



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технологии строительства»

В. В. Мыльников
О.Б. Кондрашкин

**СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ:
грузоподъемные и землеройные машины**

Учебное пособие

Нижегород

ННГАСУ

2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

В. В. Мыльников, О. Б. Кондрашкин

СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ:
грузоподъемные и землеройные машины

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

Нижний Новгород
ННГАСУ
2021

ББК 39.9
М 94
К 64
УДК 69.002.5

Рецензенты:

У. Ш. Вахидов – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой строительных и дорожных машин ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева»

М. Ю. Сарилов – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой машиностроения ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

Мыльников В. В. Средства механизации в строительстве: грузоподъемные и землеройные машины. [Текст]: учеб. пособие / В. В. Мыльников, О. Б. Кондрашкин; Нижегород. гос. архитектур.- строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2021. – 158 с.
ISBN 978-5-528-00462-4

Приведены сведения об основных деталях, материалах, соединениях грузоподъемных и землеройных машинах, даны сведения об области применения и перечень задач решаемых при механизации работ с использованием этих машин. Рассмотрены основные виды классификаций и конструктивные особенности компоновок данного типа машин, изложены правила по технике безопасности при эксплуатации кранов, экскаваторов и траншеекопателей. Проанализированы основные мировые и отечественные производители данного класса современных машин, а также сформулированы рекомендации по техобслуживанию и выбору предпочтительного класса машин в зависимости от целей механизации строительства.

Пособие предназначено для студентов всех форм обучения по направлению 08.03.01 «Строительство»

ББК 40.721

ISBN 978-5-528-00462-4

© В. В. Мыльников,
О. Б. Кондрашкин, 2021
© ННГАСУ, 2021

Содержание

Глава 1. Общие сведения о машинах и соединения деталей	6
1.1. Основные характеристики и функции современных строительных машин	6
1.2. Соединения деталей машин	9
1.2.1. Резьбовые соединения	10
1.2.2. Детали резьбовых соединений	12
1.2.3. Стопорение резьбовых соединений	14
1.2.4. Шпоночные соединения	15
1.2.5. Зубчатые (шлицевые) соединения	18
1.2.6. Штифтовые соединения	18
1.3. Вопросы для самоконтроля	19
Глава 2. Машиностроительные материалы	21
2.1. Металлические материалы	21
2.1.1. Черные металлы и их сплавы	21
2.1.2. Цветные металлы и их сплавы	33
2.2. Неметаллические материалы	39
2.3. Композиционные материалы	42
2.4. Антифрикционные и фрикционные материалы	42
2.5. Смазочные материалы	44
2.6. Вопросы для самоконтроля	45
Глава 3. Механические передачи	47
3.1. Общие сведения о передачах	47
3.2. Основные характеристики передач	49
3.3. Зубчатые передачи	49
3.3.1. Принцип действия и классификация передач	50
3.3.2. Цилиндрические зубчатые передачи	53
3.3.3. Конические зубчатые передачи	57
3.3.4. Червячные передачи	61
3.4. Вопросы для самоконтроля	71
Глава 4. Грузоподъемные машины	73

4.1. Общие сведения о грузоподъемных машинах	73
4.2. Башенные краны	76
4.2.1. Башенный кран КБ-302А с поворотной башней	77
4.2.2. Башенный кран М-3-5-10 с неповоротной башней	79
4.3. Самоходные стреловые краны	82
4.3.1 Автомобильный кран	83
4.3.2 Гусеничный кран	85
4.4. Портальный кран	86
4.5. Козловый кран	88
4.6. Основные правила техники безопасности при эксплуатации грузоподъемных кранов	90
4.7. Стальные канаты	90
4.7.1. Выбор стальных канатов	94
4.7.2. Браковка стальных канатов	96
4.8. Грузозахватные устройства	98
4.8.1. Стропы	99
4.8.2. Захваты	102
4.8.3. Траверы	104
4.8.4. Правила техники безопасности при эксплуатации грузозахватных устройств	105
4.9. Вопросы для самоконтроля	106
Глава 5. Землеройные машины	108
5.1. Общие сведения о землеройных машинах	108
5.2. Экскаваторы.	109
5.2.1. Классификация экскаваторов и понятие об экскаваторном забое	110
5.2.2. Одноковшовые экскаваторы	114
5.2.2.1. Конструктивные схемы одноковшовых экскаваторов	117
5.2.2.2. Механическая прямая напорная лопата	117
5.2.2.3. Гидравлический экскаватор	120
5.2.2.4. Экскаватор-драглайн	122

5.2.3. Многоковшовые экскаваторы	123
5.2.3.1. Конструктивные схемы многоковшовых экскаваторов	128
5.2.3.2. Цепной экскаватор	128
5.2.3.3. Роторные экскаваторы	131
5.2.3.4. Фрезерный экскаватор	135
5.2.4. Основные современные производители экскаваторов	136
5.3. Траншеекопатели	139
5.3.1. Область применения, особенности конструкций и виды траншеекопателей	140
5.3.2. Навесной траншеекопатель	144
5.3.3. Особенности эксплуатации траншеекопателей	145
5.4. Сравнительный анализ экскаватора и траншеекопателя	149
5.5. Правила техники безопасности при эксплуатации землеройных машин	155
5.6. Вопросы для самоконтроля	156
Библиографический список	158

Глава 1. Общие сведения о машинах и соединения деталей

1.1. Основные характеристики и функции современных строительных машин

В зависимости от выполняемых функций современные машины классифицируют следующим образом:

энергетические, служащие для преобразования энергии (машины-двигатели, генераторы);

рабочие, осуществляющие изменение формы, свойств, состояния и положения предмета труда (технологические или машины-орудия, транспортные и транспортирующие);

информационные, предназначенные для сбора, переработки и использования информации (вычислительные, шифровальные и др.).

Машины состоят из деталей (болт, шпонка, вал, зубчатое колесо и т. д.) и сборочных единиц — изделий, собранных из деталей на предприятии изготовителе (муфта, шарикоподшипник, редуктор и т. п.). Изготавливают их различными способами: отливкой, ковкой, штамповкой, прокаткой, обтачиванием, фрезерованием, шлифовкой и т.д. Сборочная единица, которая может собираться отдельно от других составных частей изделия, называется узлом. Укрупненный, обладающий полной взаимозаменяемостью узел, выполняющий определенную функцию, называется машинным агрегатом (например, электродвигатель, силовая головка, насос), а метод компоновки промышленных изделий из отдельных агрегатов называется *агрегатированием*. Агрегатирование значительно упрощает проектирование, сборку, эксплуатацию, ремонт и модернизацию изделий.

Любая машина, прибор, в общем случае изделие, состоит из деталей, которые различным образом соединены между собой.

Деталь — часть механизма или машины, изготовленная из однородного материала без сборочных операций или с использованием местных соединительных операций (сварка, пайка, склеивание и т.п.)

Узел – законченная сборочная единица, которая может собираться отдельно от других составных частей изделия из деталей, имеющих общее функциональное назначение: соединительная муфта, подшипник качения, редуктор и т.п. Сложные узлы могут состоять из нескольких простых узлов (подузлов): например, редуктор включает в себя подшипники, валы с насаженными на них зубчатыми колесами, крышку с установленной на ней пробкой – сапуном.

Агрегат – сборочная единица, обладающая полной взаимозаменяемостью, возможностью сборки отдельно от других составных частей изделия. Конструкция большинства деталей, сборочных единиц, крепежных элементов общего назначения определена и регламентируется стандартами.

Машинный агрегат – укрупненный, обладающий полной взаимозаменяемостью узел, который может быть установлен на машинах различного назначения. Это топливные и гидравлические насосы, мотор-редукторы, компрессоры, механизмы переключения передач, механизмы реверса и т.п.

Механизация – это такой вид деятельности при котором все виды работ выполняются машинами, а роль человека заключается в том, что он управляет машинами. Механизация оценивается уровнями.

Уровень механизации – это отношение объема работ, выполняемых машинами к общему объему работ по этому виду.

Автоматизация – это такой вид работ, при котором управление машинами осуществляется аппаратами, а роль человека заключается в контроле за работой аппарата или аппаратуры.

