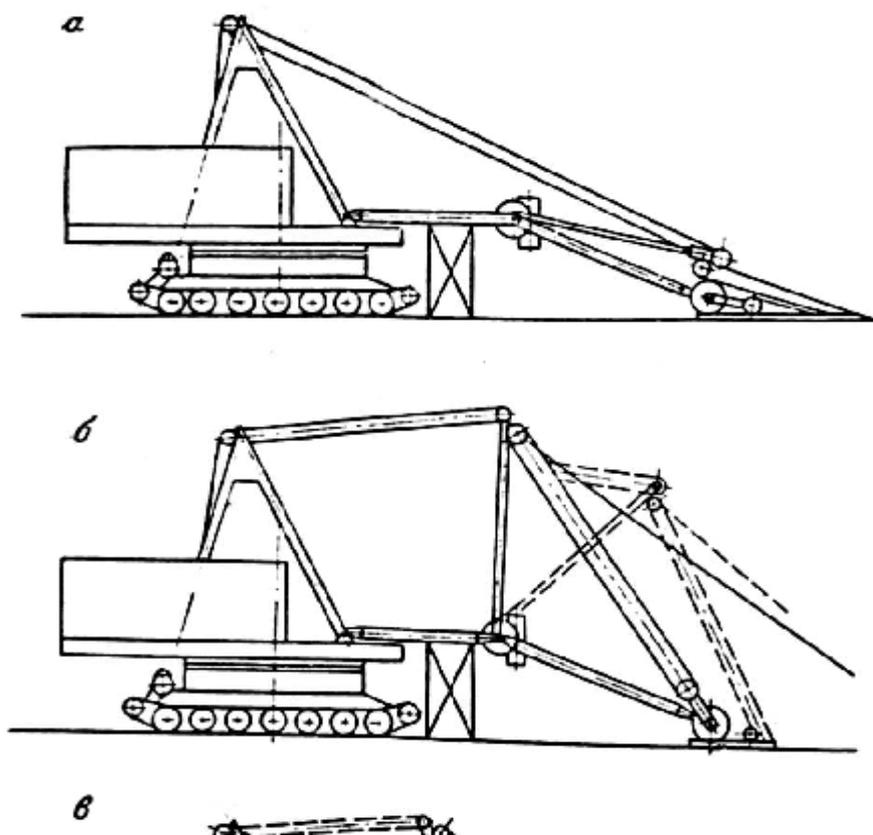


Рис. 11.8. Схема монтажа стрелы:

а – присоединение растяжек к блокам верхней секции и к подкосам;

б – подъем подкосов; в – отрыв нижней части от опорной клетки;

г – постановка на место оси крепления подкосов

При запасовке канатов напорной лебедки следует следить за тем, чтобы напорные канаты крепились непосредственно у редукторов и подводились снизу барабана, а возвратные – крепились на дальних от редуктора концах барабана и подводились сверху. При этом канаты должны быть запасованы таким образом, чтобы при крайних положениях рукояти на барабанах напорной лебедки оставалось не менее 1,7 запасных винта каната, включая и закрепление. Менять местами положение напорных и возвратных канатов запрещается.

Закончить электромонтаж экскаватора.

Произвести смазку всех узлов и механизмов экскаватора. В корпуса редукторов заливается чистое профильтрованное масло. Заполняется маслом система густой смазки.

Наладить электрооборудование в соответствии с инструкцией по наладке электрооборудования экскаватора.

Натянуть гусеничные цепи.

**Монтаж шагающих экскаваторов** осуществляется в следующем порядке. На шпальных клетках монтируют части опорной рамы на болтах с установкой сборочных пробок для точной фиксации конструкций между собой. Раму выверяют и стыки ее склепывают. Особо точно выверяют поверхность под рельсовый круг и зубчатый венец. После завершения клепки рама может быть опущена с помощью гидродомкратов до необходимого для дальнейших работ уровня. С помощью специальных приспособлений собирают зубчатый венец (строго концентрично к центральной цапфе) и фиксируют его приварными упорами, после чего сверлят и развертывают крепежные отверстия под чистые болты. Соединяют сектора нижнего рельса и предварительно крепят его к опорной раме. Проверяют крепление на эксцентричность по отношению к центральной цапфе (допуски на эксцентричность зубчатого венца должны быть не менее 1 мм на 8,5 м длины, рельса – 0,3 мм на 1 м длины). После тщательной выверки рельсовой круг закрепляют окончательно. На нижнем рельсе выставляют части роликового круга, внутренние и наружные обоймы которого скрепляют соединительными накладками, после чего монтируют верхний рельс. Центральную секцию платформы устанавливают на центральную цапфу и опускают на верхний рельс. Монтируют крайние секции. Хвостовую часть поворотной платформы монтируют отдельно на шпалах и единым блоком присоединяют к центральной секции. После выверки собранной платформы производят клепку.

Далее осуществляют укрупненную сборку механизма шагания, после чего их устанавливают на проектные места.

Производят монтаж надстройки, поворотного механизма, преобразовательного агрегата, механизма шагания, кузова и кабины машиниста. Стрелу собирают на опорах в соответствии с проектом монтажных работ. До монтажа стрелы размечают продольную ось экскаватора, устанавливают продольные регистры (пята стрелы при этом опирается на переднюю часть платформы). На стреле закрепляют лестницы, трапы, перила, производят разводку труб. Выбирают слабину вант (натяжение вант осуществляется в тот момент, когда стрела находится на весу в горизонтальном положении). Монтируют стреловую лебедку. После подъема стрелы завершают сборку вспомогательного оборудования, производят окраску экскаватора, наладку механизмов, опробывание и пуск машины в эксплуатацию.

#### **11.4. Пуско – наладочные работы**

**Монтаж и наладка гидросистем.** Трубопроводы высокого давления изготавливают из стали марок Х18Н10Т, ОХ18Н10Т, ОХ18Н12Т. Для изготовления гаек, штуцеров, ниппелей применяют сталь марок 45, 1Х17Н2, 30ХГСА, 1Х12Н9Т, ЭН481 и др.

Поступившие на монтаж трубы подвергают контрольной проверке по соответствующим техническим условиям. Труба не должна терять герметич-

ность и давать выпуклости. Испытательное давление должно превышать рабочее 3 – 4 раза, для особо тяжелых условий – в 6 – 8 раз.

Соединение отрезков труб при наращивании трубопроводов высокого давления осуществляется с помощью ниппелей, штуцеров и накидных гаек, а также пайкой токами высокой частоты (ТВЧ), газовой и аргонно-дуговой сваркой. На сварку поступают отрезки труб после гибки. Трубопроводы из стали марок 20А и Х18Н10Т подвергают отжигу в течение 1 ч перед сваркой при температуре 680 °С, после сварки при  $t = 850$  °С. После сварки удаляют остатки флюса, трубы промывают горячей водой ( $t = 60 \div 80$  °С), затем в течение 10 минут обрабатывают 2 – 3 % водным раствором хромового ангидрида (80 °С) и просушивают теплым воздухом.

Повторная гибка и сварка труб, гофры, утоньшение стенок труб, искажение сечения не допускаются.

Радиус изгиба трубы не должен быть менее 3,5 внешних диаметров трубы. Применять в качестве заполнителя при гибке труб песок не рекомендуется, так как он может остаться в трубе и привести к порче всю гидросистему. Наиболее распространенными заполнителями являются канифоль, легкоплавкие металлы, рабочая жидкость под давлением.

Нагревом ТВЧ можно уменьшить радиус гибки труб до 1 – 1,5 внешних диаметров. Горячая гибка позволяет снизить в 2 – 3 раза упругие деформации, овальность, утончение стенок (не более 10 – 15 % толщины).

Окалину с труб удаляют травлением в соляной кислоте после обезжиривания в растворе щелочи.

Трубы из полимерных материалов применяют в гидросистемах с давлением не более 1,5 – 2 МПа. В гидросистемах с номинальным давлением свыше 16 МПа применяют соединения труб с вращающимся кольцом. В качестве эластичных соединений применяют резинотканевые рукава.

При монтаже и эксплуатации не допускается скручивание рукавов.

Гидроарматуру, маслопроводы и аппараты монтируют согласно схемам и чертежам. При этом необходимо тщательно очистить все элементы гидросистемы от консервационной смазки, ржавчины и прочих загрязнений, не допускать попадания пыли, песка, брызг от электросварки, опилок, стружки, остатков уплотнительных набивок. Разрезку труб осуществляют таким образом, чтобы торцы были перпендикулярны к оси трубы. После предварительной сборки трубы посекционно разбирают, чистят металлическим ершом, обстукивают, продувают сжатым воздухом, промывают соляной кислотой. При монтаже трубопроводов допускается подгонка труб, приварка ниппелей и патрубков с резьбой, подгибы с нагревом. Резьбовые части труб не должны иметь вмятин и нарушений ниток резьбы.

Готовые трубопроводы промывают рабочей жидкостью (участками длиной до 10 – 30 м). Время промывки составляет 25 – 30 мин, скорость движения жидкости при промывке должна превышать в 1,5 – 2 раза рабочую скорость (но не более 10 м/с).

Сборку гидросистем рекомендуется производить в закрытом помещении с избыточным давлением  $(5 \div 7) \cdot 10^3$  Па, создаваемым циркуляционным очистителем воздуха.

Собранные гидросистемы осматривают и проверяют качество сборки подвижных деталей – движение золотников, кранов, вентилях, валиков управления, переключателей должно происходить легко, без заеданий и задержек.

По окончании общей промывки гидросистем проводят испытание ее рабочей или менее вязкой жидкостью при избыточном давлении регламентированном техническими условиями завода-изготовителя.

После контроля гидросистемы на герметичность приступают к обкатке ее вхолостую. Предохранительный клапан регулируют на рабочее давление. Длительность обкатки 2 – 10 ч. После обкатки гидросистему испытывают при рабочих нагрузках с целью выявления возможных неисправностей, соблюдая при этом меры безопасности.

После завершения монтажа гидросистемы составляют акт, в котором указывают выполнение работ по травлению труб и очистке гидроарматуры, марку залитого масла, отсутствие механических примесей воды в масле.

При пуске гидросистемы необходимо: открыть воздухоспускные пробки в цилиндрах и трубопровода, открыть краны и вентили в системе фильтрации, заполнить гидросистему профильтрованной рабочей жидкостью (об окончании заполнения должны свидетельствовать утечки жидкости из воздухоспускных пробок), постепенно закручивая винт разгрузочного клапана поднять давление до номинального значения, осмотреть все соединения маслопроводов, проверить работу приборов и рабочих цилиндров сначала при ручном управлении, затем при автоматическом.

Первую замену масла в гидросистемах механизмов передвижения экскаваторов производят через 3 месяца эксплуатации, последующие – при отрицательных результатах химического анализа масел (через год). Анализ масел на отсутствие механических примесей и воды производят один раз в три месяца. При заливке масла из бочки верхний слой тщательно очищают от загрязнений, заправочный шланг очищают фильтром.

**Монтаж и наладка пневмосистем.** Пневмосистема состоит из одного – двух компрессоров производительностью 8 – 10 м<sup>3</sup>/ч, воздухосборника, фильтра, водомаслоотделителей, обратных клапанов, контрольно-предохранительной аппаратуры, сети трубопроводов, выполненных из стальных бесшовных труб и гибких рукавов – шлангов, распределительных вентилях, электромагнитных, запорных и спускных клапанов. К контрольно-предохранительной аппаратуре относятся редуционный и предохранительный клапаны, реле давления, манометры и приборы автоматического управления работой компрессора.

Герметичность неподвижных соединений пневматических устройств обеспечивают сваркой, пайкой, склеиванием, герметиками, красками, раз-

вальцовкой. Разборные неподвижные соединения уплотняют кольцами, манжетами, прокладками, лентой ФУМ, набивками.

Большая часть деталей пневмосистемы поступает на монтаж укомплектованными узлами и сборками. Однако в процессе монтажа иногда выполняют резку, гибку труб, резьбу на концах трубопроводов, сварку и крепление к металлоконструкциям машин. Поступившие на монтаж детали и аппараты пневмосистемы проходят ревизию и расконсервацию. В процессе монтажа производится разноска труб по месту установки и укладка их на кронштейны, скобы. Для гибки труб при необходимости изготавливают шаблоны из проволоки диаметром 3 – 5 мм.

Перед сборкой изготовленные участки трубопроводов простукивают и продувают сжатым воздухом. Соединения с конической резьбой должны затягиваться с подмазкой, с цилиндрической резьбой – при наличии суриковой подмазки с подмоткой из пакли. Гибкие резинотканевые шланги крепят на концевых ниппелях стяжными хомутами. Для облегчения насадки шлангов на наконечники внутреннюю поверхность шланга покрывают тальком.

Проверку герметичности соединений проводят сжатым воздухом с предварительным обмыливанием мест соединений. В собранном воздухопроводе потеря давления от утечки воздуха не должна превышать 0,1 МПа в течение 1 ч при неработающих потребителях.

Испытания элементов пневмосистемы, выполненные по техническим условиям завода – изготовителя, оформляют актом. Трубопроводы и аппаратуру пневоситсем окрашивают в голубой цвет.

**Испытание машин.** После завершения монтажа и наладки машина принимается в эксплуатацию рабочей комиссией. Рабочая комиссия проверяет соответствие параметров машины технической документации, качество изготовления и монтажа узлов. Все выявленные недостатки отмечаются в протоколе с указанием сроков их устранения и исполнителей.

В процессе приемочных испытаний определяют техническую и эксплуатационную производительность машины, устанавливают соответствие технических и эксплуатационных параметров нормам Госгортехнадзора, промышленной санитарии и пожарной безопасности.

Завод-изготовитель представляет приемочной комиссии программу и методику испытаний, карту технического уровня, техническую документацию на изготовление, монтаж, эксплуатацию и ремонт изделия, паспорт машины, документы об укомплектованности ее инструментом и приспособлением.

Проводят хронометражные наблюдения за работой машины в нормальных эксплуатационных условиях.

Оборудование после монтажа и наладки механизмов подвергают испытаниям; на холостом ходу для проверки работы всех узлов и механизмов машины; при нормальном рабочем режиме в течение 72 ч бесперебойной работы на рабочих площадках.

При испытаниях контролируют приборами величины стопорных токов согласно инструкциям по наладке конкретной машины.

Для приработки механизмы машины следует обкатать при пониженной нагрузке (50 % от номинальной) в течение первых трех смен, затем в течение 15 – 20 смен машину эксплуатируют в нормальных условиях с тщательным ежедневным осмотром механизмов.

После завершения приработки производят дополнительную регулировку механизмов, заменяют масло в редукторах (с предварительной промывкой передач), обновляют густую смазку в узлах.

Протокол испытаний экскаватора оформляют на основании протоколов, составленных на отдельные механизмы.

### **Вопросы для контроля**

1. Назовите виды монтажной документации.
2. Как и чем оборудуются монтажные площадки?
3. Какие графики для монтажа оборудования Вы знаете?
4. Для каких целей строятся сетевые графики?
5. Какие инструменты и приспособления применяются при монтаже узлов и деталей?
6. Для каких целей производят базирование?
7. Что предусматривает оптико-геодезический метод монтажа?
8. Правила выполнения центровки валов.
9. Как производят сборку резьбовых соединений?
10. Назовите виды неподвижных соединений.
11. Как производится сборка неподвижных соединений?
12. Для каких целей применяются подвижные соединения?
13. Каковы способы монтажа подшипников качения и зубчатых передач?
14. Приведите порядок монтажа экскаваторов типа «механическая лопата».
15. На основании каких документов производится монтаж шагающих экскаваторов?
16. Какие виды работ осуществляются при монтаже и наладке гидросистем?
17. Как производится монтаж пневмосистем?

## Глава 12. ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И ЭКСКАВАТОРОВ

### 12.1. Общие положения

При эксплуатации горного оборудования детали, сборочные единицы, агрегаты и механизмы могут иметь или приобретать различные виды повреждений и отказов. Меняются размеры, структура, свойства поверхностных слоев. Характер изменения зависит от рода трения, условий нагружения, наличия смазки, абразивных составляющих и т.д.

Все детали карьерных экскаваторов по условиям работы можно разделить на 7 групп:

1 – детали, не испытывающие нагрузок, но подверженные старению (тепловая и коррозионная среда) и теряющие свои физические свойства от длительности эксплуатации экскаватора – резиновые уплотнения окон кузова и кабины машиниста, тепловая изоляция и линолиум пола кабины машиниста, изоляция электропроводов и кабелей и др.;

2 – детали, испытывающие постоянные (статическое сжатие) и переменные нагрузки, подверженные старению (коррозионная среда), механическому изнашиванию, а также теряющие свои физические свойства от длительности эксплуатации экскаватора – упругие уплотнения (резиновые манжеты, кольца), картонные и паранитовые прокладки, эластичные элементы муфт, сальниковые и войлочные уплотнения и др.;

3 – детали, не испытывающие нагрузок (или нагрузки малые) и пассивные к окружающей среде – вспомогательные устройства, крышки, люки, лабиринтные кольца и др.;

4 – детали, испытывающие значительные знакопеременные нагрузки (не превышающие расчетные), подверженные усталостным разрушениям локального характера и влиянию низких температур (ниже – 30 °С) окружающего воздуха, - рама поворотной платформы, рама опорная, металлоконструкция стрелы и надстройки, опорный башмак;

5 – детали, испытывающие постоянные и знакопеременные нагрузки и подверженные различным видам механического изнашивания (усталостные, абразивные, пластическая деформация) – практически почти все основные детали рабочих механизмов и устройств экскаватора (шестерни, валы, барабаны, корпуса редукторов и подшипников, траверсы, блоки, обоймы, канаты, полумуфты);

6 – детали, испытывающие знакопеременные ударные нагрузки и подверженные гидро- или газообразному изнашиванию, - детали цилиндров и элементы гидropневматической системы;

7 – детали, испытывающие значительные ударные нагрузки, превышающие порой расчетные и подверженные интенсивному абразивному изнашиванию (износ в абразивной горной массе) усталостным разрушениям и пластическому деформированию, - ковш и детали упряжи.