Для машин каждого вида устанавливают свои показатели качества, зависящие от их назначения, но существуют показатели качества присущие всем машинам. Основными критериями качества машин являются следующие показатели:

производительность – объем полезной работы в единицу времени. Для рабочих машин (машин – орудий) таким показателем является производительность, единицей измерения которой могут быть т/ч, м/ч, шт/ч;

надежность – она обеспечивается прежде всего за счет приведения конструктивных решений в соответствии с нагрузками, характером взаимодействия звеньев, возможностями материалов. Элементы конструкции должны быть рассчитаны на одинаковый ресурс;

технологичность изготовления, сборки и ремонта при минимальных затратах на изготовление и ремонт. Это должно достигаться путем максимального использования прогрессивных технологий. Обеспечение доступа и возможность применения механизированного инструмента при сборке и ремонте;

стандартизация и унификация позволяют оценить степень использования стандартизованных изделий и от предыдущих моделей, хорошо зарекомендовавших себя в работе. Уровень унификации показывает частоту использования деталей, имеющих одинаковую форму и размеры;

эстетические показатели отражают соответствие машины требованиям и тенденциям технической эстетики. К ним относятся: внешнее оформление, отделка, окраска, компоновка, композиция, пластика форм, соответствие среде, стилю и т.д. При создании машин должно быть выдержано единство технического и художественного замысла;

патентно-правовые показатели позволяют оценить степень обновления технических решений, использованных в конкретной машине, их патентную чистоту и патентную защиту;

эргономические показатели отражают соответствие параметров органов управления психофизическим и антропометрическим данным оператора, удобство обслуживания, уровень вибраций и звуковой мощности;

металлоемкость характеризует применение профильного проката, замену черных и цветных металлов на пластмассы и композитные материалы;

рентабельность машины – это оптовая цена, полная себестоимость, т.е. быстрое возмещение всех затрат на изготовление, эксплуатацию и принесение прибыли;

экологичность машины характеризует систему человек-машина- среда с точки зрения уровня вредных воздействий эксплуатируемых машин на природу;

безопасность характеризует особенности конструкции машины, обеспечивающие безопасные условия эксплуатации для обслуживающего персонала.

1.2. Соединения деталей машин

Детали, составляющие механизм или машину, связаны между собой тем или иным способом. Характер связей называют при этом соединениями, а производственный процесс соединения – сборкой.

Классификация соединений:

1) *по сохранению целостности деталей при разборке:*

- разъемные – допускают многократную сборку-разборку без нарушения целостности деталей;

- неразъемные – при разборке нарушается целостность одной или всех деталей;

2) *по возможности относительного перемещения деталей:*

- подвижные – после соединения детали перемещаются одна относительно другой;

- неподвижные – детали не могут перемещаться относительно друг друга;

3) *по форме сопрягаемых поверхностей* – плоские, цилиндрические, конические, винтовые, профильные;

4) *по методу образования* – резьбовые, шпоночные, шлицевые, штифтовые, клиновые, профильные, клепаные, сварные, клеевые, паяные и др.

Среди разъемных соединений наиболее распространенными в машиностроении являются резьбовые, шпоночные и шлицевые, в меньшей степени – клиновые, штифтовые и профильные.

1.2.1. Резьбовые соединения

Это соединение составных частей изделия с помощью деталей, имеющих резьбу. Они отличаются универсальностью, высокой надежностью, малыми габаритами и весом крепежных деталей, технологичностью и возможностью точного изготовления. Недостатки - значительная концентрация напряжений в местах резкого изменения поперечного сечения и низкий КПД подвижных соединений. Резьба представляет собой чередующиеся выступы и впадины определенной формы на поверхности тела вращения, выполненные по винтовой линии.

Резьбы классифицируют по следующим признакам:

1) *по форме основной поверхности* – цилиндрические (наиболее распространенные) и конические (для плотных соединений труб, штуцеров, пробок, масленок и т.п.);

2) *по профилю резьбы* – треугольные, прямоугольные, трапецеидальные, упорные, круглые и др. Наиболее распространенные приведены на рисунке 1.1. Профиль резьбы – это контур сечения резьбы в плоскости, проходящей через продольную ось детали;

3) *по направлению винтовой линии* – правые, имеющие направление винтовой линии по движению часовой стрелки, и левые, имеющие направление винтовой линии против движения часовой стрелки (рис. 1.2). Наиболее распространена правая резьба, левая применяется в технически обоснованных случаях;

4) *по числу заходов* различают одно- и многозаходную резьбу. Наиболее распространены однозаходные резьбы, многозаходные – применяют преимущественно в механизмах как ходовые;

5) *по расположению* – различают наружную и внутреннюю резьбы;

6) *по эксплуатационному назначению* – крепежные, крепежноуплотнительные, ходовые и специальные.

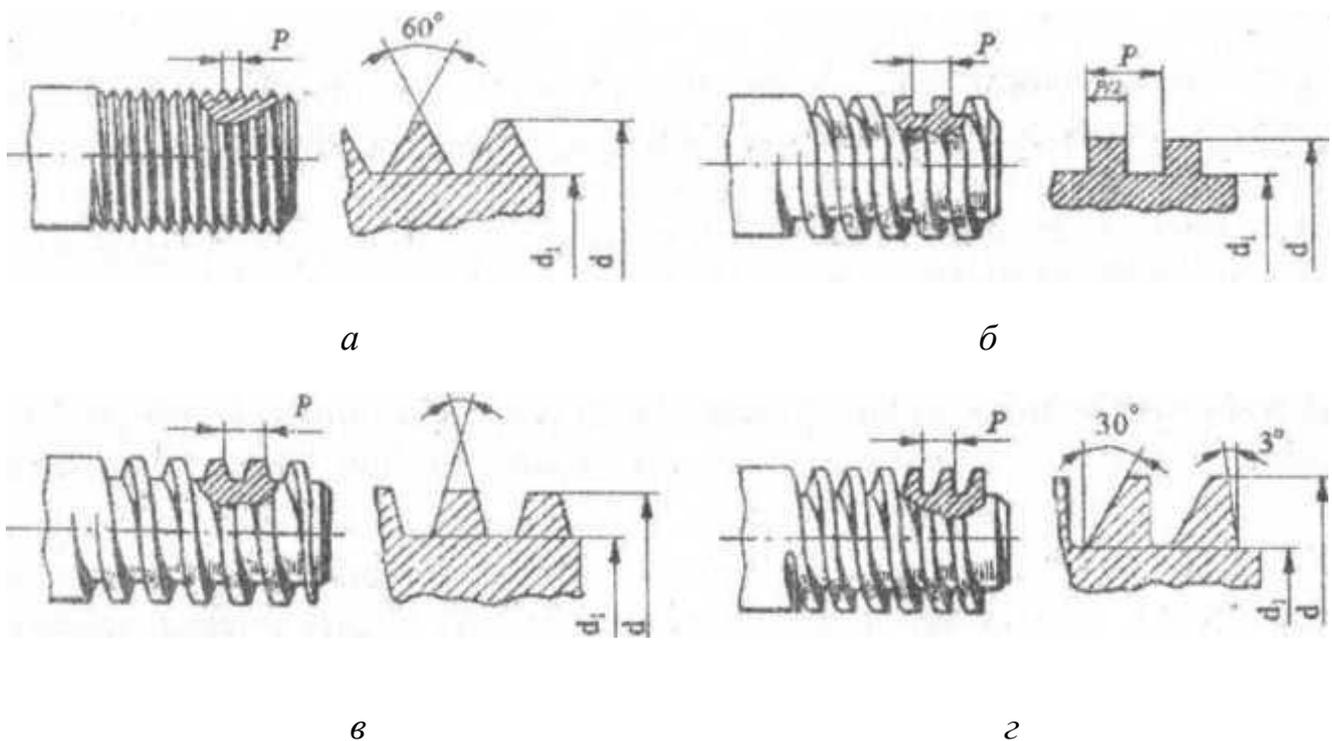


Рис. 1.1. Профили резьб: *а* - метрической; *б* - прямоугольной; *в* - трапецеидальной; *г* - упорной; *P* - шаг резьбы; *d* - наружный диаметр; *d₁* - внутренний диаметр



Рис. 1.2 Образование винтовых пиний: *а* - для правой резьбы; *б* - для левой резьбы

Крепежные резьбы обеспечивают надежное соединение деталей при различных нагрузках и температурах. Основной из них является метрическая, имеющая треугольный профиль и большие силы трения по поверхности

контакта. У этой резьбы угол профиля при вершине 60° , а все размеры задаются в мм. Параметры метрических крепежных резьб стандартизированы.