Отказы, вызванные конструктивными недостатками машины, нарушениями технологии изготовления, монтажа, ремонта механизмов экскаваторов, резким изменением условий эксплуатации, недостаточной квалификацией машинистов машин, относятся к внезапным отказам, которые практически нельзя предусмотреть. Доля данных отказов составляет около 10 %, и на их ликвидацию расходуется 2,6 – 3 % календарного фонда времени экскаваторов. Основная часть отказов происходит постепенно в результате изменения физико-механических свойств в наружных слоях материала.

Каждый материал в зависимости от своих физико-механических свойств имеет критическую энергию разрушения, по достижению которой он теряет работоспособность. Однако выход из строя детали зависит от многих факторов и поэтому детали с одинаковыми физико-механическими свойствами материала могут быть различными.

Процесс постепенного износа происходит из-за трения. Износ проявляется в виде отделения или остаточной деформации материала.

К допустимым повреждениям относят механохимический износ.

К недопустимым относят схватывание I и II рода, фреттинг-процесс (динамическое окисление), резание, царапанье, усталость при качении, коррозия и смятие.

Если допустимый процесс происходит равномерно, то недопустимый скачкообразно, при достижении некоторых критических условий. Естественно, что важная задача – разработать и осуществить мероприятия, препятствующие возникновению таких условий.

При повреждении или отказе оборудования требуется непосредственно на карьере осмотреть и провести необходимую разборку; осмотреть детали, расположенные рядом, отмечая наличие или отсутствие разрушения или деформации; уточнить условия работы машины, которых произошел отказ; зафиксировать характер разрушения и вид отказа; проанализировать сборочный чертеж с целью проверки правильности сборки и монтажа сборочной единицы; проанализировать схему напряженного состояния детали; полно и точно отметить возможные эксплуатационные причины разрушения (работа машины в несоответствующих условиях, некачественное выполнение работ по техническому обслуживанию, нарушение работы машины, неправильное применение смазки, ее загрязненность, несвоевременная регулировка сборочных единиц).

На основании заключения о причинах повреждения механик карьера разрабатывает рекомендации и мероприятия по устранению и предупреждению подобных дефектов, улучшению конструкции и качества изготовления, восстановления и эксплуатации.

## 12.2. Виды разрушения деталей

При повреждении и отказе деталей чаще всего наблюдается разрушение или деформация деталей.

Процесс разрушения, рассматриваемый на макроуровне – это нарушение сплошности детали, деление ее на две и более части; на микроуровне – трещина в металле, которая нарушила сплошность детали, но не привела к ее разрушению.

Для деталей экскаваторов наиболее характерными видами разрушений являются поломка, износ, деформация.

Поломка – это результат разрушения, заключающегося в разрыве межатомных связей в материале детали, при котором последние разделяются на две и более части с образованием поверхностей раздела, называемых изломами.

Изломы делятся на три вида.

*Вязкий излом* происходит при напряжениях, превышающих предел текучести материала. Ему предшествует пластическая деформация металла под влиянием кручения или изгиба, а иногда вследствие растяжения или сжатия. Излом при этом виде разрушения имеет волокнистое строение со следами сдвига материала. Вязкое разрушение менее опасно, чем хрупкое, так как разрушение детали и поломка оборудования могут быть предупреждены появлением пластической деформации. В результате машину останавливают до поломки детали. Для предупреждения его предпринимают меры: ограничивают перегрузку детали во время работы с помощью муфт, срезных шпилек, детали делают с повышенными механическими свойствами и термически их обрабатывают; увеличивают жесткость деталей; уменьшают рабочие напряжения в детали за счет ориентированного наклепа. Причина вязкого излома – ошибки, допущенные при расчете на прочность, сборке или монтаже машины, или эксплуатации.

*Хрупкий излом* происходит в результате мгновенного приложения нагрузки, концентрации напряжения в опасном сечении, хладоломкости материала. Он протекает без заметных следов пластической деформации и может возникнуть в любой момент. Излом имеет кристаллическое строение.

Хрупкое разрушение характерно для деталей из средне- и высокоуглеродистых сталей, подвергнутых термической обработке и испытывающих ударную нагрузку, напряжения, превышающие предел текучести.

Для повышения сопротивления хрупкому излому применяют следующее: ограничивают перегрузку деталей при работе установкой предохранительных устройств, уменьшают жесткость удара за счет амортизирующих устройств; повышают прочность и пластичность материала деталей.

*Усталостный излом* возникает и развивается в наиболее напряженных поверхностных слоях детали вследствие длительного действия переменных по величине и знаку нагрузок. Чаще всего это происходит при перегрузках и несвоевременной замене деталей. Причиной поломки деталей

является усталостная трещина, которая начинает развиваться в той части поверхности, где действуют растягивающие напряжения, как правило, от какого-либо концентратора напряжений (забоины, риски от обработки и т.д.). Очагов развития усталостной трещины может быть несколько, в связи с чем в изломе можно обнаружить несколько зон усталостного излома.

Типичный усталостный излом имеет две зоны, отличающиеся друг от друга. Зона усталостного разрушения обычно имеет мелкозернистую, блестящую или матовую поверхность, что объясняется результатов взаимодействия поверхностей излома при циклическом нагружении деталей. Поверхность излома второй зоны имеет большей частью кристаллическое строение и все другие признаки хрупкого разрушения.

Деформация материала происходит в результате приложения нагрузки и сопровождается изменением формы и размеров детали. Остаточная деформация появляется при взаимодействии колеса локомотива с рельсом, на круглозвенных цепях конвейера и т.д.

Основными средствами повышения усталостной прочности деталей являются:

- уменьшение величины рабочих напряжений, ограничение перегрузок деталей ее балансировкой, повышением жесткости опор, уменьшения крутильных колебаний, увеличение сечения деталей; устранения прижогов, трещин, микронеровностей, применение методов упрочнения деталей;
- методов термической закалки и термохимической обработки;
- периодическая проверка и подтягивание болтов и шпилек, подверженных действию переменных нагрузок.

*Контактная усталость* проявляется в виде усталостного выкрашивания поверхности (питтинга) часто при трении качения, качения со скольжением. Причина питтинга – пульсационное действие контактных напряжений вследствие переменного давления на поверхности.

Кроме этих видов разрушений существует износ деталей вследствие трения и коррозии.

Под износом в машинах понимают механический, коррозионный или тепловой износ в зависимости от причин, вызывающих изнашивание. Часто изнашивание вызывается не одной из названных причин, а сразу несколькими, в связи, с чем износ приобретает сложный характер.

В машинах чаще всего наблюдается механический износ, возникающий под действием сил трения [11].

*Внешнее трение* – явление сопротивления относительно перемещению, возникающему между двумя телами в зонах сопротивления поверхностей по касательным к ним, сопровождаемое выделением энергии. Основной характеристикой внешнего трения является сила трения (сила сопротивления при относительном перемещении одного тела по поверхности другого под действием внешней силы).

В зависимости от характера относительного движения различают: трение покоя, трение движения, скольжения и качения, трение без смазочных материалов и со смазочным материалом.

*Изнашивание* – процесс разрушения материала с поверхности твердого тела или накопления его остаточной деформации при трении, проявляющейся в постепенном изменении размеров или формы тела. Изнашиваемость характеризуется скоростью и интенсивностью.

*Скорость изнашивания* – отношение значения износа к интервалу времени, в течение которого он возникает. Различают мгновенную (в данный момент времени) и среднюю изнашиваемости.

*Интенсивность изнашивания* – отношение величины износа к обусловленному пути, на котором происходило изнашивание, или к объему выполненной работы. Различают мгновенную и среднюю интенсивности изнашивания.

Свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости изнашивания, или интенсивностью изнашивания, называется *износостойкостью*.

Изнашивание, наблюдаемое в результате трения деталей друг о друга, представляет сумму одновременно протекающих процессов истирания, смятия и окисления соприкасающихся поверхностей.

Истирание наблюдается при скольжении одной детали относительно другой. Даже при малых нормальных давлениях между соприкасающимися поверхностями скользящих деталей по истечении некоторого времени на них обнаруживают следы истирания. Истирание металла происходит вследствие того, что соприкасающиеся поверхности деталей всегда имеют шероховатости, препятствующие скольжению одной детали по другой.

Механический износ происходит также при взаимном обкатывании двух поверхностей под нагрузкой, а также вследствие ударов. В результате обкатывания или ударов на поверхности деталей появляются микро- и макротрещины с последующим развитием их на глубину, в дальнейшем происходит выкрашивание и отслаивание металла.

Механическое изнашивание отдельных деталей происходит неравномерно. Детали, соприкасающиеся между собой при большой скорости движения и большой переменной нагрузке, изнашиваются быстрее деталей, работающих в благоприятных условиях работы.

При изготовлении новой машины для подвижных сопряжений устанавливают вполне определенные зазоры, предусмотренные допусками и посадками. Однако всякая машина может работать удовлетворительно и тогда, когда зазоры в сопряжениях несколько превышают принятые при изготовлении, но не должны быть больше предельных приводящих к биению деталей.

*Механическое изнашивание* происходит в результате механических воздействий. К механическому относятся абразивное, гидроабразивное (газоабразивное), эрозионное, гидроэрозионное (газоэрозионное), кавитационное и усталостное изнашивания, а также изнашивание при заеданиях.

*Абразивное изнашивание.* Это механическое изнашивание материала в основном происходит в результате режущего или царапающего действия

твердых частиц, находящихся в свободном или закрепленном состоянии. Абразивными частицами могут быть твердые включения, имеющиеся в материалах детали, продукты износа, а также абразивные частицы, попадающие извне. Интенсивность абразивного изнашивания зависит от физико-механических и структурных свойств деталей, внешней среды и условий работы.

Рост нагрузки приводит к пропорциональному увеличению интенсивности изнашивания.

При достижении нагрузки некоторого критического значения процесс изнашивания замедляется и протекает по линейному закону. Эта закономерность нарушается при динамических нагрузках.

При абразивном изнашивании возможны следующие разрушения: металл пластически деформируется; металл пластически не деформируется, но с поверхности происходит скалывание частиц; металл пластически деформируется и отделяется стружка.

Абразивному изнашиванию подвергаются зубья ковшей, режущие кромки рабочих органов, зубчатые передачи, подшипники, оси, валы, детали гусениц, решетки, шнеки и т.д.

*Смазка* имеет огромное значение в уменьшении износа горных машин и оборудования и деталей. Правильный подбор смазочных материалов и установление рационального режима смазки трущихся пар повышают срок их службы, и наоборот, неправильная смазка вызывает заедание, поломки и аварии.

На величину износа и коэффициент трения оказывают влияние вязкость, маслянистость, состав и температура смазочного вещества, скорость движения трущихся поверхностей, удельное давление, материал деталей и чистота обработки трущихся поверхностей. С точки зрения состояния поверхностей и режима смазки различают следующие виды трения скольжения: жидкостное, полужидкостное, граничное, полусухое и сухое.

*Жидкостное трение* происходит тогда, когда движущиеся поверхности полностью разделены сплошным слоем смазочного материала, поступающего между трущимися поверхностями при помощи принудительной подачи масла в зазор. Толщина масляного слоя измеряется сотыми иногда десятыми долями миллиметра.

*Полужидкостное трение* занимает промежуточное положение между жидкостным и граничным трением, при полужидкостном трении масляный слой несет основную нагрузку, но полностью не предохраняет трущиеся поверхности от непосредственного контакта.

Полужидкостное трение неизбежно связано с усилием износа трущихся поверхностей и его стремления избежать. Неполная жидкостная смазка встречается при малой относительной скорости трущихся поверхностей, большом зазоре, высокой температуре и т.д.

Подшипники скольжения работают в полужидкостном трении при пуске и остановке.

*Граничное трение* происходит, когда трущиеся поверхности разделяются тонким слоем смазки (менее 10 мк). При граничном трении важное значение имеет не вязкость масла, а маслянистость, т.е. способность масла образовывать на трущихся поверхностях прочную адсорбированную пленку, которая предупреждает возникновение сухого трения.

*Полусухое трение* возникает, когда адсорбированная пленка частично разрывается и происходит граничное и сухое трение. При этом повышается износ деталей. Полусухое трение происходит в редукторах горных машин, когда в смазку попадают частички угля и породы. Для бесперебойной работы машины необходимо производить регулярную смазку машины и следить за качеством масла.

*Сухое трение* происходит при относительном движении твердых несмазанных поверхностей (скольжения бандажа по рельсам, цепей по решеткам и звездочкам в скребковых конвейерах). Особенно опасен процесс изнашивания, который сопровождается заеданием.

В результате гидроабразивного воздействия на поверхностный слой детали происходит интенсивное изнашивание путем резания, подобно шлифованию. Одновременно с этим абразивные частицы вызывают усталостные явления в поверхностном слое и приводят к его разрушению.

Этому виду изнашивания подвергаются щелевые втулки уплотнений, крышки и корпуса углесосов трубо- и пульпопроводы, насадки гидромониторов, лопасти центрифуг.

*Эрозионное изнашивание* – механическое изнашивание в результате воздействия потока жидкости и газа (вентиляторы, насосы).

*Гидроэрозионное (газоэрозионное) изнашивание* – эрозионное изнашивание в результате воздействия потока жидкости.

*Кавитационное изнашивание* – гидроэрозионное изнашивание при движении твердого тела относительно жидкости, при котором пузырьки газа захлопываются вблизи поверхности, что создает местное давление и температуру.

*Усталостное изнашивание* – механическое изнашивание в результате усталостного разрушения при повторном деформировании микрообъемов материала. В результате длительного воздействия на детали повторно-переменных нагрузок, превышающих предел текучести металла, происходит многократная пластическая деформация поверхностных слоев, приводящая к образованию углублений, впадин. Усталостному изнашиванию подвержены подшипники качения, шестерни, шатуны, полуоси, коленчатые валы и т.д.

*Изнашивание при фреттинге* – механическое изнашивание соприкасающихся тел при малых колебательных относительных перемещениях.

*Изнашивание при заедании* – изнашивание в результате схватывания, глубинного вырывания материала, переноса его с одной поверхности на другую и воздействия возникающих неровностей на сопряженную поверх-

ность. Изнашивание при заедании характерно для гильз, поршней, колец, подшипников скольжения, зубьев и зубчатых колес и т.д.

**Коррозионно-механическое изнашивание** происходит в результате механического воздействия, сопровождаемого химическим и электрическим взаимодействием материала со средой. К ним относятся окислительное изнашивание и изнашивание при фреттинг-коррозии.

*Окислительное изнашивание* – вид коррозионно-механического изнашивания, при котором основное действие оказывает химическая реакция материала с кислородом или окружающей средой.

*Изнашивание при фреттинг-коррозии* – вид коррозионно-механического изнашивания соприкасающихся тел при малых колебательных относительных перемещениях. Наблюдается у посадочных поверхностей шестерен, в болтовых и заклепочных соединениях и др.

К изнашиванию под действием электрического тока относится *электроэрозионное изнашивание* поверхности в результате воздействия разрядов при прохождении электрического тока.

*Износ* – результат изнашивания, определяемый в установленных единицах длины, объема, массы и др. Износ может быть естественным и преждевременным, предельным, допустимым и местным.

*Предельный износ* соответствует предельному состоянию изнашиваемого объекта или его составной части.

*Допустимый износ* – значение износа, при котором изделие сохраняет работоспособность. Допустимый износ меньше предельного.

Критерии, по которым устанавливаются предельные износы, определяют предельные размеры деталей, делятся на технические и количественные критерии, позволяющие определять значения предельных износов деталей на основании повышения интенсивности изнашивания и возникновения отказов. Предельные износы деталей при этом определяют с учетом их прочности, характера и величины действующих нагрузок, условий трения и смазок.

Качественные косвенные критерии позволяют определять предельные износы деталей по ухудшению качества работы сборочных единиц, агрегатов и машин (износ зубчатых колес передач вызывает само включение и самовыключение машин) [26].

Основными отказами, снижающими работоспособность экскаваторов, являются отказы механической части машин. Так, на механическую часть карьерных экскаваторов, работающих в целом по Росуглю приходится 62 – 65 %, по предприятиям СУЭК Владивостокского филиала 68 – 71%.

Основными видами отказов являются усталостный износ, ударный излом, деформация деталей, ослабление крепления и посадок деталей неподвижных соединений.