1.2.2. Детали резьбовых соединений

Основными и наиболее распространенными деталями резьбовых соединений являются болты, винты, шпильки, гайки и шайбы. Геометрические формы, размеры, варианты исполнений, технические требования на эти детали весьма разнообразны и отражены в справочниках и стандартах.

Наиболее простым и дешевым является болтовое соединение.

Болт – цилиндрический стержень с винтовой нарезкой, снабженный головкой. Головка, чаще всего, шестигранная с размером под ключ, но может быть и другой формы: четырехгранной, цилиндрической с шестигранным углублением под ключ, цилиндрической с лысками и т.п. На нарезанную часть стержня *наворачивают гайку* (рис. 1.3, а).

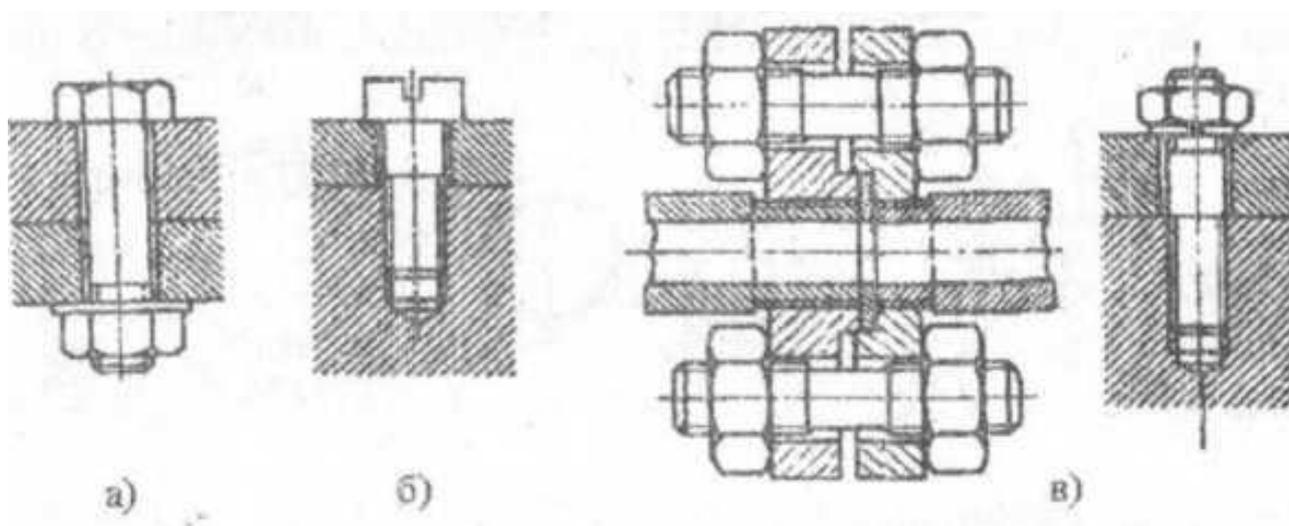


Рис. 1.3 Резьбовые соединения деталей: а - болтовое; б - винтовое; в — шпилечное

Винт – подобен болту, но головка у него чаще всего, выполняется с прорезью (шлицем) под отвертку, но может быть и под ключ, т.е. шестигранной,

четырехгранной и т.п. Винт *вворачивают в резьбовое отверстие одной из соединяемых деталей*, толщина которой, как правило, значительно больше толщины другой (рис. 1.3, б). Основные типы болтов и винтов показаны на рисунке 1.4.

Шпилька – цилиндрический стержень, имеющий резьбу на обоих концах. Одним концом (посадочным) ее ввертывают в резьбовое отверстие одной из деталей, а на второй конец (стяжной) после установки соединяемой детали наворачивают гайку. В некоторых случаях шпильку используют с применением двух гаек (рис. 1.3, в).

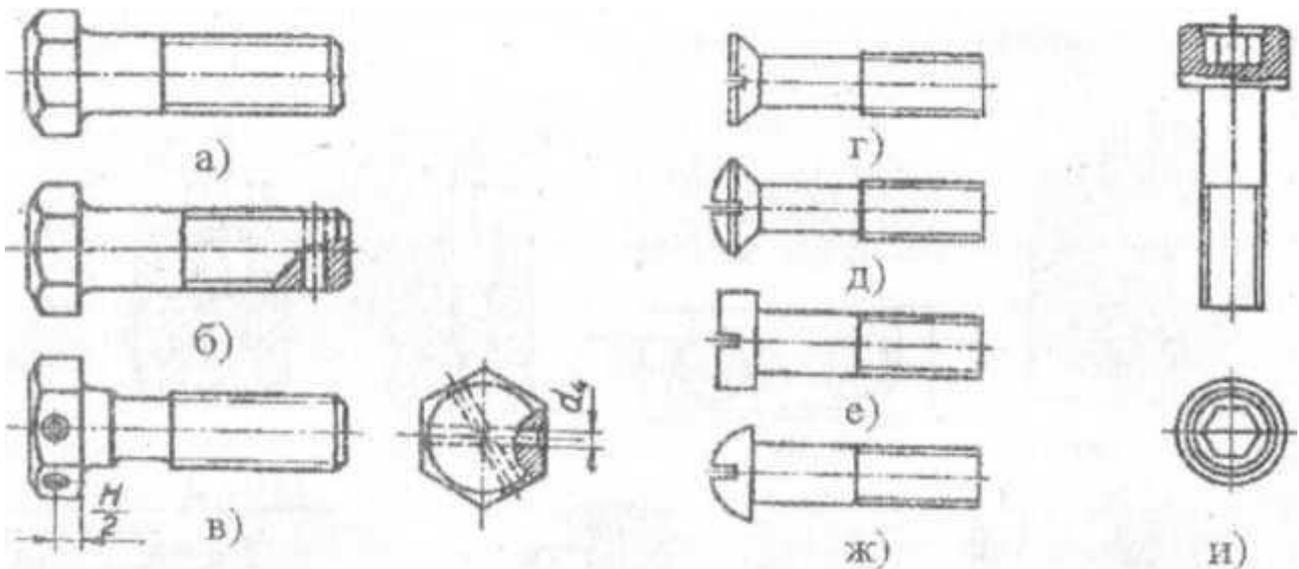


Рис. 1.4. Основные типы болтов и винтов: *а* – болт с шестигранной головкой; *б* – болт со шплинтовым отверстием в стержне; *в* – болт с отверстиями в головке для стопорения; винты с головками: *г* – потайной; *д* – полупотайной; *е* – цилиндрической; *ж* – полукруглой; *и* – цилиндрической с шестигранным углублением под ключ

Гайка – крепежная деталь с внутренней резьбой. Гайки имеют различную форму и конструкцию (рис. 1.5). Наиболее распространены шестигранные, реже четырехгранные; применяют также специальные гайки – прорезные, корончатые, круглые, гайки-барашки и др.

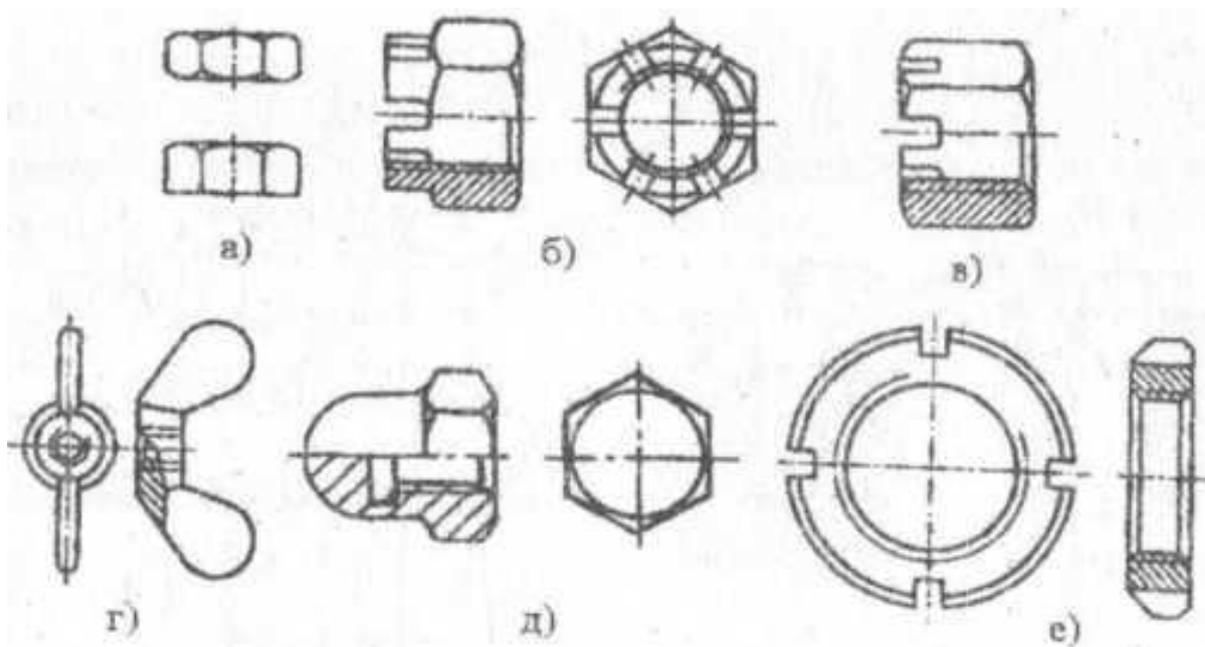


Рис. 1.5. Типы гаек: *а* – шестигранные; *б* – шестигранные корончатые; *в* – шестигранные прорезные; *г* – гайка-барашек; *д* – колпачковая; *е* – круглая

Шайба – металлическая пластинка с отверстием. Устанавливается для увеличения опорной поверхности под гайкой, а также исключения перекоса гайки, когда поверхности соединяемых деталей имеют неровности; для предохранения поверхностей деталей от повреждения гранями гайки.

1.2.3. Стопорение резьбовых соединений

Несмотря на то, что применяемая в крепежных деталях треугольная резьба обеспечивает самоторможение, иногда, особенно при вибрационных и динамических нагрузках, возможно самоотвинчивание.

Для предотвращения самоотвинчивания крепежных деталей, т.е. для повышения надежности резьбовых соединений, применяют различные способы их стопорения. Наиболее распространенные приведены на рисунке 1.6.

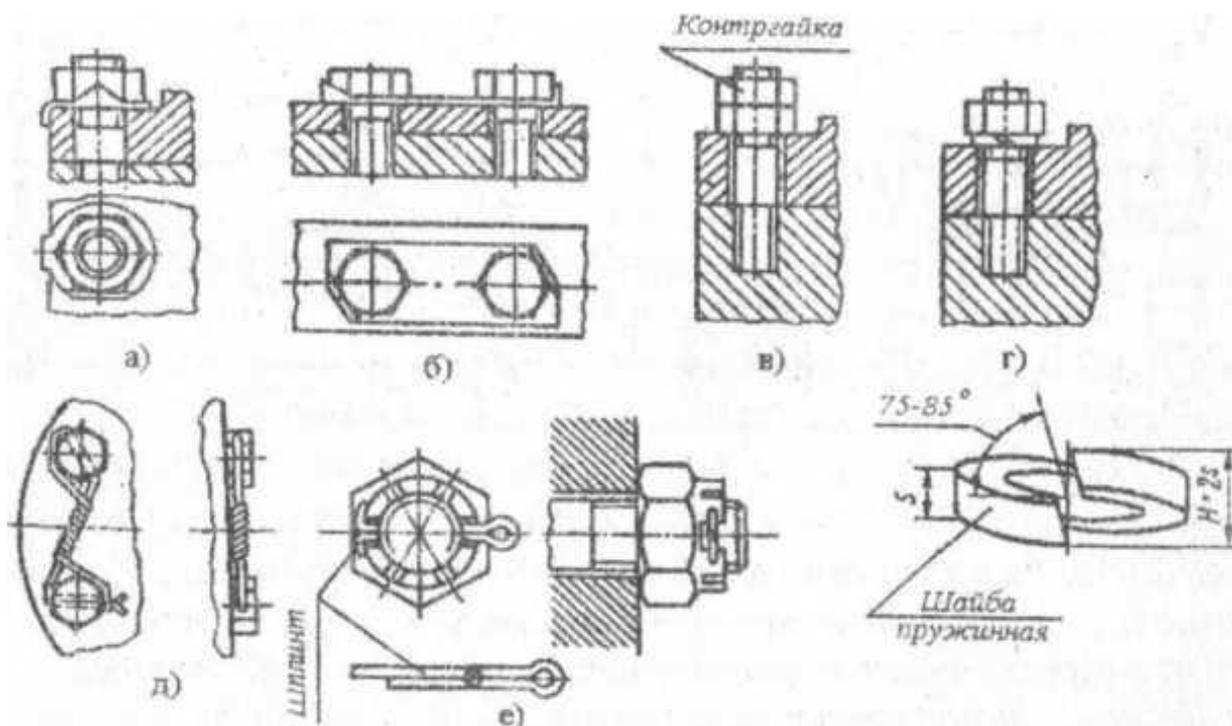


Рис. 1.6. Способы стопорения резьбовых соединений: *a* – стопорной шайбой с лапкой; *б* – стопорной пластиной; *в* – установкой контргайки; *г* – пружинной шайбой; *д* – вязкой проволокой; *е* – установкой шплинта

1.2.4. Шпоночные соединения

Это разъемные соединения с помощью специальных деталей – **шпонок**, устанавливаемых в пазы вала и ступицы. Основное назначение шпонки – передача вращающего момента от вала к деталям. Шпонки делятся на *клиновые*, образующие напряженные соединения; *призматические* и *сегментные* – для ненапряженных соединений (рис. 1.7).

Клиновые шпонки запрессовывают (забивают) в пазы вала и ступицы, что смещает оси соединяемых деталей на величину δ . Это приводит к смещению центра масс и появлению неуравновешенной силы, создающей дополнительные нагрузки на опоры вала. Вращающий момент передается силами трения, возникающими при забивании шпонки.

Для передачи больших вращающих моментов при реверсивном движении применяют тангенциальные шпонки. Каждая шпонка состоит из двух клиньев,

положение которых друг относительно друга после сборки должно быть зафиксировано, например, *штифтом*.