Причинами возникновения основных отказов являются отсутствие методов и аппаратуры контроля износа деталей, нехватка фирменных запасных частей, низкое качество ремонта, а самое главное использование экскаваторов с истечением срока службы.

### **Вопросы для контроля**

1. Что вызывает постепенные износы?
2. Назовите основные виды разрушения деталей.
3. Как происходят изломы?
4. От каких параметров зависит изнашивание?
5. Какие виды изнашивания характерны для экскаваторов?

## Глава 13. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ ЭКСКАВАТОРОВ

Длительная и надежная работа горных машин возможна только при условии систематического и качественного проведения мероприятий по ТО и ремонту.

ТО производится в течение всего периода эксплуатации горного оборудования и предназначено для обеспечения исправности или только работоспособности машин до очередного ремонта.

Ремонт может производиться в случае, если дальнейшая эксплуатация машины оказывается невозможной из-за изношенности, или заблаговременно, не дожидаясь выхода ее из строя.

В первом случае ремонт имеет вынужденный характер и называется *ремонт по потребности*. Во втором случае целью ремонта наряду с восстановлением технического состояния машины является предупреждение неожиданного отказа в работе. Поскольку ремонт производится заблаговременно, когда степень износа машины еще не исключает возможность ее работы, он может планироваться. Такой ремонт называется *планово-предупредительным (ППР)*. Плановым, потому что поддается планированию и производится в плановом порядке, а предупредительным, – потому что его выполнение предупреждает неожиданный выход оборудования из строя и резкое ухудшение его состояния в результате износа механизмов.

*Под системой ППР* понимают совокупность организационных и технических мероприятий по уходу, надзору за правильной эксплуатацией и ремонту оборудования, направленных на предупреждение преждевременного износа узлов и деталей с целью обеспечения работоспособности горного оборудования в течение заданного периода времени при минимальных затратах труда и материальных средств.

Основным нормативно-техническим документом, определяющим систему технического обслуживания и ремонта горно-шахтного оборудования, является «Положение о планово-предупредительном ремонте оборудования открытых горных работ на предприятиях угольной промышленности СССР». Утверждено 28 февраля 1990 г.

Положением о ППР устанавливаются: виды и регламенты ТО и плановых ремонтов; номенклатура основной нормативно-технической документации, необходимая для планирования ремонтных нормативов; принципы организации смазочно-эмульсионного хозяйства; принципы организации учета и движения оборудования; методы учета и контроля за соблюдением действующих правил и норм по ТО, ремонту и эксплуатации горного оборудования.

Основными нормативно-техническими материалами, определяющими порядок проведения ТО и текущего ремонта, является эксплуатационная документация. А основными нормативно-техническими материалами, уста-

навливающими технологию производства капитального ремонта, является ремонтная документация, разрабатываемая заводами-изготовителями.

Системой ППР предусматриваются следующие методы ремонта: послеосмотровый, периодический, стандартный.

*При послеосмотровом методе* план ремонта составляется на основе сведений о состоянии оборудования, полученных путем его осмотра. При осмотре устанавливается характер требуемого ремонта (текущий, капитальный), сроки его выполнения и примерные объемы. Интервалы, через которые должны выполняться ремонты, их содержание и объем заранее не планируются. Планированию подлежат лишь интервалы между осмотрами.

Недостатком этого метода является то, что оценка состояния машины, сроки и объемы ремонтов зависят от субъективных особенностей лиц, производящих ремонт. Кроме того, затруднительно планировать ремонты на длительные сроки, так как заранее неизвестно время остановки машины, объем ремонта, потребность в запасных частях, материалах и инструментах.

Метод послеосмотрового ремонта целесообразно применять для эпизодически используемого и мало загруженного оборудования, особенно когда отсутствует достаточно точный учет отработанного времени или выполненных объемов работ.

*Метод периодических ремонтов* заключается в том, что очередные осмотры и ремонты производят в заранее установленные сроки с учетом работы оборудования и его состояния.

При этом осмотры проводят не для выполнения необходимого ремонта и установления его вида, как в предыдущем случае, а для выявления деталей, подлежащих ремонту, замене с целью заблаговременного изготовления новых и выполнения профилактического ремонта. При этом методе ремонта планированию подлежат продолжительность интервалов между ремонтами, последовательность чередования определенных их видов и объем ремонтных работ, который определяют путем оценки ремонтной сложности объекта. Содержание ремонтов не регламентируется. Подлежащие при их выполнении работы определяются состоянием оборудования. Следовательно, при этом методе также невозможно заранее точно спланировать потребность в запасных частях, материалах, хотя ориентировочно такие данные можно применять на основании предыдущего ремонта машин.

Названный метод широко применяется для машин, работающих при переменных режимах и условиях эксплуатации.

*При стандартном методе* плановые ремонты проводят в определенные, заранее установленные сроки с принудительной заменой при каждом ремонте определенных деталей независимо от их состояния. Планированию подлежат продолжительность межремонтных периодов, объемы и содержание ремонтных работ. Недостатком метода является его высокая стоимость, вызванная тем, что замена деталей производится при невырабо-

танном ресурсе. Для внедрения метода необходимо знать точные ресурсы всех элементов горных машин.

Метод стандартных ремонтов целесообразно применять для машин, работающих при установившемся режиме, бесперебойность работы которых имеет особенно важное значение для предприятия (шахтные подъемные машины, вентиляторы главного проветривания, насосы главного водоотлива и др.).

*Ремонт горного оборудования без разборки.* Последние десятилетия во всех промышленно развитых странах повышен интерес к тенденциям развития исследований в области трения, изнашивания и смазки деталей и механизмов. С развитием техники становится ясно, что стали и чугуны не идеальны как материалы для массового производства машин и механизмов, особенно для изготовления трущихся деталей. Машины и механизмы, изготовленные из сплавов на основе железа, имеют значительный вес, подвержены коррозии, недостаточной износостойкости. Они при эксплуатации нуждаются в охлаждении и смазке.

Сегодня на отечественном рынке появились многочисленные присадки, улучшающие свойства применяемых масел, выравнивающие дефекты микрорельефа трущихся поверхностей. Применение таких присадок при классическом способе борьбы с трением, использованием «масляного клина» в зоне трения, приводит к существенному уменьшению износа. Основным недостатком технологии с использованием присадок является постоянное их присутствие в местах трения, причем в достаточной концентрации. Постоянное поддержание концентрации присадок в системе подачи масла приводит к тому, что в процессе эксплуатации продукты износа трущихся поверхностей и присадок постепенно уменьшают проходное сечение маслопроводов, что приводит к тому, что в процессе эксплуатации продукты износа трущихся поверхностей и присадок постепенно уменьшают проходное сечение маслопроводов, что приводит к снижению подаваемых в зону трения объемов масла и увеличению износа.

Практика показала, что масла, присадки, модификаторы и кондиционеры металла не предотвращают контакта «металл-металл». Все масла и добавки быстро деструктируются и загрязняются, теряя при этом свои пленкообразующие свойства. В процессе деструкции масел и добавок образуются химические соединения, вредные для конструкционных материалов, поэтому в инструкциях по эксплуатации машин и механизмов определен срок замены масел. Невыдерживание регламентов по замене масел приводит к преждевременному выходу из строя машины или узла. Таким образом, добавление присадок в масла лишь притормаживает процесс износа пар трения, по существу не восстанавливая технических характеристик агрегата.

До настоящего времени проблема преждевременного износа машин осталась не решенной. Изготовитель техники предписывает небольшой

срок моторесурса, и то при выполнении довольно сложных инструкций по эксплуатации и ремонту.

Но уже сейчас стали и чугуны пытаются заменить на новые конструкционные материалы: пластмассы, сплавы на основе алюминия, керамики, металлокерамики и др.

ЗАО «Руспромремонт» (г. Санкт-Петербург) разработало своего рода компромиссную технологию. Для ее осуществления требуется, чтобы детали машин были изготовлены из черных металлов, и тогда на поверхностях трения и контакта стальных и чугунных деталей машин путем добавления в масло специального порошка образуется металлокерамика в виде слоя толщиной до 0,5 – 0,7 мм, который образуется в результате реакции замещения атомов Mg в узлах кристаллической решетки частиц ремонтно-восстановительного состава атомами Fe поверхностного слоя стали и чугуна. Способ образования металлокерамики реакцией замещения объясняет следующие дополнительные свойства:

- одинаковый со сталью коэффициент термического расширения;
- способность противостоять пластическим деформациям и ударным нагрузкам;

- способность обеспечивать «сухое» трение, так как имеет стекловидную структуру, в отличие от пористой структуры традиционной металлокерамики;

- способность увеличиваться в объеме в зависимости от энергии контакта, т.е. не только компенсировать износ, но и оптимизировать зазоры в сопряжениях деталей механизмов.

Все эти свойства делают данную технологию возможной к применению в любых машинах и механизмах, где детали изготовлены из черного металла.

Новейшие разработки специалистов Сибирского государственного университета путей сообщения – универсальные ремонтно-восстановительные составы (УРС) ССРС «АГ» на основе поверхностно-активных веществ и диспергаторов – дают при добавлении в масла совершенно уникальные результаты.

Техническое использование УРС заключается в следующем. В смазочные материалы устройств и механизмов добавляется необходимое количество порошка «АГ» и обеспечивается определенное время работы этих механизмов при штатной нагрузке, после чего смазка с добавлением УРС либо удаляется, либо остается при дальнейшей работе в зависимости от назначения и конструкции механизмов. Под действием механических нагрузок происходит создание металло-органокерамического слоя толщиной 0,05 – 0,07 мм с коэффициентом трения 0,003 – 0,007.

Если условно разделить протекающие процессы на этапы, то можно представить картину следующим образом. За счет высоких абразивных свойств УРС в местах контакта происходит суперфинишная обработка поверхностей трения – очистка нагаров, окислов, деструктурированного мас-

ла. В местах локального контакта в микрообъемах возникают высокие температуры (более  $1000^{\circ}\text{C}$ ), что приводит к иницированию микрометаллургических процессов – микросваривания, микросхватывания, шаржирования. В результате происходит «приплавление» частиц УРС к кристаллической решетке поверхностного слоя металла. Практически одновременно происходит нагартовка несработанных частиц УРС, частиц металла и других продуктов трения в углубления микрорельефа. Поскольку элементы УРС работают как катализаторы, в местах нагартовки создаются условия для активного протекания окислительно-восстановительных процессов. В результате этих реакций происходит диффузия частиц УРС в поверхности трения. Одновременно происходит образование новых кристаллов и наращивание их на кристаллической решетке металла. В дальнейшем эти кристаллы ориентируются вдоль поля трения и срастаются, образуя на всей поверхности пятна контакта непрерывный ряд твердых микрокристаллов.

Все процессы протекают практически одновременно и имеют место до тех пор, пока в носителе не иссякнет «строительный материал» УРС или пока в системе не наступит равновесие (все зазоры будут заполнены или выбраны до оптимальной величины). В конечном счете, оптимизация зазоров в местах контакта определяется конструктивными особенностями самой системы и всего агрегата в целом.

Важным является то, что на поверхности металла наращивается металл-органокерамический слой. Этот слой обладает следующими характеристиками:

*высокой твердостью*, превосходящей по твердости закаленную сталь;

*низким коэффициентом трения*, в 15 – 30 раз меньше, чем сталь по стали;

*термостойкостью*, практически не чувствительной к абразивам и влаге.

Основное качество выращенного слоя в том, что он компенсирует выработку трущихся деталей, т.е. детали восстанавливаются в первоначальных конструктивных размерах и в дальнейшем износ трущихся деталей прекращается. При определенной периодичности обработок составами «АГ» можно добиться эксплуатации деталей без износа.

Ярким примером преимуществ новых технологий служит процесс «холодного» запуска двигателя внутреннего сгорания, когда пары трения уже работают, а масла и присадки к ним еще не поступают. По некоторым оценкам на трение при «холодном» запуске происходит от 50 до 80 % износа двигателя. Кроме того, после обработки агрегатов универсальными ремонтно-восстановительными составами существенно меняется роль масла. Оно уже не выполняет роль эффективного третьего тела в паре трения, а лишь выполняет функцию теплоотвода, поэтому в ряде случаев, когда не слишком нарушаются температурные режимы, агрегаты могут работать

без масла. Систематическое применение УРС позволяет эксплуатировать устройства и механизмы практически без износа и позволяет:

- уменьшить потери на трение и повысить КПД;
- восстановить компрессию и увеличить мощность двигателей внутреннего сгорания, компрессоров;
- снизить расход топлива и электроэнергии на 10-20 %;
- увеличить срок замены масла в 2-3 раза;
- уменьшить уровень вибрации и шума;
- снизить токсичность выхлопных газов в ДВС.

В Дальневосточном регионе данная технология применяется для обработки машин и механизмов в ЗАО «Малые разрезы», ЗАО «Уголь-96», разрезе «Новопокровский», ООО «Приморское монтажно-наладочное управление «Приморскэнергоуголь» (Приморский край) и АО «Ургал-уголь» (Хабаровский край).

Поскольку технология с использованием УРС производится без остановки машины на ремонт и ее разборки, а также при этом не требуются специалисты высокого класса, специальное оборудование и запасные части, то стоимость такого ремонта в 2-4 раза ниже стоимости «традиционного» капитального ремонта.

Применение составов «AG» в промышленности и на транспорте практически не ограничено. Уже сегодня эти технологии применяются при ремонте механизмов и устройств топливно-энергетического комплекса.

В горной промышленности применяется *комбинированная система ТО и ремонта* горного оборудования, состоящая из всех перечисленных выше методов ремонта.

Сущность этой системы заключается в том, что горные машины после определенной наработки подвергаются осмотрам и различным видам ремонтов, периодичность и продолжительность которых определяется ремонтными нормативами с учетом конструктивных особенностей машин и условий их эксплуатации. Перед ремонтом машину осматривают и уточняют объем ремонтных работ. Если при осмотре установлено, что та или иная деталь, которую планировалось заменить при намеченном ремонте, может доработать до очередного планового ремонта, то ее не меняют.

В горно-добывающих отраслях промышленности без оборудования открытых горных работ приняты следующие виды технического обслуживания: ежесменное (ТО – 1), ежесуточное (ТО – 2), еженедельное (ТО – 3), ежедекадное (ТО – 4) и сезонное (СО).

ТО – 1 является основным профилактическим мероприятием, направленным на значительное увеличение срока службы оборудования без ремонта. Оно может проводиться в процессе использования оборудования по назначению в течение рабочей смены, когда осуществляется технологическое регулирование, в период приема-передачи смены или в периоды технологических простоев оборудования. Его проводит экипаж машины. В состав работ входят: наружный осмотр и оценка технического состояния

машины (нет ли явных признаков разрушения деталей, нормален ли уровень смазки в редукторах, нет ли цветов побежалости на деталях, которые подвержены нагреву, находятся ли зазоры и муфты в сборочных единицах в пределах нормы и т.д.) смазка и обтирка и чистка машины, проверка состояния масляных и охлаждающих систем, наблюдение за работой контрольно-измерительных приборов и автоматических устройств, за натяжением канатов, крепежных деталей, проверка действия тормозов и приспособлений для остановки оборудования, регулировка сборочных единиц, крепеж ослабевших болтовых соединений и т.д.

Порядок проведения ТО – 1 предусматривает обязательную организованную передачу оборудования по сменам. Принимая оборудование, машинист экскаватора лично проверяет его состояние. Все замечания и неисправности должны быть зафиксированы в «Журнале приема – сдачи смены» и устранены.

ТО – 2, ТО – 3, ТО – 4 отличаются от ТО – 1 более углубленной проверкой состояния оборудования и большим объемом работ и проводятся экипажем машины с привлечением ремонтных слесарей. При этих видах технического обслуживания выполняется полный объем ТО – 1 и дополнительный в зависимости от вида обслуживания: работы по углубленной диагностике, замене смазки, регулировке тормозов, клапанов компрессоров, проверке надежности крепления узлов и деталей механизмов, ослабление которых может вызвать остановку; замена сменного оборудования, поврежденных деталей, простейшие огневые и электросварочные работы.

СО предназначено для подготовки машины к соответствующей сезонной эксплуатации. Периодичность СО – два раза в год. Конкретные сроки устанавливаются конкретно для каждого предприятия.

СО включает следующие виды работ: проверку состояния масел и смазок, путем взятия проб, замену минеральных масел и смазок гидравлических жидкостей в зависимости от сезона, сезонную наладку электрической части машины; проверку уплотнений кузова экскаватора и дверей, проверку работы и наладку нагревательных устройств.

СО проводит экипаж машины с привлечением ремонтных слесарей.

Результаты проведения всех видов ТО должны быть занесены в «Журнал приема – сдачи смены» с отметкой о том, кто исполнил указанные работы.

*Текущие ремонты (Т1, Т2, Т3, Т4)* являются основным видом ремонта, направленным на восстановление работоспособности оборудования, систематически проводимые плановые текущие ремонты ГМиО при своевременном и качественном их выполнении обеспечивают безотказную и высокопроизводительную работу оборудования на протяжении всего межремонтного цикла, позволяют долгое время не прибегать к дорогому капитальному ремонту.

Текущие ремонты выполняются теми же силами, что и РО, а также и силами специализированных ремонтных, наладочных, монтажных пред-

приятый производственных объединений и местных подразделений ТО и заводов-изготовителей.