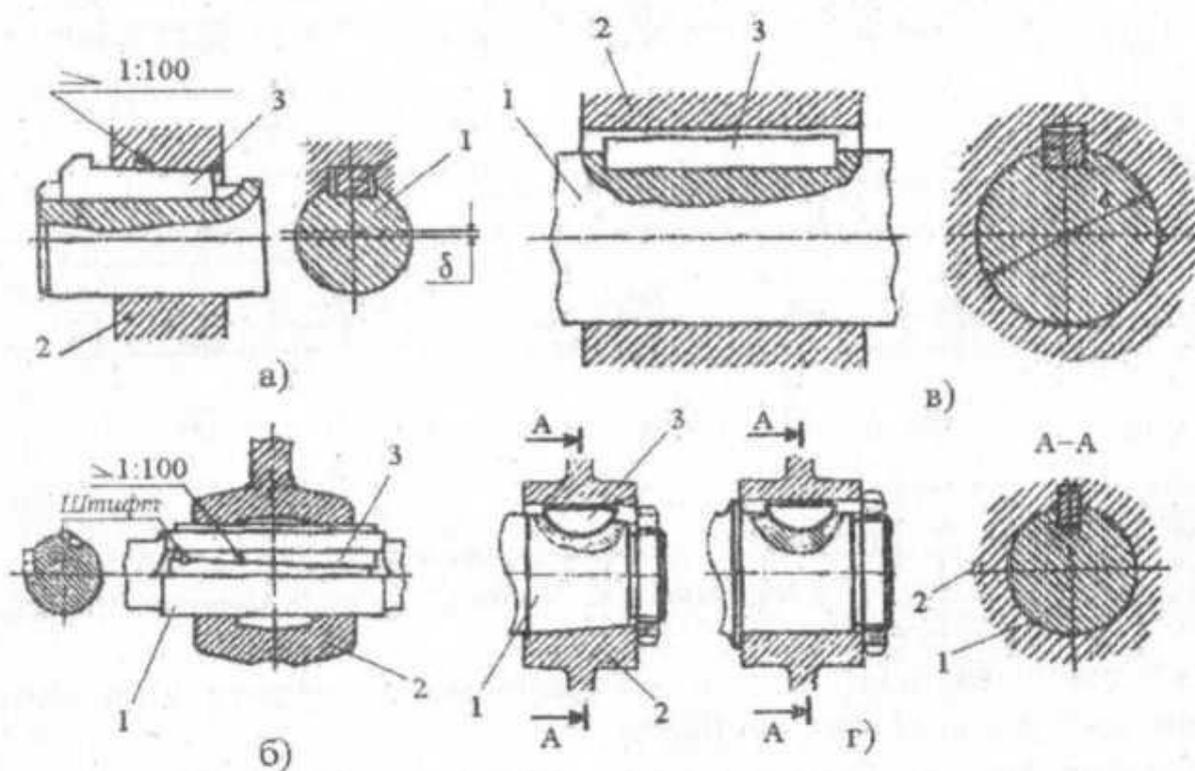


Рис. 1.7. Шпоночные соединения деталей: а – клиновой шпонкой; б – тангенциальными шпонками; в – призматической шпонкой; г – сегментной шпонкой; 1 – вал; 2 – ступица детали; 3 – шпонка

Тангенциальные шпонки ставят попарно под углом 120° или 180° и ориентируют их в противоположном направлении, т.к. каждая шпонка передает вращающий момент в одну сторону. Натяг между ступицей и валом у них создается не в радиальном (как у клиновых), а в касательном (тангенциальном) направлении.

Напряженные шпоночные соединения, как правило, деформируют соединяемые детали, вызывают неуравновешенность деталей и часто требуют индивидуальной пригонки шпонки по пазу. Это недопустимо в условиях массового производства.

Перечисленные недостатки ограничивают применение напряженных шпоночных соединений в современном машиностроении.

Призматические шпонки (рис. 1.8) закладывают в паз вала (их называют закладными), они передают вращающий момент боковыми гранями.

Соединение не воспринимает осевые нагрузки, поэтому можно осуществить подвижное соединение деталей. В этом случае для обеспечения правильного положения шпонок, их обычно крепят к валу или ступице.

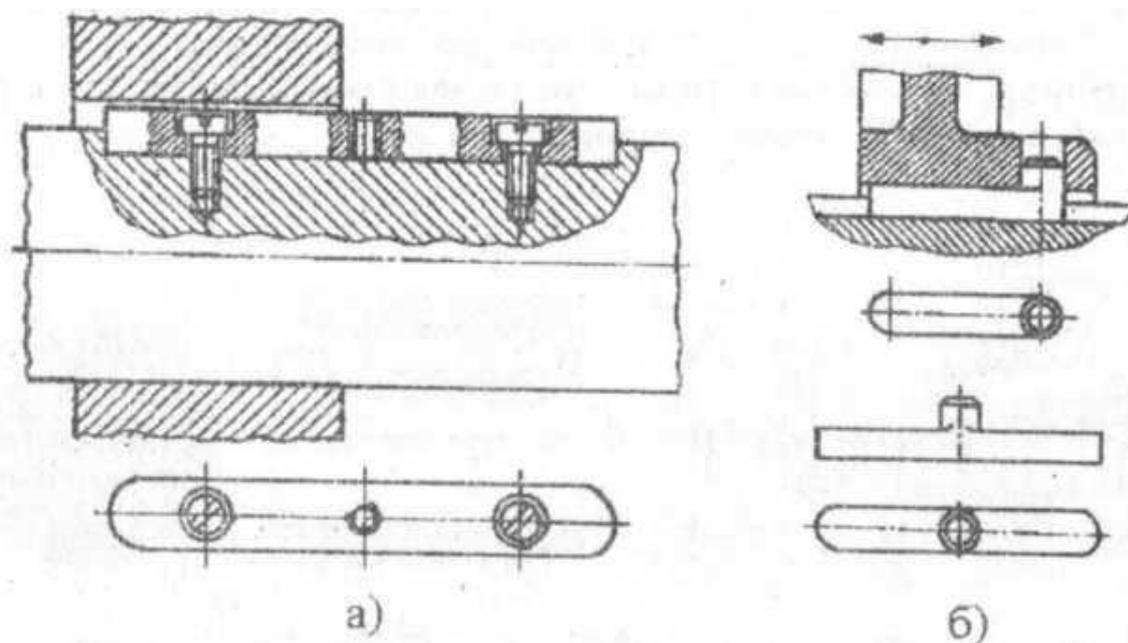


Рис. 1.8. Подвижные соединения призматическими шпонками: *а* – крепление шпонки на валу (направляющая шпонка); *б* – крепление шпонки в ступице (скользящая шпонка)

Разновидностью призматических шпонок по принципу работы являются сегментные. Соединения этими шпонками технологичны, удобны при сборочных операциях. Однако глубокий паз значительно ослабляет вал, поэтому их применяют при передаче небольших вращающих моментов или для фиксации деталей на осях.

1.2.5. Зубчатые (шлицевые) соединения

Это разъемные соединения, образованные зацеплением наружных зубьев (шлицев) на валу 1 с внутренними зубьями в отверстии ступицы 2 (рис. 1.9, а).

Это соединение называют также многошпоночным, у которого шпонки выполнены заодно целое с валом.

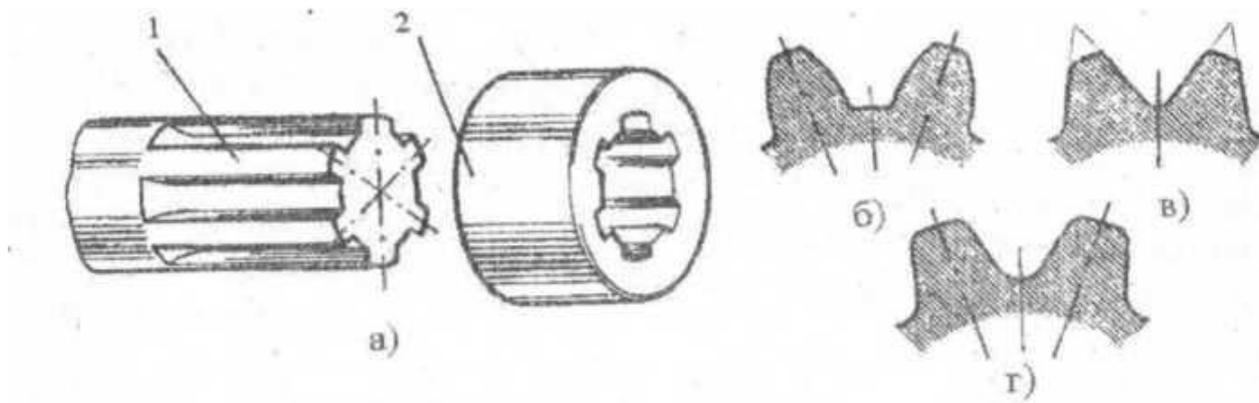


Рис. 1.9. Разновидности шлицевых соединений: а – прямобочное;
б – эвольвентное; в – треугольное; г – трапецеидальное;
1 – вал; 2 – ступица

Шлицевые соединения, по сравнению со шпоночными, имеют меньшее число деталей, значительно большую нагрузочную способность, лучше центрируют соединяемые детали и более надежны при динамических и реверсивных нагрузках.

По форме боковых поверхностей шлицев различают соединения: прямобочные, эвольвентные, треугольные, трапецеидальные (рис. 1.9).

1.2.6. Штифтовые соединения

Это разъемные соединения деталей с применением *штифта*.

Штифт (от нем. Stift) – крепёжное изделие в виде цилиндрического или конического стержня, предназначенное для неподвижного соединения. Штифт плотно вставляется в отверстие, проходящее через обе детали, предотвращая их взаимное смещение (рис. 1.10).