При текущих ремонтах полностью выполняют объем работ по ТО-1, ТО-2, ТО-3, ТО-4, РО и, кроме того, производят промывку и ревизию механизмов, замену быстроизнашивающихся деталей и узлов; выверку и регулировку отдельных механизмов; замену масла в системе смазки; проверку надежности крепления узлов и замену вышедших из строя крепежных деталей.

В зависимости от объема ремонтных работ и продолжительности текущие ремонты подразделяются на *первый текущий Т1, второй текущий Т2*, и т.д., чем больше индекс, присвоенный ремонту, тем выше его сложность.

Текущие ремонты производят в сроки, предусмотренные графиком ППР, разрабатываемым на основании действующей нормативной документации. Текущие ремонты производятся в соответствии с инструкциями, разрабатываемыми для отдельных видов оборудования, включают в себя перечень узлов и деталей, заменяемых при ремонте, порядок и сроки, технические средства и правила безопасности.

Текущие ремонты производят двумя способами: *заменой изношенных деталей и заменой целых агрегатов*.

При первом способе ремонта изношенные детали заменяются новыми. Этот способ наиболее простой, но он не обеспечивает необходимого качества ремонта, особенно оборудования для очистных и подготовительных работ.

При агрегатном способе отдельные составные части сборочных единиц ГМиО, содержащие изношенные детали, подлежат восстановлению, осуществляемому, как правило, силами ремонтных предприятий. После ремонта эти детали и узлы устанавливают на следующую ремонтную машину. Такой метод называется *обезличенным*.

Восстановление деталей во время ремонта и установка их на машину, с которой они были сняты (*не обезличенный ремонт*), проводятся только в исключительных случаях, когда объем работ по восстановлению детали мал по сравнению с объемом работ по ее замене и гарантировано высокое качество восстановления.

При невозможности производства текущего ремонта отдельных видов оборудования путем замены изношенных деталей или узлов допускается производство полнокомплектной замены. Замененное полнокомплектное оборудование выдается для осуществления ремонта. Каждый текущий ремонт обычно заканчивается наладкой и опробованием машины в работе.

После проведения текущих ремонтов горное оборудование испытывается, и в их паспортах делаются отметки о выполненных ремонтах.

Наладки и ревизии, как правило, выполняются силами специализированных предприятий в соответствии со специальными инструкциями, в

которых указываются способы выявления и устранения скрытых дефектов, порядок установления оптимального режима работы.

*Капитальный ремонт* ГМиО является восстановительным ремонтом, при котором должны быть восстановлены первоначальные качественные характеристики оборудования. В состав работ при капитальном ремонте входят:

- полная разборка машины;
- мойка и дефектоскопия деталей;
- замена и ремонт всех составных частей, в том числе и базовых;
- сборка машины;
- регулировка и обкатка.

Капитальный ремонт производится рудоремонтными заводами.

Помимо рассмотренных ремонтов часть предприятий производят аварийные ремонты, необходимость в которых возникает в результате аварийных повреждений ГМиО. По объему аварийные ремонты могут носить характер текущих или капитальных ремонтов.

### **Вопросы для контроля**

1. Что понимается под системой ППР?
2. Какими документами определяется система технического обслуживания и ремонта?
3. Назовите виды ремонтов, входящих в систему ППР.
4. Как выполняется ремонт горного оборудования без разборки?
5. В чем заключается комбинированная система ТО и ремонтов?
6. Что представляет собой техническое обслуживание экскаваторов?
7. Какие виды работ входят в текущие ремонты?

## Глава 14. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

*Техническая диагностика* – отрасль знаний, исследующая техническое состояние объекта диагностирования и проявления технических состояний, разрабатывающая методы их определения, а также принципы построения и организацию использования систем диагностирования. Объектами диагностирования являются изделия и их составные части.

*Техническое диагностирование* – процесс определения технического состояния объекта диагностирования с определенной точностью.

В процессе эксплуатации непосредственное измерение структурных параметров (зазоров, износов) без их разборки затруднительно, поэтому часто пользуются косвенными методами, связанными с техническим состоянием объекта. В качестве диагностических параметров могут быть использованы параметры рабочих процессов (мощность, тормозной путь, и др.), сопутствующих процессов (шум, вибрация, изменение температуры и др.), а также геометрические величины биения, люфты, зазоры и др.).

Для определения технического состояния ГМиО могут быть использованы следующие методы: электрический, магнитный, магнитографический, индукционный, люминесцентный, цветной, акустический, виброакустический, рентгеновский, ультразвуковой и др.

*Электрический метод* используют для непосредственного замера токов, напряжений, мощности, сопротивлений и др. электрических параметров. С его помощью определяют режим работы электрических схем, угловые и линейные зазоры, крутящие моменты, температуру и давление. Измерение производят стрелочными амперметрами, вольтметрами, измерительными мостами, датчиками измерений, перемещений, крутящих моментов и давлений, а также терморпарами и тахогенераторами.

*Магнитный метод* диагностирования предназначен для контроля деталей, изготовленных только из ферромагнитных материалов (сталь, чугун). Сущность его заключается в том, что при пропускании магнитного потока магнитная проницаемость будет не одинаковой и произойдет изменение величины и направления магнитного потока.

Контролируемую деталь, после ее очистки от гари, масла, коррозии и шлифовки царапин, намагничивают или в присутствии намагничивающего поля покрывают слоем ферромагнитного порошка, измельченного до размеров зерна 1-10 мкм, в виде суспензии с маслом или керосином (1:30, 1:50). Под действием магнитного поля частицы порошка располагаются по направлению силовых линий, образуя узоры, расположение которых показывает места скрытых дефектов.

В зависимости от предполагаемой ориентации дефектов применяют циркулярное, полюсное или комбинированное намагничивание.

*Циркулярное намагничивание* обеспечивает выявление дефектов, расположенных под любым углом к оси детали, а *полюсное* – только поперечных дефектов. *Комбинированное* – сочетает оба предыдущих способа.

При комбинированном способе (рис. 14.1) деталь замыкает магнитную цепь ярма электромагнита. К намагничивающей обмотке подводится постоянный ток. Продольное намагничивание детали создается за счет магнитного потока, направленного вдоль детали. Кроме того, по двум изолированным друг от друга частям ярма к детали подводят постоянный или переменный электрический ток. Он создает круговой поток, направление силовых линий которого перпендикулярно к направлению основного потока и намагничивает деталь в разных направлениях, определяя продольные и поперечные дефекты.

Ток для намагничивания получают от сварочных трансформаторов или аккумуляторов. Намагничивают детали последовательно 2-3 раза с продолжительностью 1,5-2 секунды.

При контроле деталей с отверстием (втулки, подшипники качения и др.) ток пропускается через медный стержень, вставляемый в отверстие детали. После контроля детали промывают в чистом трансформаторном масле и размагничивают, применяя разные способы. Деталь считается размагниченной, если к ней металлический порошок не пристает [20].

Магнитный способ дефектоскопии широко распространен благодаря своей простоте и надежности результатов.

Его недостатки: большой расход порошка при работе и необходимость размагничивания детали.

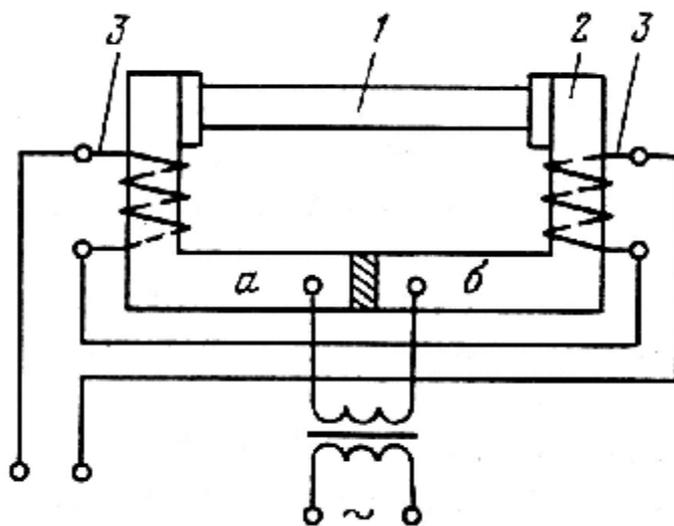


Рис. 14.1. Схема намагничивания изделия комбинированным способом:  
1 – деталь; 2 – ярмо; 3 – обмотка

Для магнитной дефектоскопии промышленность выпускает ряд приборов, которыми оснащают ремонтные предприятия. К ним относятся переносные дефектоскопы ПДМ-3М, УМДЭ-2500, МЭД-2 и другие.

*Магнитографический метод* первичной информации основан на регистрации магнитных полей, рассеяния с использованием в качестве индикатора ферромагнитной пленки, плотно прижатой к контролируемому мес-

ту. После записи на магнитную пленку устройствами типов ПНУ, ДМ, НК запись считывают магнитографическими дефектоскопами МД-8 и др.

*Индукционный метод* индикации первичной информации основан на регистрации магнитных полей рассеяния различных по величине или фазе индуцируемой ЭДС. Индикатор дефектов (рис. 14.2) состоит из гальванометра (1) с присоединенными к нему катушками (2) и (3), имеющими противоположно намотанные витки. При медленном перемещении прибора над намагниченной деталью (4) в результате пересечения катушками силовых линий, отклоняющихся вследствие скрытого дефекта (5), в катушках наводится ЭДС.

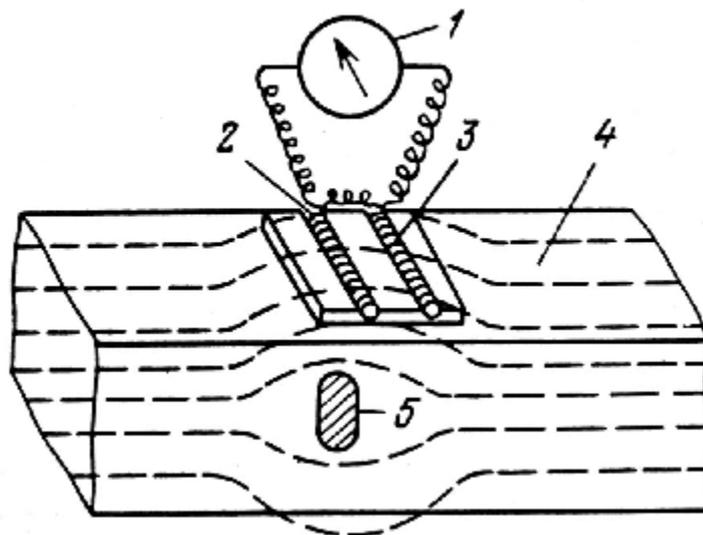


Рис. 14.2. Схема индукционного искателя дефекта:  
1 – гальванометр; 2, 3 – катушки; 4 – деталь; 5 – дефект

Электромагнитные методы применяются для массового контроля однотипных деталей, так как не определяют характера возможного скрытого дефекта в детали. Для случаев, когда необходимо установить форму, применяют электромагнитный метод в комбинации с другими методами.

*Люминесцентная дефектоскопия* позволяет выявлять поверхностные дефекты деталей изготовленных из магнитных и немагнитных материалов.

Процесс люминесцентной дефектоскопии заключается в следующем: очищенную и обезжиренную деталь, подлежащую контролю, погружают на 10 – 15 минут в ванну с флюоресцирующей жидкостью. В качестве флюоресцирующей жидкости применяют смесь: 0,25 л трансформаторного или вазелинового масла, 0,5 л керосина, 0,25 л бензина и 0,25 л красителя дефектоля зелено-золотистого цвета.

Флюоресцирующая жидкость, обладающая хорошей смачиваемостью, проникает в трещины, раковины или поры и там задерживается. После удаления остатков жидкости с поверхности детали и просушивания на нее наносят мелкий сухой порошок силикогеля и выдерживают в течение 5 – 30 ми-

нут. Микропористый порошок силикогеля оседает в трещинах и вытягивает из них флюоресцирующую жидкость. При облучении ультрафиолетовым светом порошок начинает светиться ярким зелено-желтоватым светом, показывая места расположения трещин.

Для люминесцентной дефектоскопии нашли применение дефектоскопы ЛД-2, ЛД-3, а также стационарный дефектоскоп ЛДА-3 (рис. 14.3). Люминесцентные дефектоскопы отличаются высокой производительностью и простотой изготовления. Ими можно выявить трещины толщиной менее 5 мкм, расположенные в любых направлениях.

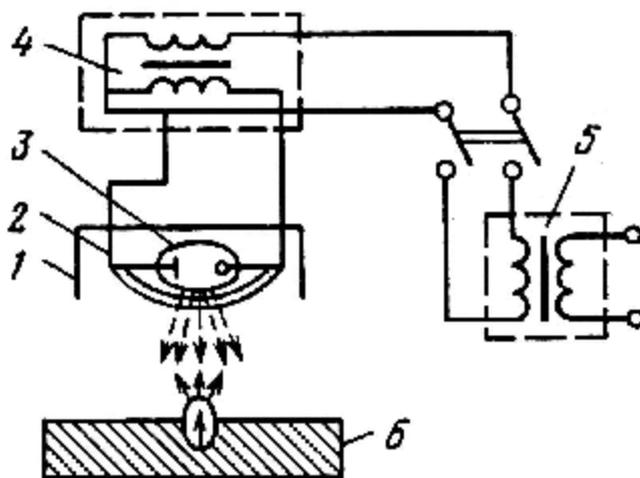


Рис. 14.3. Схема люминесцентного дефектоскопа:  
1 – рефлектор; 2 – светофильтр; 3 – ртутно-кварцевая лампа; 4 – высоковольтный трансформатор; 5 – силовой трансформатор; 6 – деталь

*Цветной метод* – наиболее простой и доступный для ремонтных предприятий различной мощности. На контролируемую обезжиренную поверхность наносят состав керосина, трансформаторного масла, скипидара и красителя. Этот раствор хорошо проникает во все трещины, имеющие выход на поверхность. Спустя 5 – 10 минут раствор смывают и наносят белую глину, которая впитывает раствор и показывает рисунок трещин. Цветной метод применяют для выявления трещин не менее 20 – 30 мкм в деталях из магнитного и немагнитного материала.

*Акустический метод* диагностики основан на измерении уровней шума и вибрации, создаваемых машиной. Для оценки уровня шума применяют шумометры, стетоскопы, вибраторы, спектрометры звуковых частот и др.

*Ультразвуковой метод* дефектоскопии основан на том, что ультразвуковые колебания распространяются в металле в виде направленных пучков и отражаются от дефектного участка детали (трещины, непровары, раковины и т.п.), нарушающего сплошность детали. Это происходит в результате резкого изменения плотности среды и акустического сопротивления.

Этот метод используется для обнаружения дефектов в магнитных и немагнитных материалах на глубине от нескольких миллиметров до 10 метров.

Ультразвуковая дефектоскопия может осуществляться несколькими методами.

*Теневой метод* основан на регистрации волн, прошедших сквозь контролируемый объект. В дефектоскопе, работающем на этом принципе, дефект определяется вводом импульса в деталь, установленную между излучателем и приемником (рис. 14.4). При включении ультразвукового генератора (1) на излучающую пьезоэлектрическую пластину (2) подается переменная разность потенциалов, и пластинка начинает колебаться. Колебания в виде ультразвуковых волн передается в деталь (3). При обнаружении дефекта ультразвуковые волны, посланные излучателем, отразятся от дефектов и не попадут на приемную пьезоэлектрическую пластинку (4). В результате этого за дефектом образуется звуковая тень, на приемной пластинке не возникнет пьезоэлектрических зарядов и на приборе (5) не будет показаний. Это указывает на наличие дефекта.

Недостаток этого метода – необходимость доступа к детали с двух сторон.

*Эхо-метод* основан на регистрации волн, отраженных от дефекта или поверхности раздела двух сред. В импульсном дефектоскопе (рис. 14.5), работающем на этом принципе, импульсный генератор (1) возбуждает пьезоэлектрический излучатель (2). От него в деталь (3) поступают ультразвуковые колебания в виде коротких импульсов. При достижении противоположной стороны детали или встречи на пути дефекта (8), импульсы отражаются от них и возвращаются к приемному щупу (4), где вызывают механические колебания. Электрические сигналы появляющиеся в пьезоэлектрическом щупе, усиливаются усилителем (5). Одновременно с генератором (1) включается генератор развертки (7) на экране трубки (6) и появляется начальный импульс в виде вертикального пика и при наличии в детали дефекта отражается от него. Импульс данного сигнала появляется в виде развертки луча на расстоянии  $L_2$  от первого импульса. Расстояние  $L_1$  соответствует глубине залегания дефекта, а  $L_2$  – толщине детали. В отличие от теневого импульсный метод позволяет обнаружить дефекты только с одной стороны детали.

Промышленность выпускает ультразвуковые дефектоскопы: УДМ-1М, УДМ-3 и др. Наибольшее распространение получил дефектоскоп УЗД-7Н, позволяющий контролировать детали толщиной от 10 мм до 3 м обоими способами.

Скрытые дефекты в деталях обнаруживают просвечиванием рентгеновскими или гамма-лучами. Известны два метода гамма-дефектоскопии: фотографический и ионизационный. Первый отличается наглядностью и объективностью результатов, второй имеет преимущества в скорости контроля.