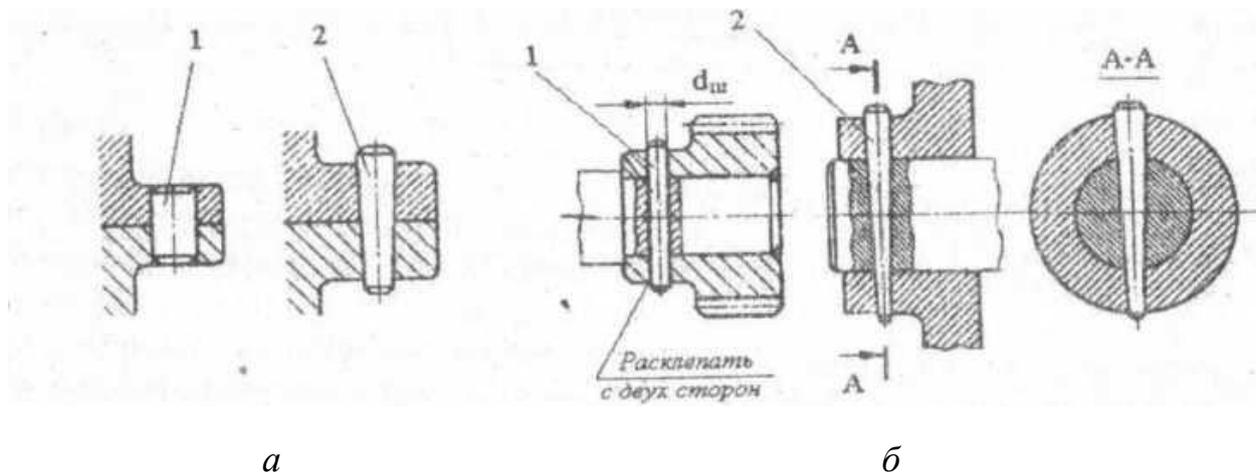


Рис. 1.10. Штифтовые соединения деталей: *а* – для фиксации взаимного положения деталей; *б* – для передачи вращающего момента: 1 – штифт цилиндрический; 2 – штифт конический

Их используют для фиксации взаимного положения деталей (при совместной механической обработке и последующей сборке), а также для передачи сравнительно небольших вращающих моментов.

Конструкция и размеры штифтов регламентированы стандартами, основные из них: *гладкие цилиндрические* или *конические*, *насечные цилиндрические* или *конические*, *пружинные*. Достоинствами штифтовых соединений являются технологичность, простота и низкая стоимость недостатком – ослабление сечения вала отверстием.

1.3. Вопросы для самоконтроля

1. Как определяют уровень механизации строительства?
2. Что такое объем полезной работы в единицу времени?
3. Как классифицируются соединения деталей?
4. Как различают резьбы по направлению винтовой линии?
5. Какой профиль резьбы применяется на деталях общего назначения в соединениях строительных машин?

6. В чем особенности болтового, винтового, шлицевого, шпоночного и штифтового соединений деталей машин?
7. Что такое шайба в соединениях деталей машин?
8. Какие гайки наиболее распространены в строительном машиностроении?
9. Как осуществляется стопорение резьбовых соединений?
10. В чем отличие болтового соединения деталей от винтового?
11. Как различают шлицы по форме боковых поверхностей?
12. Какие недостатки ограничивают применение напряженных шпоночных соединений в современном машиностроении?
13. Под каким углом ставят тангенциальные шпонки?
14. Какое основное назначение штифтового соединения?
15. Какие достоинства имеют штифтовые соединения?

Глава 2. Машиностроительные материалы

Детали машин изготавливают из конструкционных материалов, которые обладают требуемой прочностью и способностью воспринимать силовые нагрузки. Они делятся на *металлические, неметаллические и композиционные*.

2.1. Металлические материалы

Металлы и сплавы на их основе широко применяют в машиностроении. Они делятся на *черные и цветные*.

Черные металлы – техническое название железа и его сплавов, **цветные металлы** – техническое название всех остальных металлов и их сплавов.

Черные, подразделяемые на *стали и чугуны*, представляют собой сплав железа с углеродом.

Они обладают высокой прочностью и жесткостью, имеют сравнительно невысокую стоимость. Основные недостатки черных металлов – высокая плотность и слабая коррозионная стойкость.

2.1.1. Черные металлы и их сплавы

Стали

Сталь – сплав железа с углеродом и легирующими элементами с процентным содержанием углерода менее 2,14%.

Классификация сталей

Стали можно подразделить на две основные группы – *углеродистые и легированные*. Под *легированием* подразумевают введение в состав стали дополнительных элементов, как металлов, так и неметаллов с целью достижения требуемых эксплуатационных свойств.

Различают классификации сталей: по процентному содержанию углерода, по химическому составу, по качеству (по способу производства и содержанию вредных примесей), по степени раскисления и характеру затвердевания металла в изложнице, а также по назначению.

Классификация сталей по процентному содержанию углерода:

- доэвтектоидные ($C < 0,8\%$);
- эвтектоидные ($C = 0,8\%$);
- заэвтектоидные ($C > 0,8\%$).

По химическому составу углеродистые стали различают в зависимости от содержания углерода на следующие группы:

- малоуглеродистые - менее $0,3\% C$;
- среднеуглеродистые - $0,3...0,7\% C$;
- высокоуглеродистые - более $0,7\% C$.

В легированных сталях их классификация по химическому составу определяется суммарным процентом содержания легирующих элементов:

- низколегированные - менее $2,5\%$;
- среднелегированные - $2,5... 10\%$;
- высоколегированные - более 10% .

Легированные стали и сплавы делятся также на классы по структурному составу: в отожженном состоянии - *доэвтектоидный, заэвтектоидный, ледебуритный (карбидный), ферритный, аустенитный*; в нормализованном состоянии - *перлитный, мартенситный и аустенитный*. К перлитному классу относят углеродистые и легированные стали с низким содержанием легирующих элементов, к мартенситному - с более высоким, а к аустенитному - с высоким содержанием легирующих элементов.

По качеству, то есть по условиям производства (способу производства и содержанию вредных примесей – серы и фосфора), стали и сплавы делятся на следующие группы (сера, % фосфор, %):

- обыкновенного качества (рядовые) менее $0,06$ менее $0,07$;
- качественные менее $0,04$ менее $0,035$;
- высококачественные менее $0,025$ менее $0,025$;
- особо высококачественные менее $0,015$ менее $0,025$.

Стали обыкновенного качества по химическому составу - углеродистые стали, содержащие до $0,6\% C$. Эти стали выплавляются в конвертерах с применением кислорода или в больших мартеновских печах. Стали

обыкновенного качества, являясь наиболее дешевыми, уступают по механическим свойствам сталям других классов, так как отличаются повышенными ликвацией (химической и структурной неоднородностью) и количеством неметаллических включений.

Стали качественные по химическому составу бывают углеродистые или легированные. Они также выплавляются в конвертерах или в основных мартеновских печах, но с соблюдением более строгих требований к составу шихты, процессам плавки и разливки.

Стали обыкновенного качества и качественные по степени раскисления и характеру затвердевания металла в изложнице делятся на *спокойные* (сп), *полуспокойные* (пс) и *кипящие* (кп). Каждый из этих сортов отличается содержанием кислорода, азота и водорода. Так в кипящих сталях содержится наибольшее количество этих элементов.

Стали *высококачественные* выплавляются преимущественно в электропечах, а *особо высококачественные* - в электропечах с электрошлаковым переплавом (ЭШП) или другими совершенными методами, что гарантирует повышенную чистоту по неметаллическим включениям и содержанию газов, а следовательно, улучшение механических свойств.

По назначению стали классифицируются:

- *конструкционные;*
- *инструментальные;*
- *с особыми физическими и химическими свойствами.*

Конструкционные стали

Конструкционные стали предназначены для изготовления деталей машин и конструкций. Следовательно, такие детали в процессе эксплуатации подвергаются всем видам нагрузок, а именно статическим, циклическим и динамическим. Поэтому, все конструкционные стали являются доэвтектонидными. Существующая классификация делит конструкционные стали на:

- *машиностроительные;*

- *арматурные* (иначе их называют строительными), сварка коих отличается простотой и надежностью.

Кроме того, марки таких сплавов причисляются к одной из двух групп – стали *специального* (относятся к третьей группе в классификации по назначению) и *общего* назначения.

В данном учебном пособии мы рассматриваем детали машин, применяемые в строительном машиностроении и средствах механизации строительства, поэтому следует отметить, что машиностроительная сортовая продукция всегда имеет специальный набор механических характеристик. Они проверяются на соответствие требованиям по следующим показателям:

- ударная вязкость;
- пластичность;
- прочность.

Предусматривается еще одна классификация рассматриваемых машиностроительных сталей, которая учитывает метод их упрочнения. В соответствии с ней сортовая сталь может быть:

- с упрочнением верхнего слоя;
- без обработки;
- с упрочнением по всему объему.

Многие марки конструкционных машиностроительных металлов (например, Ст3, 15кп, 08кп и другие) применяются без термообработки, они производятся и отпускаются потребителям в листах. К такой продукции предъявляют одно основное требование – малое количество кремния и углерода. Незначительное содержание указанных элементов обеспечивает материалу отличную вытяжку (то есть сортовая сталь легко деформируется) в холодном виде. Также в этом случае отмечается качественная сварка изделий из машиностроительных сталей.

Из сталей в зависимости от назначения деталей и гарантируемых механических или химических характеристик применяют:

а) стали углеродистые обыкновенного качества (марки от Ст0 до Ст6) для крепежных деталей, фасонного проката общего применения, деталей передач, муфт и т.д.;

б) стали углеродистые качественные конструкционные (марки от 08 до 85), для изготовления деталей общемашиностроительного применения, подвергающихся механической, термической, химико-термической и др. видам обработки;

в) стали легированные конструкционные (марки 20Х, 35Х, 30ХМА, 18ХГ, 30ХГС, 23Х2Г2Т и др.) применяют для высокоответственных деталей, подвергающихся термической или химико-термической обработке;

По легирующим элементам среди конструкционных легированных сталей по ГОСТу выделяют следующие группы:

1. Хромистые стали: 15Х, 15ХА, 20Х, 30Х, 30ХРА, 35Х, 38ХА, 40Х, 45Х, 50Х. Имеют по сравнению с углеродистыми повышенные прочность, износостойкость, а при повышенном содержании хрома – повышенное сопротивление коррозии. Благодаря этим свойствам, а также относительно невысокой стоимости их широко применяют в машиностроении для деталей сравнительно небольших сечений. Ввиду недостаточно хорошей прокаливаемости применение этих сталей для деталей больших сечений неэффективно.

2. Марганцовистые стали: 15Г, 20Г, 25Г, 30Г, 35Г, 40Г, 40ГР, 45Г, 50Г, 10Г2, 30Г2, 35Г2, 40Г2, 45Г2, 50Г2, 47ГТ.

3. Хромомарганцевые стали: 18ХГ, 18ХГТ, 20ХГР, 27ХГР, 25ХГТ, 30ХГТ, 40ХГТР, 25ХГМ, 38ХГМ.

4. Хромокремнистые стали: 33ХС, 38ХС, 40ХС.

5. Хромомолибденовые и хромомолибденванадиевые стали: 15ХМ, 20ХМ, 30ХМ, 30ХМА, 35ХМ, 38ХМ, 30ХЗМФ, 40ХМФА. Применяют для деталей, требующих малых деформаций при термической обработке или работающих в условиях высоких температур. Благодаря хорошей

обрабатываемости эти стали применяют для зубчатых колес, у которых зубья нарезают после улучшения.

6. Хромованадиевые стали: 15ХФ, 40ХФА.

7. Никельмолибденовые стали: 15Н2М, 20Н2М.

8. Хромоникелевые стали: 12ХН, 20ХН, 40ХН, 45ХН, 50ХН, 20ХНР, 12ХН2, 12ХН3А, 20ХН3А, 30ХН3А, 12Х2Н4А, 20Х2Н4А. Обладают высокой прокаливаемостью, сочетают в себе высокую прочность и износостойкость с повышенной вязкостью; поэтому их применяют для ответственных и напряженных деталей больших сечений.

9. Хромокремнемарганцевые стали: 20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГС, 30ХГСА, 35ХГСА, 30ХГСН2А. Обладают наилучшими механическими свойствами и относительной простотой обработки среди сталей, не содержащих дорогих компонентов.

10. Хромомарганцевоникелевые стали: 15ХГН2ТА, 20ХГНР, 20ХГНТР, 38ХГН, 14ХГН, 19ХГН.

11. Хромоникельмолибденовые стали: 20ХН2М, 30ХН2МА, 38Х2Н2МА, 40ХН2МА, 40Х2Н2МА, 38ХН3МА, 18Х2Н4МА, 25Х2Н4МА. Применяют для наиболее ответственных деталей сильнонапряженных машин.

12. Хромоникельванадиевые стали: 30ХН2МФА, 36Х2Н2МФА, 38ХН3МФА, 45ХН2МФА, 20ХН4ФА.

13. Хромоалюминиевая сталь с молибденом: 38Х2МЮА.

14. Хромомарганцевоникелевые стали с молибденом и титаном: 20ХГНМ, 40ХГНМ, 25ХГНМТ.

Инструментальные стали

Инструментальная сталь представляет собой сплав, содержание углерода в котором составляет не менее 0,7% и предназначена в основном для изготовления инструмента – отсюда и название стали. Они должны обладать высокой твердостью и износостойкостью.

Инструментальные стали подразделяют на:

- легированные;

- быстрорежущие .

В современной промышленности инструментальные стали нашли широкое применение. Их используют для производства:

- рабочих деталей штампов, работающих по принципу холодного и горячего деформирования;
- высокоточных изделий;
- режущего инструмента;
- измерительных приборов;
- литейных прессформ, которые работают под давлением.

Стали с особыми физическими и химическими свойствами

В данную группу попадают стали при производстве которых ориентируются на специфические условия в которых будут эксплуатироваться детали и элементы конструкций изготовленных из них.

Распространена их классификация на такие категории:

- литейные;
- автоматные;
- износостойкие;
- коррозионностойкие;
- шарикоподшипниковые;
- пружинные;
- жаростойкие;
- криогенные;
- жаропрочные.

Достижение особых свойств приведенных категорий сталей выполняется за счет подбора особого химического состава – легированием.

Общие правила обозначения марок сталей:

В маркировке конструкционных сталей первые две цифры в обозначении марки указывают среднюю массовую долю углерода в сотых долях процента.

Буквы в обозначении указывают на легирующие элементы: В – вольфрам, Г – марганец, М – молибден, Н – никель, Ю – алюминий, Ц – цирконий, Д – медь,

К – кобальт, С – кремний, Ф – ванадий, Т – титан, Х – хром, Р – бор, Б – ниобий, Е – селен, А – азот, ч – редкоземельные элементы.

Цифры, стоящие после букв, указывают примерную массовую долю в процентах соответствующего легирующего элемента. Отсутствие цифры означает, что в марке содержится до 1,5% этого легирующего элемента. Буква А в конце наименования марки обозначает «высококачественная сталь», т.е. сталь с уменьшенным содержанием вредных примесей – фосфор до 0,025%, сера до 0,025%. «Особовысококачественная» сталь (с содержанием фосфора до 0,025% и серы до 0,015%) обозначается буквой Ш через тире в конце наименования марки. Например, качественная – 30ХГС; высококачественная – 30ХГСА; особовысококачественная – 30ХГС– Ш, 30ХГСА–Ш.

В обозначении марок инструментальных сталей первые цифры означают массовую углерода в десятых долях процента (например, сталь У10 содержит 1% углерода).

Чугуны

Чугун – сплав железа с углеродом и легирующими элементами с процентным содержанием углерода более 2,14%.

Классификация чугунов

Различают классификации сталей: по процентному содержанию углерода, по химическому составу, по назначению, по форме включения графита и по степени графитизации.

По процентному содержанию углерода:

- доэвтектический ($C < 4,3\%$);
- эвтектический ($C = 4,3\%$);
- заэвтектический ($C > 4,3\%$).