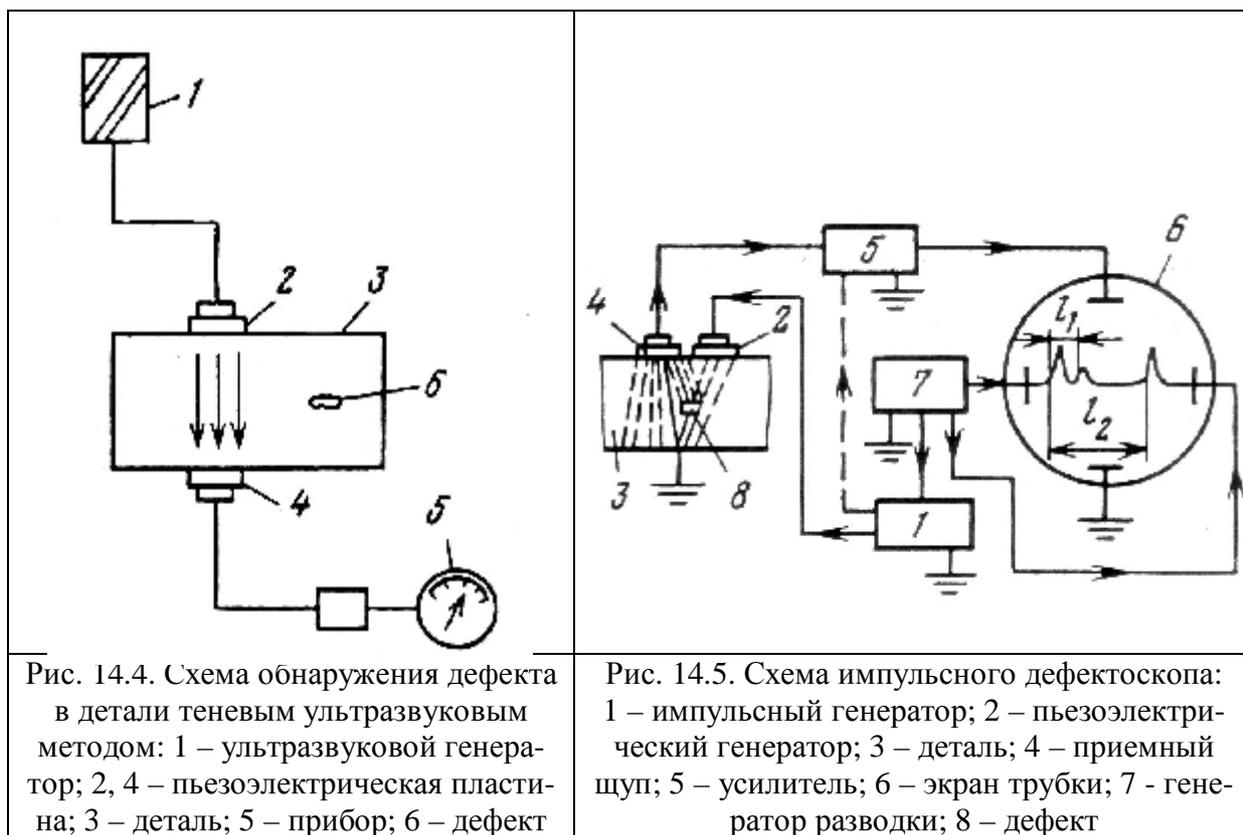


Рис. 14.4. Схема обнаружения дефекта в детали теньвым ультразвуковым методом: 1 – ультразвуковой генератор; 2, 4 – пьезоэлектрическая пластина; 3 – деталь; 5 – прибор; 6 – дефект

Рис. 14.5. Схема импульсного дефектоскопа: 1 – импульсный генератор; 2 – пьезоэлектрический генератор; 3 – деталь; 4 – приемный щуп; 5 – усилитель; 6 – экран трубки; 7 – генератор разводки; 8 – дефект

*Рентгеновский метод* дефектоскопии заключается в просвечивании на пленку или экран контролируемого места рентгеновскими лучами. Метод основан на том, что различные среды поглощают рентгеновские лучи по-разному и поэтому на экране или пленке различная разность свечения. Экран прибора освещен ярче при пересечении лучами пустот, чем сплошность тела. Толщина просвечиваемого тела зависит от величины напряжения. Просвечивание рентгеновскими лучами применяется для контроля качества сварных швов и литья из легких сплавов. В настоящее время выпускаются переносные рентгеновские установки РУП-120-5-1, РУП-200-5-1, РУП-150-10-1, РУП-20-20-5-, РУП-400-5-1- и др.

Для гамма-дефектоскопии используются радиоактивные изотопы кобальта-60, тантала-182, цезия-137 и др. Наибольшей проникающей способностью обладают лучи кобальта-60.

Гамма-дефектоскоп (рис. 14.6) состоит из свинцового контейнера (1) с препаратом, помещенным в закрытый корпус (2), залитый свинцом (3). Управление перемещением препарата дистанционное – рукояткой (6) через канат (4), помещенный в металлическую трубку (5). Горные машины и оборудование можно диагностировать на передвижных установках и на стационарных постах. Так, для крупногабаритного оборудования, а также стационарных машин целесообразно использовать передвижные или переносные диагностические приборы. Для контроля ответственных сборочных единиц с небольшим сроком службы желательна установка постоянных диагностических приборов.

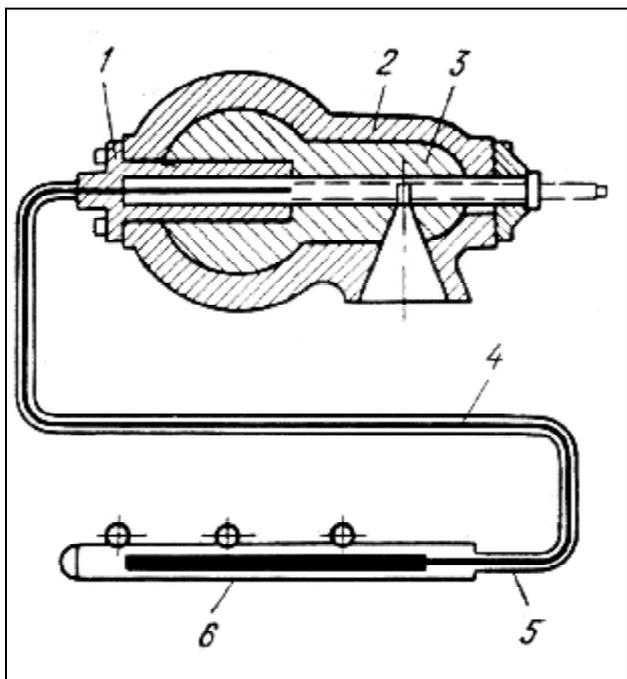


Рис. 14.6. Схема гамма-дефектоскопа:  
1 – свинцовый контейнер; 2- корпус; 3 –  
свинец; 4 – канат; 5 – трубка; 6 – рукоятка

Проверку состояния элементов металлоконструкций и сварочных швов выполняют с помощью ультразвуковых дефектоскопов УЗД-7Н, ДУК-13 и др.

Состояние тросов резинотросовых лент контролируют с помощью прибора УКДТ-1. Он позволяет определить место, степень и характер повреждения тросовой основы ленты по всей ее длине.

Принцип действия прибора заключается в непрерывной магнитной дефектоскопии тросов ленты по всему сечению.

Для контроля стальных канатов в диапазоне 12,5 – 47,5 мм используют дефектоскоп стальных канатов МД-8. Он предназначен

для автоматического счета числа оборванных внутренних и наружных проволочек по всей длине каната. Принцип действия прибора основан на использовании полей рассеивания, возникающих у оборванных проволочек при продольном намагничивании каната.

По конструкции дефектоскопические приборы делятся на механические, электрические, электронные.

Средства диагностирования включают в себя: устройства, задающие тестовый режим; датчики; усилители т.д.

### Вопросы для контроля

1. Дайте определение технической диагностики.
2. Назовите методы определения внешних дефектов металлических деталей?
3. Какие способы определения внутренних дефектов Вы знаете?
4. Приведите методы одновременного определения внешних и внутренних дефектов.

## Глава 15. РЕМОНТ ЭКСКАВАТОРОВ

### 15.1. Техническая документация на ремонт

*Под производственным процессом ремонта горных машин* понимают комплекс работ, выполняемый в определенной последовательности на рабочих местах, в результате которого изношенным машинам и агрегатам, сборочным единицам и деталям возвращается работоспособность и восстанавливается ресурс, утраченный в процессе эксплуатации.

Производственный процесс капитального ремонта машин состоит из подготовительных, основных и заключительных операций.

К *подготовительным операциям* относится перемещение машин на ремонтную площадку или ее доставка на ремонтное предприятие.

*Основными операциями*, выполняемыми при ремонте, являются: приемка машин в ремонт; их наружная очистка и мойка; разборка машин на агрегаты, сборочные единицы, детали; мойка деталей; контроль и дефектоскопия деталей; изготовление или ремонт (восстановление) деталей; ремонт металлоконструкций, гидравлического, электрического оборудования; комплектовка сборочных единиц и агрегатов; общая сборка; регулировка и наладка; испытание вхолостую и под нагрузкой; устранение недостатков, обнаруженных при испытании, и сдача машины на эксплуатацию.

При выполнении работ по ремонту карьерных экскаваторов необходимо руководствоваться следующими документами:

- примерным объемом работ;
- содержанием специфических работ по видам ремонта применительно к агрегатам отдельных видов;
- технологическим процессом капитального ремонта;
- ремонтной ведомостью;
- формами по учету, отчетности и планированию ремонтов.

Технологический процесс ремонта, разработанный для определенных агрегатов, регламентирует выполнение конкретных операций, но не может учесть полный объем ремонтных работ, который определяется для каждой машины в отдельности. Даже две однотипные машины, работающие в разных условиях, требуют разного объема и содержания ремонта. На основе накопленного опыта на предприятиях разрабатываются технологические карты ремонта отдельных агрегатов. Эта карта по сути – типовая для данного предприятия, в ней учтены применяемые приспособления, квалификация ремонтного персонала и особенности цеха. Конкретный объем работ указывается в ремонтной ведомости. Ремонтная ведомость позволяет установить: объем работ, подлежащих выполнению после установки агрегатов; количество деталей и узлов, необходимых для проведения ремонта; трудоемкость ремонта и численность ремонтного персонала для выполнения предусмотренного объема работ; распределение работы между исполнителями.

На основе ремонтной ведомости составляется оперативный график выполнения ремонта и проект организации работ, с целью рациональной организации и выполнения ремонта в целом и целесообразной последовательности проведения работ на отдельных участках.

Передача экскаватора в капитальный ремонт производится на основании договора, заключаемого между заказчиком и ремонтным предприятием. На экскаваторе, поставляемом в ремонт, заказчик передает ремонтному предприятию: заказ на ремонт; предварительную ремонтную ведомость; технический паспорт экскаватора и паспорт на комплектующие изделия; заказ на модернизацию; прочую документацию согласно положению о планово-предупредительных ремонтах.

В ремонтной ведомости заказчик обязан указать все видимые дефекты, а также узлы, требующие замены. Базовые детали, которые ремонтное предприятие не в состоянии изготовить, при необходимости их замены предоставляет заказчик.

Поступающий в ремонт экскаватор должен быть полностью укомплектован, т.е. находиться в рабочем состоянии со всеми установленными агрегатами, узлами и деталями. Экскаватор необходимо очистить от грязи и смазки. После приемки экскаватора ремонтное предприятие составляет окончательную ведомость и согласовывает ее с заказчиком. Капитальный ремонт экскаватора считается законченным при выполнении всего объема работ, предусмотренного по капитальному ремонту экскаватора и ремонтной ведомостью. Сведения о ремонте вносятся в технический паспорт экскаватора. Отремонтированный экскаватор передается заказчику по приемо-сдаточному акту, подписанному представителями ремонтного предприятия и заказчика на основании протокола испытания под нагрузкой.

## **15.2. Демонтаж узлов и сборочных единиц экскаватора**

Демонтаж и разборка механизмов экскаватора производится методами, инструментами и приспособлениями, обеспечивающими разборку без повреждения деталей. Соединения с неподвижными посадками, сохраняющими нормальный натяг, разборке не подлежат, если это не вызвано требованиями ремонта. Разъединение годных деталей при неподвижных посадках должно производиться только гидравлическими или специальными съемниками. В случае невозможности нормально разъединить элементы неподвижной посадки допускается огневая резка или разрушение поврежденной детали.

Полная разборка агрегатов и узлов экскаваторов на отдельные детали для их дефектации производят на участке разборки узлов. Данный участок должен иметь оборудованные рабочие места для узлов различных габаритов. Рабочие места для разборки узлов оснащают: мостовыми и консольными кранами необходимой грузоподъемности; гидравлическим прессами (вертикальными и горизонтальными); комплектом съемников (гидравлических, индукционных или винтовых); переносными домкратами (гидравлическими и винтовыми); гайковертами (электрическими, пневма-

тическими); набором слесарного инструмента; набором торцевых и накладных ключей; корзинами (ящиками) для мелких деталей; верстаками слесарными металлическими с тисками; столами монтажными металлическими; подставками для укладки крупногабаритных деталей; шкафами для хранения инструментов и приспособлений.

Перед началом демонтажа необходимо установить экскаватор в ремонтное положение: опустить стрелу; поднять экскаватор на определенную высоту и установить его на опоры – подставки; выкатить ходовую часть (ходовую тележку) или переместить опорную раму из-под поворотной платформы.

Перед разборкой все составные части, которые могут прийти в движение под действием силы тяжести, срабатывания пружин, должны быть приведены в положение, обеспечивающее безопасное ведение работ. Перед разборкой необходимо слить масло из редукторов и компрессоров, снять трубопроводы, рукава и приборы пневматической и гидравлической систем и системы смазки, предварительно убедившись в отсутствии избыточного давления в системах. На рис. 15.1 представлены схемы строповки отдельных узлов механических лопат.

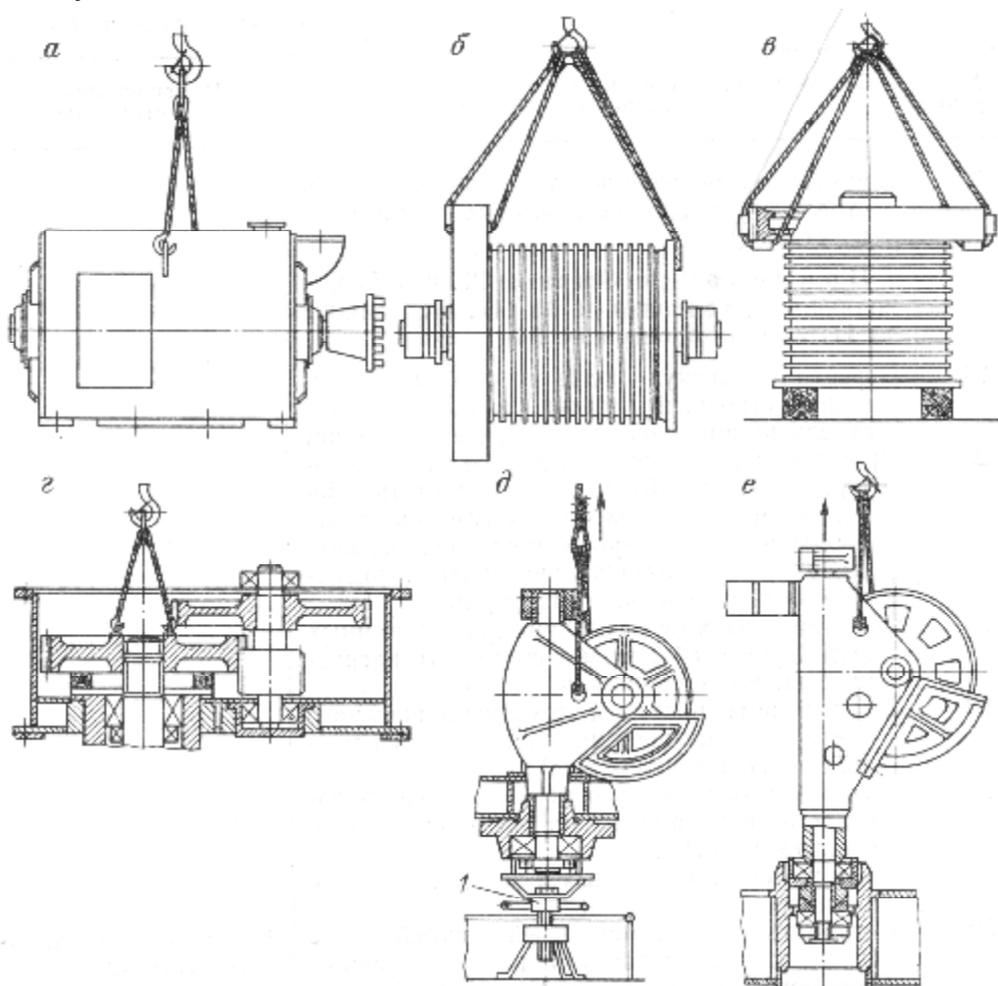


Рис. .15. Схемы строповки узлов механических лопат:

- а – электродвигателя постоянного тока;
- б – барабанов главной лебедки;
- в – барабана главной лебедки экскаватора при вертикальной установке;
- г – зубчатого колеса редуктора поворота;
- д, е – направляющих блоков

Особое внимание следует обращать на соблюдение правил безопасности при демонтаже электрооборудования и токоведущих частей экскаватора. Порядок разборки, схемы строповки узлов и деталей, типы строповочных устройств и грузозахватных приспособлений определяются Руководством по капитальному ремонту конкретных экскаваторов.

Разборку узлов производят только после снятия стопорных деталей – хомутов, торцевых шайб и штифтов и т.д.

Разъединение деталей при неподвижных посадках осуществляют на стационарных горизонтальных гидравлических прессах усилием 6300 – 14000 кН, при усилении распрессовки до 3000 кН используют гидравлические пресс – съемники в комплекте со сменными захватными устройствами (рекомендуются пресс – съемники с усилием 1000, 1500 и 2500 кН).

Заедания, возникающие вследствие коррозии деталей, затрудняют разборку машины. Для облегчения отвинчивания болтов, гаек, винтов и снятия шпилек, их смачивают керосином.

Иногда для откручивания гайки нагревают, но не свыше 300 °С, иначе появится окалина способствующая заеданию, нагревать гайку необходимо быстро, чтобы не успел нагреться болт. Для вывинчивания сломанных болтов и шпилек применяют различные способы, в том числе высверливание.

Детали шатунно – поршневой группы, винтовые пары компрессоров, детали гидравлических и пневматических приборов необходимо маркировать по месту установки.

Перед разборкой зубчатых передач следует маркировать валы по исходному положению их относительно опор корпуса редуктора, а также по принадлежности к редукторам, если их несколько. При явно выраженных дефектах деталей (в случае выбраковки) маркировку не производят.

При съеме резинотехнических уплотнителей, сальников и прокладок необходимо соблюдать осторожность и предохранять их от повреждения.

При распрессовке подшипников качения нельзя допускать приложения усилия через тела качения. Усилие должно передаваться через внутреннее кольцо – при посадке на вал и через наружное – при посадке в корпус. Исключение составляет распрессовка бракованных подшипников. Усилие распрессовки должно прилагаться симметрично по окружности кольца и перпендикулярно к его торцу.

Распрессовку конических и сферических подшипников с валов допускается производить методом индукционного нагрева внутреннего кольца до 95° – 120 °С в течение 6 минут. После нагрева кольцо снимают легкими ударами медной кувалды массой 5 кг.

### **15.3. Мойка деталей и узлов**

После разборки машин детали очищают, промывают и обезжиривают. Качество очистки деталей влияет на их восстановление и дефектоскопию. Выбор способа очистки зависит от конфигурации и размеров детали, вида ее загрязнения.

Детали могут быть загрязнены маслами и смазками, углеродистыми отложениями (нагар, лаковые отложения и осадки), продуктами коррозии и накипи, пыле- и маслогрязевыми отложениями.

В качестве промывочных жидкостей применяют керосин, бензин, дизельное топливо или щелочные растворы, которые хорошо смывают масло и грязь, но не оказывают сильного коррозионного действия на металл деталей.

Детали можно промыть различными способами. Самый простой – ручная мойка керосином (бензином, соляром) в открытых ваннах или при помощи волосяных щеток и ветоши. Детали укладываются на деревянную или металлическую решетку, находящуюся на некоторой высоте от дна ванны. В моечном помещении обычно устанавливают две ванны: одна для предварительной промывки, другая – для чистой. Отработанный керосин сливается и заменяется свежим.

Недостатки такой мойки – большой расход моющей жидкости; малая производительность процесса; огнеопасность; воздействие на кожу мойщика и отравляющее воздействие паров керосина (бензина, соляра) на дыхательные органы работающего персонала даже при наличии хорошей вентиляции.

Поэтому более удобным и дешевым является способ мойки в специальных выварочных ваннах раствором щелочей (3-4 % раствором каустической соды) при температуре  $t = +80-90^{\circ}\text{C}$ . Понижение концентрации и температуры раствора снижает качество очистки деталей. Высокая концентрация вызывает коррозию. Очистку поверхностей деталей от пыли не жирового происхождения производят струей воды  $t = +70-80^{\circ}\text{C}$ .

Для очистки деталей от сложных загрязнений применяют синтетические моющие средства МЛ-51, МЛ-52, МС-5, МС-8 содержащие в своем составе кальцинированную соду, триполифосфат натрия, металлосиликат натрия, жидкое стекло, смачиватель Дб и др. Эти растворы малотоксичны и позволяют организовать работу моечных установок по замкнутому циклу с многократным использованием моющих растворов.

Мойку деталей производят ручным или механизированным способами. Лучшее качество обеспечивается при промывке в специальных выварочных ваннах. Процесс очистки длится 6 – 20 часов.

Мелкие детали опускают в щелочной раствор в проволочных корзинах.

После мойки деталей щелочным раствором детали промывают горячей водой для удаления остатков щелочи и тщательно просушивают сжатым воздухом.

Для мойки деталей механизированным способом применяют моечные машины камерного типа, циклического действия одно-, двух-, и трех камерные и конвейерного типа – непрерывного действия. В них на грязевый слой кроме физико-химического действия моющей жидкости оказывает влияние удар струи.

Процесс очистки в машине протекает последовательно: сначала детали обмывают горячим содовым раствором ( $t = +75-90^{\circ}\text{C}$ ), а затем горячей водой ( $t = +80-90^{\circ}\text{C}$ ) под давлением 0,2 МПа. Время мойки зависит от конфигурации и размеров детали, но не превышает 6 минут.

Двух- и трехкамерные машины отличаются от однокамерных тем, что детали обмывают моющим раствором последовательно в двух (трех) камерах. Для этого детали устанавливаются на конвейер со скоростью движения полотна 0,1- 0,2 м/мин, температура моющих растворов  $t = +80-90^{\circ}\text{C}$ . Вибрационная мойка ведется в закрытых машинах различными органическими растворителями и эмульсиями. При этом механическое воздействие на очищаемые поверхности деталей усилено вибрацией. Появляющиеся при этом турбулентные потоки жидкостей способствуют повышению качества очистки.

Для мойки подшипников применяют керосин в смеси с маслом. Удаление нагара и накипи производится в солевых растворах следующего состава: едкий натр 60-65 %, азотнокислый натрий 30-35 %, хлористый натрий 5 %.

Виброабразивная очистка деталей заключается в том, что контейнер с мелкими деталями помещают в моющую жидкость с мелкозернистым составом и с помощью вибратора посылают жидкости колебательные движения амплитудой 2 мм и частотой 25 Гц. При этом зерна абразива разрушают твердые загрязнения на деталях.

Пневматический способ очистки деталей применяют для удаления ржавчины, нагара, старой краски и т.п. При этом поверхность детали обрабатывают металлическим песком под действием сжатого воздуха.

Для очистки и мойки деталей гидро- и пневмоаппаратуры, подшипников качения используют моечные установки с ультразвуковой очисткой. В качестве ультразвукового элемента применяют магнитострикционные преобразователи, соединенные с генераторами высокочастотных колебаний (частотой 19-20 МГц). Под действием колебаний в жидкости образуются области сжатия или разряжения, а при определенной интенсивности – кавитационные явления, связанные с образованием и захлопыванием воздушных пузырьков. Происходящие при этом микрогидравлические удары разрушают трудно отделяемые масляные загрязнения, превращая их в эмульсию, которая легко удаляется с поверхности. Промышленность выпускает несколько типов установок для ультразвуковой очистки деталей: УЗВ-16, УЗВ-17, УЗВ-18 и др. В них используются подогретые до  $t = + 60^{\circ}\text{C}$  щелочные растворы. Продолжительность очистки деталей 0,5-4 минуты. После очистки детали промывают в горячей и холодной воде и покрывают смазкой.

#### 15.4. Методы измерения, контроль и дефектоскопия деталей

Контроль за всеми деталями машин производят для установления степени износа деталей и возможности их дальнейшего использования при ремонте. Для правильной оценки состояния деталей и предотвращения возможных ошибок по каждому типу машин должны быть составлены технические условия на контроль и диагностику деталей, способы измерения допустимых износов и установление дефектов и предельных размеров деталей для выбраковки.

Дефектоскопию деталей выполняют для определения их технического состояния возможностей дальнейшего использования [12].

В процессе дефектоскопии все детали делятся на три группы:

- годные детали, размеры которых соответствуют допускаемым величинам, их отправляют на сборку или склад готовых деталей;
- детали, имеющие износ и повреждения, которые могут быть восстановлены, их отправляют на ремонт;
- детали забракованные, восстановить их невозможно и нецелесообразно.

Все детали маркируют: годные – белой краской; подлежащие ремонту – зеленой; негодные – красной. Контроль деталей производят работники ОТК или дефектоскописты.

Контроль деталей производят: наружным осмотром, простукиванием, прослушиванием, при помощи соответствующих инструментов и приспособлений, приборов и специальной аппаратуры.

Контроль деталей осуществляют в следующей последовательности. Сначала контролируют поверхности, если детали имеют большой износ, дальше их не проверяют. При малом износе (допустимом) проверяют скрытые дефекты различными методами дефектоскопии [14].

Износ зубьев шестерен и колес допускается до размеров, указанных в ТУ. При больших износах они заменяются или восстанавливаются методами бандажирования или ремонтного корригирования.

При наличии трещин, изломов и сколов на зубьях, колеса и шестерни подлежат замене или восстановлению. Заварка трещин допускается только не более, чем на трех зубьях для колес, трещина не должна превышать  $1/2$  длины зуба. При наличии мелких трещин, сколов и выкрашивания в зоне торца зуба допускается выведение дефекта укорочением зуба не более чем на 10 % его длины. Не допускается заострение зуба до величины менее  $0,35\text{ м}$ .

При выкрашивании рабочей поверхности зуба и других нарушениях профиля сверх допустимых норм, колеса и шестерни подлежат замене или восстановлению.

Трещины спиц и дисков (не более одной) зубчатых колес допускается заваривать аустенитными электродами. При трещинах, проходящих через ступицу и венец, колесо подлежит замене.

Восстановление зубчатой пары методом ремонтного корригирования рекомендуется, если срок службы пары не менее 4 лет и ранее при изго-

товлении коррегирование не проводилось. После замены зубчатых пар передачи подлежат испытанию (обкатке) вхолостую и под нагрузкой.

Износ валов и осей допускается до размеров, установленных в ТУ. К недопустимым видам износа валов и осей относятся: трещины, изгиб, скручивание, износ посадочных шеек под подшипники качения.

Местные задиры глубиной до 0,7 мм, не превышающие 2 % поверхностей шеек валов и осей, подлежат зачистке шлифовальной машинкой.

Следы коррозии на шейках допускается выводить шлифполотном (кроме шеек под подшипники качения), в зоне галтелей – кольцевой проточкой  $R = 6 \div 10$  мм, шириной 6 – 12 мм и глубиной не более 1,2 мм.

Изношенные посадочные шейки под подшипники качения рекомендуется восстанавливать электромеханическим способом или автоматической наплавкой под слоем флюса в один слой.

Запрещается восстанавливать наплавкой оси головных блоков, подвесок стрелы, надстройкой стрелы, крепления вант и подвесок.

Для вспомогательных устройств и механизмов тормозов износ осей (пальцев) диаметрами от 30 до 70 мм допускается до 0,3 мм, диаметрами от 40 до 70 мм – не более 0,2 мм. При больших износах оси заменяют.

При сверхдопустимом износе шпоночных пазов валов допускается фрезеровать новый паз со смещением под углом 90 и 45° в соответствии с размерами по чертежу. Смещение при двух пазах не допускается.

При сверхдопустимом износе ручьев барабана необходимо вывести следы износа проточкой в пределах допустимой ширины, а профиль ручья необходимо проверить шаблоном.

Износ посадочных отверстий барабанов не допускается. Восстановление отверстий ремонтными втулками производится в соответствии с ТУ.

При сверхдопустимом износе ручья блоки и полублоки  $\varnothing \geq 900$  мм подлежат замене. Ручьи блоков  $\varnothing < 900$  мм допускается восстанавливать наплавкой с последующим отжигом. Профиль ручья проверяют шаблоном и затем производят поверхностную закалку. Местный излом стенки ручья длиной до 300 мм блока  $\varnothing = 1400$  мм допускается восстанавливать только в одном месте приваркой вставки и зачисткой заподлицо с исходным контуром ручья.

Блоки – отливки из серого чугуна восстановлению наплавкой не подлежат.

При наличии трещин, проходящих через обод, блоки и полублоки бракуются.

Изношенные отверстия под призонные болты или втулки барабанов восстанавливаются обработкой на ремонтный размер. Допускается выполнять новые отверстия разового применения, симметрично смещенные от старых отверстий. Старые отверстия при этом не заправляются.

Задиры, неравномерный износ рабочей поверхности тормозных шкивов выводятся проточкой с уменьшением наружного диаметра обода на 6 мм.

Не допускаются: трещины тормозных шкивов, лент, тормозных колодок, полумуфт и обойм; износ тормозных и фрикционных накладок свыше 60 % толщины, надрывы, расслоения и выкрашивание их; износ посадочных отверстий полумуфт. Посадочные отверстия полумуфт восстанавливают наплавкой и расточкой до размеров по чертежу.

При сверхдопустимом износе кулачков ведущих колес их восстанавливают наплавкой в соответствии с ТУ, профиль проверяют шаблоном.

Повреждение рабочей поверхности обода опорных и натяжных колес допускается восстанавливать проточкой в пределах допустимых размеров, затем проводят поверхностную закалку. Профиль обода колеса проверяют шаблоном.

Трещины ходовых колес и износ посадочных отверстий натяжных и опорных колес не допускаются.

Посадочные отверстия восстанавливают наплавкой и расточкой до размеров по чертежу.

Подшипники качения при превышении допустимых радиальных зазоров подлежат замене. Осевое биение подшипников (кроме конических) не должно превышать двукратных значений допустимого радиального зазора.

Подшипники качения, имеющие трещины, выкрашивание беговых дорожек колец свыше 20 % рабочей поверхности внутренних колец, подлежат замене.

При разрушении и износе 25 % сепараторов подшипники бракуются.

Износ посадочного отверстия подшипников не допускается.

Износ по наружному диаметру кольца подшипников диаметром 160 – 500 мм допускается не более 0,04 мм, при больших диаметрах – до 0,08 мм.

При износе подшипников скольжения сверх допустимых размеров, втулки и вкладыши подлежат замене. При наличии трещин подшипники бракуются. Отдельные задиры (не более 2 % рабочей поверхности) допускается выводить зачисткой шлифмашинки. Задир не более трех и глубиной до 3 мм разрешается выводить кольцевой проточкой при внутреннем диаметре втулки выше 330 мм.

Задир и неравномерный износ шайб трения допускается выводить проточкой в пределах 8 % от их номинальной толщины.

При наличии падения давления и снижения объемной подачи гидравлические насосы подлежат замене.

При наличии остаточных деформаций более 10 % и трещин пружины подлежат замене.

При износе и порывах упругие уплотнения (манжеты, кольца, воротники) подлежат замене.

Уплотнения из войлока, прокладки из технического картона или паранита при ремонте подлежат замене.

Ремонт рычагов, проушин, тяг, скоб, планок и др. деталей производится по мере их износа или деформации.

## Вопросы для контроля

1. На какие операции делится производственный процесс капитального ремонта?
2. Кто готовит документы для проведения капитального ремонта?
3. Как производится передача экскаватора в ремонт?
4. Какие инструменты, приспособления и механизмы применяются при демонтаже?
5. Назовите методы рассоединения отдельных узлов.
6. Как осуществляется мойка узлов и деталей?
7. Какие операции используются при восстановлении деталей?

## Глава 16. МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЭКСКАВАТОРОВ

Под восстановлением деталей понимается такая последовательность операций, в результате которых возобновляется годность деталей на уровне исходной. Восстановление деталей экскаваторов почти всегда экономически выгодно, чем изготовление новых.

Одну и ту же деталь до расчетной работоспособности можно восстановить различными способами, однако конструктивно-технологические особенности деталей таковы, что выбор способа восстановления весьма ограничен. В практике ремонта объем восстановительных работ экскаваторов составляет не более 10 % деталей основных механизмов и устройств, остальные изношенные детали заменяются новыми.

Широкое применение получили следующие методы: сварки, электродуговой наплавки, наплавки автоматической под слоем флюса, электромеханический способ восстановления.

Методы ремонтных втулок, бандажирования и ремонтного корригирования являются рациональными методами ремонта. Как один из методов восстановления применяется проточка или расточка деталей на ремонтные размеры.

*Электродуговая сварка и наплавка.* Данный метод сводится к заварке трещин, приварке накладок, замене отдельных участков или элементов металлоконструкций, установке вставных элементов и наплавке изношенных мест деталей.

Сваркой устраняют трещины и разрывы несущих металлоконструкций. Наплавкой восстанавливают изношенные шейки неразъемных цапф, проушины коушей и серьги ковшей, посадочные отверстия корпусов и крышек редукторов, корпусов подшипников, отливок (стаканов) поворотной платформы, обойм, колес, полумуфт и муфт.

Для сварных наплавочных работ рекомендуется использовать следующие виды электродов: сварочные (УОНИ – 13/45; УП – 2/55у; К – 5А; УОНИ – 13/55); наплавочные и Э42А при низких температурах воздуха (К – 2 – 55, СМ – 11, АНО – 5, УОНИ – 13/45, УОНИ – 13/55); для специальных видов наплавки (ОЗН – 300, ЭН – 153 Г – 25, ОЗН – 350, ЭЛ – 1Г6, 7А – 1Б и др.).

Основой режима сварки является правильный выбор величины сварочного тока.

При температуре воздуха ниже – 5 °С сварку необходимо вести непрерывно. Если толщина свариваемого металла свыше 16 мм и температура воздуха ниже – 5 °С то первые два слоя сваривают с подогревом до 180 – 250 °С на участке шириной 120 – 160 мм в обе стороны от места сварки. По возможности следует избегать проведение сварки при температуре воздуха ниже – 15 °С. С учетом толщины элементов металлоконструкций сварка производится многослойная, обратно-ступенчатым методом. Перед

сваркой выполняют разделку воздушно-дуговой резкой стыковых кромок V – образной или X – образной формы, угол раскрытия стыка  $40^\circ - 50^\circ$ , последняя форма предпочтительнее (рис. 16.1).

Перед наплавкой деталей из легированных сталей места восстановления необходимо нагреть до  $250^\circ - 400^\circ \text{C}$ . Толщину наплавленного слоя следует выдерживать минимальной, так для восстановления отверстий и шеек цапф толщина наплавленного слоя равна 3 – 4 мм, для других деталей 5 – 20 мм. Наплавка свыше 20 мм не рекомендуется. При многослойной наплавке каждый предшествующий слой очищают от шлака.

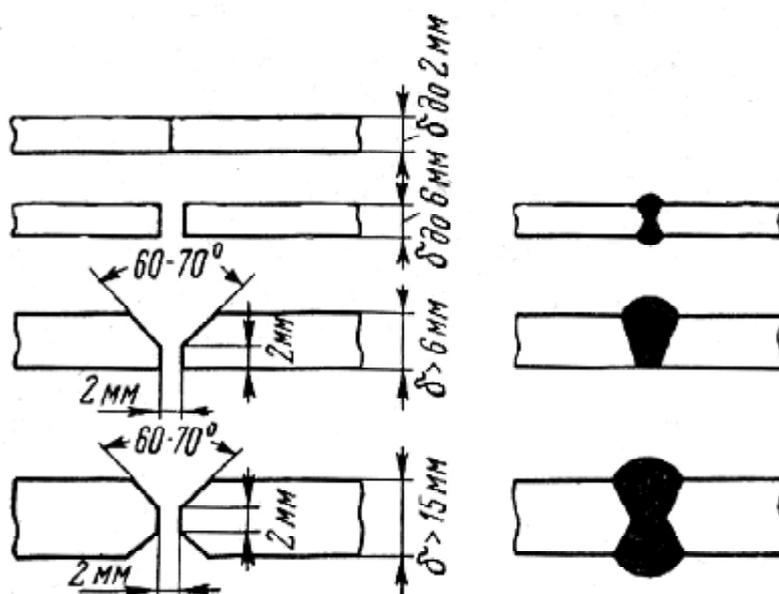


Рис. 16.1. Виды кромок подготовленных под сварку

Наплавку цилиндрической поверхности обычно производят вдоль оси. Ширина наплавленного слоя составляет  $2,5 d_{эл}$ , где  $d_{эл}$  – диаметр электрода. Валики накладываются так, чтобы последующий слой перекрывал на  $1/2 - 1/3$  ширину предыдущего.

Трещины длиной до 400 мм заваривают от середины к краям каскадным способом, более 400 мм – способом "горка". При заварке несквозных трещин в литых деталях с глубиной разделки свыше 40 мм и длиной более 800 мм совмещают оба способа (рис. 16.2).

При заварке сквозных трещин и доступа к ним и с обратной стороны корень шва разделяют и подваривают. Шов состоит из основных слоев 1 – 7, отжигающего 8 и подварочного 9 (рис. 116.3).

При заварке сквозных трещин места толщиной свыше 22 мм (особенно в жестких конструкциях) рекомендуется в зоне контактов трещин производить перед заваркой нагрев до  $200 - 250^\circ \text{C}$ .

Применение накладок, вставок, ребер жесткости при ремонте экскаваторов должно быть обоснованным, так как во многих случаях дополнительные накладки в форме заплат создают дополнительные напряжения в элементах конструкций, не позволяют контролировать ранее заваренную трещину и увеличивают жесткость конструкции.

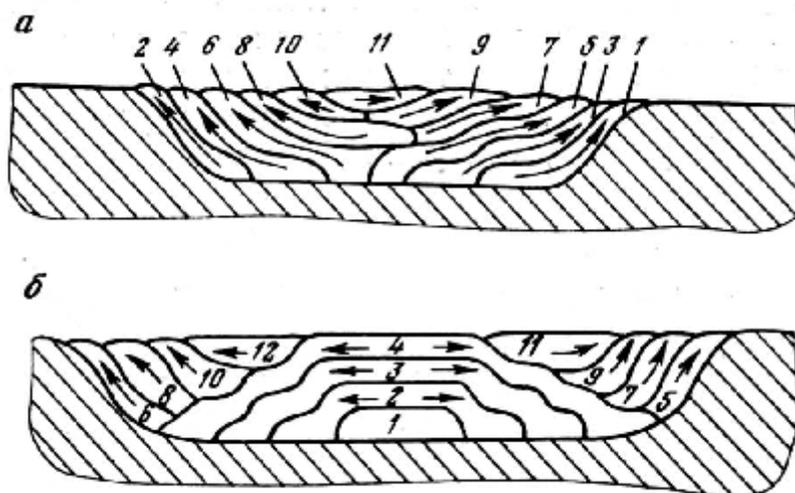


Рис. 16.2. Последовательность наложения сварочных валиков при заварке трещин длиной:  
 а – до 400 мм способом «каскадный»; б – свыше 400 мм способом «горка»;  
 1 – 12 – сварочные валики

Размеры накладок выбирают из условий обязательного перекрытия трещины и возможности приварки к другим элементам конструкции.

Сварные швы крепления накладок не должны пересекать швы конструкции и трещин. Перед установкой накладок необходимо тщательно зачищать швы трещин заподлицо с основным металлом.

Толщина накладок обычно составляет  $(0,6 \div 0,85) S_m$ , где  $S_m$  – толщина листа металлоконструкций.

Рекомендуется вводить усиливающие элементы – взамен накладок ребра в виде гнутых полуобечек.

Частичная вырезка листа и установка вставок на несущих конструкциях (кроме ковша) нежелательны и применяются только в исключительных случаях.

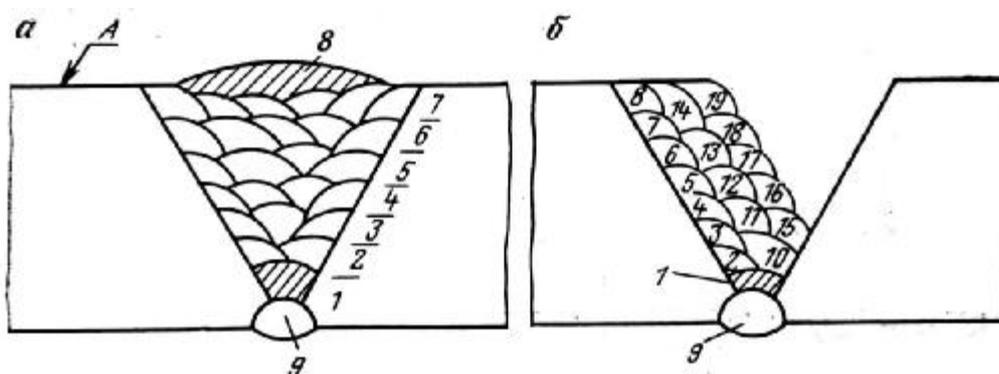


Рис. 16.3. Последовательность наложения сварочных валиков при заварке типового стыкового шва:  
 а – параллельно поверхности А; б – параллельно кромке; 1 – 19 – сварочные валики

После окончания сварочных и наплавочных работ необходимо контролировать качество сварного шва и при обнаружении дефектов их устранять.

Контроль швов производят визуально, высверливанием отверстий и с помощью ультразвуковой дефектоскопии.

Автоматическая наплавка под слоем флюса является одним из самых распространенных способов наплавки при ремонте деталей, однако при ремонте экскаваторов этим способом восстанавливается не более 5 %.

Этим способом восстанавливаются посадочные поверхности вал – шестерен, рабочие поверхности направляющих роликов, центральных цапф, осей барабанов, ручки блоков и т.д.

Перед наплавкой поверхности детали тщательно подготавливаются – удаляют следы масла и ржавчины. Перед этим детали, как правило, протачиваются на 2 – 3 мм, нагреваются газовыми горелками до 250 – 500 °С. Нагрев уменьшает вероятность образования трещин после наплавки.

Для наплавки рекомендуется применять наплавочную проволоку Н<sub>п</sub> – 30ХГСА диаметром 2 – 4 мм и флюс АН – 348А. Для наплавки направляющих роликов и центральных цапф допускается использовать сварочную проволоку С<sub>в</sub> – 08А диаметром 3 – 4 мм.

Наплавку следует производить в один слой, реже в два. После проведения наплавки желательно повторно нагреть деталь до 550 – 680 °С и тут же обернуть в два слоя асбестовым полотном, обеспечивая медленное ее охлаждение.

По окончании наплавки и проведения контроля деталь механически обрабатывается до размеров по чертежу.

Вибродуговую наплавку для деталей экскаваторов применять не целесообразно из-за больших размеров.

Для восстановления шейки вал – шестерен под подшипники качения и посадочные места полумуфт, блоков рекомендуется применять электро-механический способ восстановления деталей. Диапазон величин восстановления колеблется от 0,03 – до 0,25 мм.

Сущность способа в следующем: поверхность детали, подлежащая восстановлению, подвергается в месте контакта высокотемпературному локальному нагреву (подводится ток силой 400 – 100 А, напряжением 2 – 6 В) и воздействию радиального усилия инструмента; высаживается и затем сглаживается (рис. 16.4).

Детали данным способом обрабатываются на обычных токарных станках с использованием специальной установки.

Восстановление методами ремонтной втулки и бандажирования вполне надежно, экономически целесообразно и позволяет многократно использовать детали.

Первый способ наиболее рационален при износе посадочных отверстий корпусных деталей типа серег, коушей, и заключается в следующем.

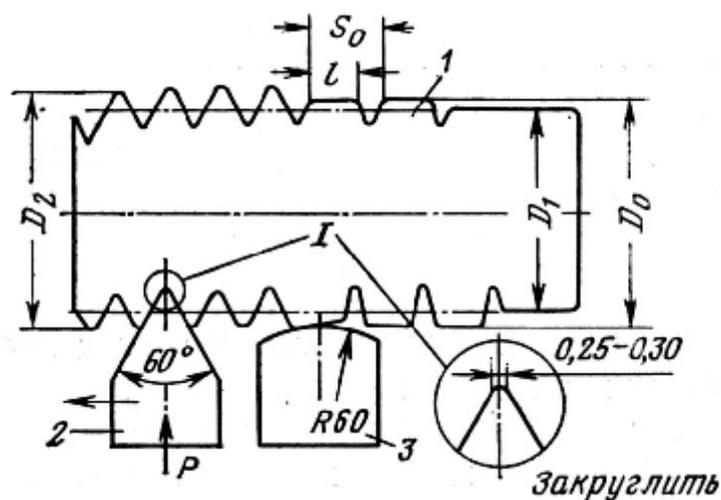


Рис. 16.4. Схема высадки и сглаживания металла:

1 – деталь; 2 – высаживающая пластина; 3 – сглаживающая пластина;  $D_0$  – диаметр после сглаживания;  $D_1$  и  $D_2$  – диаметр соответственно до и после высадки, мм

Изношенные отверстия растачивают до размера с учетом толщины втулки и запрессовывают ее в отверстие.

Этим способом можно восстанавливать также часть детали. Так, если вал-шестерня имеет неправильный износ только вала, то шестерню обрезают, растачивают в ней отверстие и запрессовывают в него новый вал. При неисправном износе шлицевой части вала ее отрезают и заменяют новой. При непригодной шестерне в блоке зубчатых колес ее срезают и заменяют венцом (рис. 16.5. а, б).

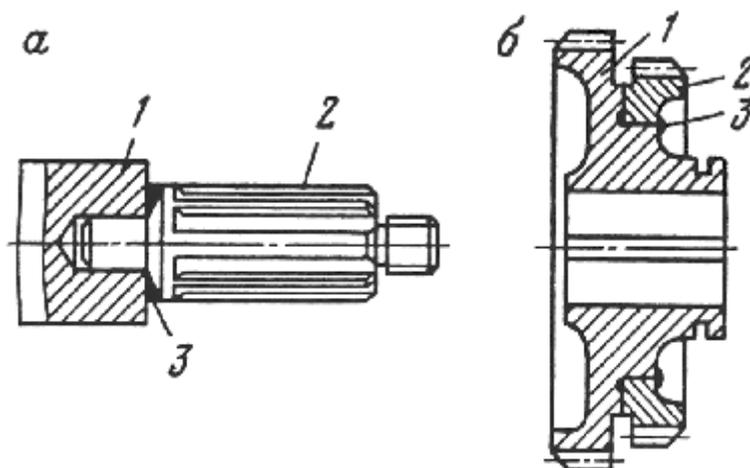


Рис. 16.5. Схемы восстановления добавочными элементами:  
 а – шлицевой части вала (1 – вал, 2 – шлицевая часть, 3 – сварка);  
 б – блока зубчатых колес (1 – ступица, 2 – венец, 3 – сварка)

Данным способом осуществляется ремонт зубчатых муфт, зубчатых колес, вала и т.д.

## **Вопросы для контроля**

1. Какие рекомендованы методы восстановления деталей?
2. Расскажите об электродуговой сварке и наплавке.
3. Какие методы восстановления деталей называются механическими?
4. Как производится сглаживание металла?

## Глава 17. СМАЗКА

Смазка трущихся поверхностей экскаваторов позволяет снизить интенсивность изнашивания узлов, продлить их ресурс, снизить общие эксплуатационные расходы.

Смазочные материалы выбирают исходя из условий работы: удельного давления на рабочих поверхностях, частоты вращения, температурного режима, конструкции узла.

Чем больше удельное давление, тем большей вязкостью должны обладать смазочные материалы, так как масло недостаточной вязкости будет выжиматься из зазора между поверхностями трения, толщина масляной пленки будет уменьшаться до полного его разрыва, что приведет к непосредственному соприкосновению трущихся поверхностей.

С увеличением скорости движения силы трения увеличиваются. Чем больше вязкость масла, тем больше внутренние силы сцепления частиц и, следовательно, сила, необходимая для преодоления этого сцепления. Поэтому, чем больше относительная скорость движения трущихся поверхностей, тем меньше вязкость смазочного материала.

Основной характеристикой смазочных материалов является вязкость. В зависимости от вязкости смазки могут быть жидкими и консистентными. Жидкие масла, кроме вязкости, характеризуются температурой вспышки и застывания и кислотным числом. Консистентные – температурой каплепадения и густотой смазки, т.е. способностью проходить по каналам.

Поскольку экскаваторы применяются в большом диапазоне температур, то температурные показатели масел очень существенно влияют на эксплуатационные свойства.

Основные виды жидких масел, используемых в качестве смазок экскаваторов: моторные, авиационные, промышленные, турбинные, компрессорные и специального назначения.

К консистентным смазкам относятся: универсальные, низкоплавкие, среднеплавкие, тугоплавкие, промышленные и смазки специального назначения.

Смазка экскаваторов производится в соответствии с инструкцией завода-изготовителя. Основной инструкцией по смазке является карта смазки, в которой указаны позиции смазываемых узлов, для которых указываются наименование, способ и периодичность смазки.

Экскаваторы оборудованы системами жидкой и густой смазок.

Система жидкой циркуляционной смазки применяется для смазывания зацеплений и подшипников в редукторах поворота.

Система жидкой (картерной) смазки заливного типа применяется для смазывания редукторов подъемных тяговых, стреловых и вспомогательных лебедок, в корпусах которых предусматриваются картеры большой вместимости с электроподогревом в зимнее время.

Система густой смазки делится на централизованную полуавтоматическую смазку узлов трения через дозирующие питатели; смазку шприцеванием; механизированного напыления графитной смазки на зубчатые зацепления подъемных и тяговых лебедок, зубчатых венцов и шестерен воротного механизма.

Полностью смазку заменяют при потере ее свойств и замене летних сортов на зимние, и наоборот.

Все отработанные масла собираются в специально подготовленные емкости и подлежат регенерации и повторному использованию.

## Глава 18. НАЛАДКА И ИСПЫТАНИЕ ЭКСКАВАТОРОВ

Одновременно с производством монтажно-сборочных работ производится ревизия электрических машин, аппаратов, усилителей; налаживается схема пуска синхронного двигателя преобразовательного агрегата. После пробных пусков преобразовательного агрегата осуществляется наладка системы управления в целом.

Установка проектных параметров и получение заданных статистических и динамических характеристик при наладке главных приводов производят в соответствии с инструкцией завода-изготовителя.

В настоящее время каждое ремонтное предприятие проводит испытания экскаваторов по собственной программе. Однако для выявления качества проведения ремонта и сборки достаточно ограничиться длительностью испытания под нагрузкой 72 ч, а для экскаваторов вместимостью ковша 15 м<sup>3</sup> и выше – 150 ч.

Для испытания экскаваторов обязательны – испытания на холостом ходу (Х.Х.) и под нагрузкой.

Испытание на Х.Х. производится непосредственно на ремонтной площадке в течение 12 ч.

При испытании механизмов вхолостую следует периодически по истечении 50 % нормативного времени изменять направление вращения привода. Каждый механизм должен проработать непрерывно на всех скоростных режимах не менее 2 часов. Механизмом поворота осуществляется полное вращение поворотной платформы, через каждые 3 – 4 оборота платформы следует менять направление вращения.

В процессе испытания обязательно многократно проверят срабатывание устройств защиты хода. После проведения регулировки испытание необходимо повторить. При обнаружении неисправностей их устраняют и вновь проводят испытания.

В процессе испытания проверяют: правильность регулировки механизмов и устройств; надежность крепления узлов и деталей; надежность крепления рабочих канатов и их равномерное натяжение; бесперебойность работы систем смазки; правильность установки валов в опорах; правильность регулировки подшипников качения и скольжения; герметичность узлов уплотнения редукторов, пневмо- и гидросистем; правильность регулировки клапанов гидросистемы; плавность и надежность включения зубчатых систем.

После испытания необходимо вскрыть разъемные подшипники скольжения, крышки редукторов и осмотреть состояние вкладышей, шеек, узлов, зубьев шестерен, колес и стопорных деталей. При выявлении дефектов их устраняют, затем производят дополнительную затяжку крепежных деталей. Вновь производят смазку всех шеек согласно инструкции по испытанию.

После испытания производят окраску экскаватора.

Испытания под нагрузкой производят с ограничением до 50 % в течение 8 ч и при полной нагрузке в течение 24 или 102 ч для экскаваторов при вместимости ковша до и выше 15 м<sup>3</sup>.

Работа экскаватора при полной нагрузке на период испытания должна производиться непрерывно (перерыв допускается только на время устранения неисправностей).

В процессе испытания экскаватора под нагрузкой проверяют: надежность закрепления рабочих канатов; состояние зубчатых передач (ненормальный шум, вибрации); безотказность работы тормозов; герметичность узлов уплотнения редукторов и гидросистемы; безотказность работы распределительных и контрольных приборов; нагрев масла в гидросистеме не более 50 °С; работа компрессорной установки; состояние узлов подшипников качения и скольжения (температура корпуса не должна превышать 55 °С); контакт роликов с рельсовым кругом; отсутствие заедания роликов при качении; состояние клепальных и сварочных соединений и т.д.

По окончании испытания проводят заключительную подтяжку крепежных изделий.

После устранения обнаруженных при испытании неисправностей экскаватор принимается комиссией по акту и с этого момента считается пригодным для эксплуатации.

## Глава 19. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РЕМОНТЕ ЭКСКАВАТОРОВ

Значительный объем работ по ремонту экскаваторов производится в неблагоприятных полевых и климатических условиях. При этом работы по подъему, погрузке – разгрузке, распрессовке узлов; сварочные и клепальные в стесненных условиях; демонтажно – монтажные и покрасочные работы и др. требуют строгого соблюдения правил техники безопасности.

Все работы должны производиться при строгом соблюдении технологии, предусмотренной ремонтной и эксплуатационной документациями; все члены ремонтной бригады должны находиться в касках и защитной одежде; на ремонтной площадке запрещается загромождать узлами и деталями экскаватора транспортные проходы; запрещается устанавливать подставки – опоры на лед, снег и неустойчивый грунт.

Все ремонтные работы разрешается производить только после полной остановки механизмов; демонтажно – монтажные работы должны выполняться не менее, чем двумя членами бригады; запрещается вести работы на открытой площадке при ветре со скоростью свыше 12 м/с, сильном снегопаде, ливне и грозе.

Работы по обслуживанию и ремонту электрооборудования разрешается производить персоналу имеющему соответствующую группу допуска и ознакомленному с электрической схемой управления.

После установки поворотной платформы на опоры и перед началом работ по демонтажу узлов экскаватор должен быть переведен на временную схему электроснабжения с целью подключения только необходимого вспомогательного оборудования.

Корпуса сварочных агрегатов, сварочные столы и др. электросварочное оборудование должно быть заземлено. Заземление электросварочных агрегатов выполняется до включения их в сеть и защищено предохранителями со стороны питающей сети.

Запрещается использовать в качестве обратного провода контур заземления и металлические конструкции технологического оборудования. Длина между питающей сетью и передвижным сварочным агрегатом не должна превышать 20 м.

При сварке внутри закрытых конструкций, а также наружных установок после дождя и снегопада сварщик должен кроме спецодежды пользоваться диэлектрическими перчатками, галошами и ковриками. Работы в закрытой полости металлоконструкций должны выполняться не менее чем двумя рабочими, при чем один из них должен находиться снаружи и осуществлять контроль.

При сварке в закрытой полости металлоконструкций и внутри резервуара должна предусматриваться вентиляция.

Строповку узлов и деталей при монтажно-демонтажных работах необходимо производить согласно схемам и требованиям «Правил устройства и безопасной эксплуатации подъемных кранов».

При подъеме и опускании узлов и деталей под острые углы должны быть подложены деревянные подкладки во избежание перетиранья канатов. Снимать стропы с узлов разрешается только после их окончательной установки и надежного закрепления.

Запрещается производить одновременно работы по ремонту и наладке на верхних металлоконструкциях и в нижней зоне экскаватора по одной вертикали без специального ограждения.

При работе с гидродомкратами запрещается: производить регулировочные работы при наличии давления в системе; работать при неисправном манометре и при температуре масла выше 50 °С; превышать рабочий ход; превышать более 5° отклонения направления поднимаемого груза от оси домкрата; освобождать домкрат из-под груза без надежного закрепления последнего в поднятом состоянии; оставлять длительно домкрат под нагрузкой; работать при отсутствии на домкрате клейма с указанием нагрузки и даты испытания.

При работе с газорезными аппаратами замерзшие вентили газовых баллонов разрешается нагревать только паром или горячей водой, не имеющей следов масла.

На месте производства работ кислородные и ацетиленовые баллоны необходимо защищать от воздействия прямых солнечных лучей.

Открыть вентиль баллона с ацетиленом или крепить на нем редуктор можно только специальными ключами.

Использование сжиженных газов (пропана, бутановых смесей) при газопламенной резке металлов должно производиться в соответствии с требованиями «Правил безопасности в газовом хозяйстве».

Баллоны со сжиженным газом должны находиться в металлических шкафах с соответствующей вентиляцией.

Запрещается совместное хранение в одном помещении или месте баллонов для сжатого газа и кислорода, как наполненных, так и порожних.

Работы по наладке электрических схем управления электроприводами экскаваторов разделяются на два периода: *до запуска преобразовательного агрегата*, когда наладочные работы производятся одновременно по совмещенному графику со сборочными работами механической части; *после запуска преобразовательного агрегата*, когда питание производится по постоянной схеме электроснабжения. В этот период запрещается производить работы по регулировке узлов механической части.

Производство наладочных работ должно вестись бригадой, в составе не менее 2-х наладчиков. Для определения наличия напряжения на схеме следует пользоваться специальными указателями напряжения. Все отключения и переключения приборов допускается производить только при снятом напряжении.

Перед испытанием экскаватора необходимо удалить людей на безопасное расстояние и убрать оборудование и приспособления из зоны действия экскаватора.

Проверить прочность крепления рабочих канатов и защитных ограждений механизмов; проверить показания и исправить неправильность контрольных приборов.

В период испытания экскаватора запрещается производить регулировки при включенных механизмах и находиться людям в радиусе работы экскаватора.

### **Вопросы для контроля**

1. Назовите смазочные материалы, применяемые на экскаваторах.
2. Какие свойства влияют на выбор смазочных материалов?
3. Для каких целей составляется карта смазки? Кто ее составляет?
4. Каков порядок испытания экскаватора без нагрузки?
5. Что проверяется в порядке испытания экскаватора?
6. В каком порядке испытывают экскаватор под нагрузкой?
7. Назовите правила безопасности при ведении монтажных и ремонтных работ.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**



















## Библиографический список

1. Подэрни Р.Ю. Механическое оборудование карьеров. – М.: Недра, 2003. – 591 с.
2. Подэрни Р.Ю. Горные машины и комплексы для открытых горных работ. – М.: Недра, 1991. – 615 с.
3. Справочник механика открытых горных работ /Под ред. М.И. Щадова, Р.Ю. Подэрни, Е.И. Улицкого и др. – М.: Недра, 1995. – 374 с.
4. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах. – М.: Недра, 1991. – 405 с.
5. Мартыненко В.К. Оценка эффективности работы горных машин с использованием типоразмерных номограмм //Труды ДВГТУ; Серия 4. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2000.
6. Мартыненко В.К. Основы программирования вопросов оптимизации работы горных машин. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 1999.
7. Жуков А.В., Мартыненко В.К. Вопросы оптимизации технических и экономико-организационных параметров средств в комплексной механизации очистных работ. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 1995.
8. Ржевский В.В. Технология, механизация и автоматизация процессов на карьерах. – М.: Недра, 1986. – 653 с.
9. Справочник молодого машиниста экскаватора /Под ред. Я.Б. Ланцбурга. – М.: Высш. шк., 1988. – 264 с.
10. Лисовик Л.К., Огибенин В.П. Горные машины для открытых горных работ. – М.: Недра, 1980. – 315 с.
11. Боярский В.Н. Добыча руды открытым способом. – М.: Наука, 1971. – 270 с.
12. Калашников Ю.Т., Горнов А.О. Системы электропривода и электрооборудование роторных экскаваторов. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 311 с.
13. Катрюк И.С. Введение в специальность «горный инженер-механик». – М.: ЦНИЭИуголь, 1993. – 195 с.
14. Егурнов Г.П., Рейш А.К. Одноковшовые экскаваторы. – М.: Недра, 1969. – 472 с.
15. Справочник механика открытых работ. Монтаж, техническое обслуживание и ремонт оборудования /Под общей ред. М.И. Щадова. – М.: Недра, 1987.
16. Ремонт карьерных экскаваторов: Справочник /Е.М. Титиевский, И.В. Щербань, Ю.Ш. Гохберг и др. – М.: Недра, 1992.
17. Покровский Б.С. Основы технологии сборочных работ: Учеб. пособие для нач. проф. образования. – М.: Изд. центр «Академия», 2004.
18. Осипов К.С. Ремонтно-слесарные работы на горных предприятиях. – М.: Недра, 1982.
19. Ремонт шагающих экскаваторов /Б.М. Бубновский, И.К. Буйный, В.Н. Ефимов и др. – М.: Недра, 1982.

20. Справочник механика открытых работ /Под ред. М.И. Щадова, В.М. Владимирова. – М.: Недра, 1989.

21. Кох П.И. Ремонт экскаваторов. – М.: Недра, 1982.

22. Общее руководство по капитальному ремонту экскаваторов. – Челябинск: НИИОГР, КПД.

23. Временные методические указания по проведению комиссионного обеспечения элементов экскаваторов и истекшим сроком службы с целью определения возможности дальнейшей их безопасной эксплуатации. – Владивосток, 2002.

## Оглавление

Предисловие	3
Введение	4
<b>Раздел I. Выемочно-погрузочные одноковшовые машины</b>	<b>5</b>
<b>Глава 1. Общие сведения об одноковшовых экскаваторах</b>	<b>6</b>
1.1. Классификация экскаваторов	6
1.2. Основные части одноковшовых экскаваторов	7
<b>Глава 2. Общие сведения об экскаваторных забоях и рабочих размерах одноковшовых экскаваторов</b>	<b>11</b>
2.1. Понятие об экскаваторном забое	11
2.2. Забой экскаватора – прямой лопаты	12
2.3. Забой экскаватора – драглайна	13
2.4. Забой экскаватора – обратной лопаты	16
<b>Глава 3. Конструктивные схемы одноковшовых экскаваторов</b>	<b>17</b>
3.1. Механическая прямая напорная лопата	17
3.2. Гидравлический экскаватор	20
3.3. Экскаватор-драглайн	22
<b>Глава 4. Кинематические схемы одноковшовых экскаваторов</b>	<b>23</b>
4.1. Кинематическая схема экскаватора – прямая лопата	23
4.2. Запасовка канатов	25
4.3. Конструктивные механизмы экскаватора типа ЭЖГ	27
4.4. Поворотная платформа с механизмами	31
4.4.1. Механизмы поворотной платформы	33
4.4.2. Нижняя рама и ходовое оборудование	40
4.5. Кинематическая схема экскаватора драглайн	44
4.5.1. Запасовка канатов	46
<b>Глава 5. Рабочее оборудование одноковшовых экскаваторов</b>	<b>48</b>
5.1. Прямая механическая напорная лопата	48
5.1.1. Устройство стрелы	48
5.1.2. Устройство ковша	53
5.2. Экскаватор драглайн и его рабочее оборудование	56
5.2.1. Устройство стрелы	56
5.2.2. Устройство ковша	59
<b>Глава 6. Ходовое оборудование экскаваторов</b>	<b>62</b>
6.1. Общие сведения	62
6.2. Рельсовое ходовое оборудование	63
6.3. Гусеничное ходовое оборудование	65
6.4. Шагающее ходовое оборудование	69
6.5. Шагающе-рельсовое ходовое оборудование	73

<b>Глава 7. Определение нагрузки на рабочее оборудование и мощности приводов главных механизмов экскаваторов</b>	<b>75</b>
7.1. Условия работы приводов главных механизмов	75
7.2. Прямые лопаты	77
7.2.1. Определение средневзвешенной мощности приводов главных механизмов по нагрузочным диаграммам	80
7.3. Драглайны	84
7.3.1. Определение средневзвешенной мощности приводов главных механизмов по нагрузочным диаграммам	86
7.4. Примеры расчетов	89
<b>Глава 8. Тяговый расчет ходового оборудования горных машин</b>	<b>101</b>
8.1. Тяговый расчет рельсового ходового оборудования	101
8.2. Тяговый расчет гусеничного ходового оборудования	102
8.3. Тяговый расчет шагающего ходового оборудования	105
8.4. Тяговый расчет шагающе-рельсового ходового оборудования	106
8.5. Примеры расчетов	107
<b>Глава 9. Производительность экскаваторов и комплексов</b>	<b>114</b>
9.1. Производительность экскаваторов	114
9.2. Производительность горно-транспортных комплексов	116
<b>Глава 10. Технические характеристики одноковшовых экскаваторов</b>	<b>119</b>
10.1. Параметрические ряды и типы экскаваторов	119
10.2. Технические характеристики экскаваторов – механических лопат	120
10.3. Техническая характеристика шагающих экскаваторов - драглайнов	120
10.4. Техническая характеристика гидравлических экскаваторов (АО «УЗТМ»)	120
<b>Раздел II. Техническое обслуживание одноковшовых экскаваторов</b>	<b>135</b>
<b>Глава 11. Монтаж и наладка экскаваторов</b>	<b>136</b>
11.1. Подготовка монтажно-наладочных работ	136
11.2. Технология монтажных работ	146
11.3. Монтаж одноковшовых экскаваторов	162
11.4. Пуско – наладочные работы	168
<b>Глава 12. Причины разрушения деталей и экскаваторов</b>	<b>172</b>
12. 1. Общие положения	172
12. 2. Виды разрушения деталей	174
<b>Глава 13. Техническое обслуживание и ремонт экскаваторов</b>	<b>181</b>
<b>Глава 14. Техническая диагностика</b>	<b>190</b>
<b>Глава 15. Ремонт экскаваторов</b>	<b>197</b>

15.1. Техническая документация на ремонт	197
15.2. Демонтаж узлов и сборочных единиц экскаватора	198
15.3. Мойка деталей и узлов	200
15.4. Методы измерения, контроль и дефектоскопия деталей	203
<b>Глава 16. Методы восстановления деталей экскаваторов</b>	<b>207</b>
<b>Глава 17. Смазка</b>	<b>213</b>
<b>Глава 18. Наладка и испытание экскаваторов</b>	<b>215</b>
<b>Глава 19. Техника безопасности при ремонте экскаваторов</b>	<b>217</b>
Приложения	220
Библиографический список	230

Учебное издание

Дроздова Людмила Григорьевна  
Курбатова Ольга Александровна

**Одноковшовые экскаваторы:  
конструкция, монтаж и ремонт**

Редактор В.В. Сизова  
Техн. редактор Н.М. Белохонова  
Компьютерная верстка Б.В. Макишина

Подписано в печать . Формат 60x84/16  
Усл.печ.л. 13,2. Уч-изд. л. 10,85.  
Тираж 100 экз. Заказ .

---

Издательство ДВГТУ, 690950, Владивосток, Пушкинская, 10  
Типография издательства ДВГТУ, 690950, Владивосток, Пушкинская, 10