По химическому составу:

- легированные;
- нелегированные.

В зависимости от назначения:

- конструкционный;

- чугун со специальными свойствами.

По форме включения графита:

- пластинчатая;
- шаровидный;
- хлопьевидный;
- вермикулярный.

В зависимости от степени графитизации, обуславливающий вид излома:

- серый;
- белый;
- половинчатый.

Из чугунов наиболее широко применяют:

а) чугун серый (марки от СЧ 10 до СЧ 35), обладающий высокими литейными качествами, хорошо обрабатываемый режущим инструментом. Применяют для изготовления деталей сложной конфигурации: корпусов редукторов, шкивов, блоков цилиндров, зубчатых колес, корпусов насосов, муфт и т.п.;

б) чугун ковкий (марки от КЧ 30-6 до КЧ 63-2), обладающий хорошими литейными качествами и хорошо обрабатываемый механическим способом. Применяют для отливок простой формы, имеющих небольшую толщину стенок и работающих в условиях динамических нагрузок;

в) чугун высокопрочный (марки от ВЧ 35 до ВЧ 100), отличающийся высокими механическими свойствами, имеющий хорошую коррозионную стойкость, жаростойкость и допускающий сварку, и автогенную резку. Применяют для отливок сложной формы: барабанов лебедок, шаботов молотов, коленчатых валов и т.п.;

г) чугуны легированные (хромистые ЧХ1...ЧХ32, кремнистые ЧС5...ЧС15МЗ, алюминиевые ЧЮХ...ЧЮ30 и др.) в состав которых входят один или несколько легирующих элементов. Эти элементы придают чугуну специальные свойства: жаростойкость, окислительную и коррозионную стойкость, износостойкость, хладостойкость и др.

Сопряжение классификаций и ГОСТов чугунов:

Чугун с пластинчатым графитом (ГОСТ 1412–85), также называемый серым чугуном. Серый чугун является основным литейным материалом. В нем большая часть углерода находится в свободном состоянии в виде пластинчатого графита.

ГОСТ предусматривает следующие марки чугуна: СЧ10; СЧ15; СЧ20; СЧ25; СЧ30; СЧ35. По требованию потребителя для изготовления отливок допускаются марки чугуна СЧ18, СЧ21 и СЧ24. Условное обозначение марки включает буквы СЧ – серый чугун – и цифровое обозначение величины минимального временного сопротивления при растяжении в кгс/мм² (МПа·10⁻¹). Пример условного обозначения: СЧ15 ГОСТ 1412–85.

Предел прочности на изгиб в 1,5 (для прочных чугунов) и 2,2 (для чугунов малой прочности) раза больше временного сопротивления при растяжении. Серые чугуны используют преимущественно для деталей относительно сложной конфигурации, требующих литой заготовки при отсутствии жестких требований к габаритам и массе деталей, а также при невысоких скоростях скольжения на поверхностях трения. По массе чугунные детали в стационарных машинах занимают первое место; например, в станках масса чугунных деталей составляет 60...80%. Он хорошо обрабатывается резанием, имеет сравнительно низкую стоимость и удовлетворительную износостойкость.

Чугун с шаровидным графитом (ГОСТ 7293–85), также называемый высокопрочным чугуном. Применяется при повышенных требованиях к прочности; обрабатывается в расплавленном состоянии присадками магния или церия, что придает графиту шаровидную форму и тем самым сильно уменьшает внутреннюю концентрацию напряжений.

ГОСТ предусматривает следующие марки чугуна: ВЧ 35, ВЧ 40, ВЧ 45, ВЧ 50, ВЧ 60, ВЧ 70, ВЧ 80, ВЧ 100. Условное обозначение марки включает буквы ВЧ – высокопрочный чугун – и цифровое обозначение величины минимального временного сопротивления при растяжении в кгс/мм² (МПа·10⁻¹). Пример условного обозначения: ВЧ 50 ГОСТ 7293–85.

Предел выносливости высокопрочных чугунов с шаровидным графитом при средних размерах сечений приближается к пределу выносливости стали 45 и до двух раз выше, чем у обычного чугуна СЧ20 с пластинчатым графитом; модуль упругости $(1,6...1,9) \cdot 10^6$ МПа. Таким образом, чугун с шаровидным графитом может успешно заменять стальные отливки и использоваться вместо сталей для деталей, работающих в условиях значительных переменных напряжений. Характерным примером таких деталей являются коленчатые валы двигателей многих тракторов и автомобилей.

Чугун с вермикулярным графитом (ГОСТ 28394–89). Вермикулярная (червеобразная) форма графита определяется обработкой жидкого чугуна активными модификаторами, такими как магний, кальций, церий и другими, а также условиями кристаллизации. Округленная форма вермикулярного графита меньше разупрочняет металлическую матрицу по сравнению с пластинчатым графитом.

ГОСТ предусматривает следующие марки чугуна: ЧВГ 30, ЧВГ 35, ЧВГ 40, ЧВГ 45. Условное обозначение марки включает: букву Ч – чугун; буквы ВГ – форма графита (вермикулярный графит) и цифровое обозначение минимального значения временного сопротивления разрыву при растяжении в кгс/мм² (МПа·10⁻¹). Пример условного обозначения: ЧВГ 30 по ГОСТ 28394.

Чугуны с вермикулярным графитом представляют собой литейные чугуны, обладающие промежуточными механическими свойствами между серыми чугунами и высокопрочными. Они удачно комбинируют прочность, теплопроводность и прочие свойства; обладают хорошими литейными характеристиками и требуют технологического контроля, который применяется при производстве высокопрочных чугунов.

Чугун с вермикулярным графитом – это относительно новый материал; с каждым годом машиностроительная отрасль все больше отдает ему предпочтение. ЧВГ применяется, в частности, в автомобильной промышленности при изготовлении двигателей, которые работают при очень высоком давлении и для которых требуются более легкие и прочные материалы,

способные поглощать больше мощности. Масса блока двигателя из чугуна с вермикулярным графитом примерно на 20% меньше по сравнению с блоком двигателя из серого чугуна. Среди других деталей можно назвать головки цилиндров и дисковые тормоза.

Ковкий чугун (ГОСТ 1215-79). Получается отжигом белого чугуна. Белый чугун, в свою очередь, закаливается при отливке и имеет весь углерод в связанном состоянии; характеризуется высокой твердостью (трудно обрабатывается резанием), высокой износостойкостью и жаростойкостью, высоким сопротивлением коррозии.

В зависимости от состава микроструктуры металлической основы ковкий чугун делят на *ферритный* (Ф) и *перлитный* (П) классы.

ГОСТ предусматривает следующие марки чугуна:

КЧ 30–6; КЧ 33–8; КЧ 35–10; КЧ 37–12 ферритного класса, характеризующегося ферритной или ферритно-перлитной микроструктурой металлической основы;

КЧ 45–7; КЧ 50–5; КЧ 55–4; КЧ 60–3; КЧ 65–3; КЧ 70–2; КЧ 80–1,5 перлитного класса, характеризующегося в основном перлитной микроструктурой металлической основы

Условное обозначение марки включает: буквы КЧ – ковкий чугун; первое цифровое обозначение – величина минимального временного сопротивления при растяжении в кгс/мм² (МПа·10⁻¹); второе цифровое обозначение – относительное удлинение при разрыве в %. Примеры условного обозначения: КЧ 30–6–Ф ГОСТ 1215–79; КЧ 60–3–П ГОСТ 1215–79.

Ковкий чугун применяют для деталей, требующих по своей форме литой заготовки, но допускающих хотя бы случайную ударную нагрузку. Название «ковкий чугун» условное; заготовки из него получают только отливкой, давлением ковкий чугун не обрабатывают. Ковкий чугун обладает хорошими литейными свойствами, высокой прочностью, высоким модулем упругости.

2.1.2. Цветные металлы и их сплавы

К основным машиностроительным цветным металлам относят следующие: алюминий, медь, титан, олово, никель, цинк, свинец.

Алюминий (ГОСТ 11069-2001).

В зависимости от химического состава первичный алюминий подразделяется на алюминий *высокой* и технической чистоты.

Установлены следующие марки *алюминия высокой чистоты*: А995 – содержание Al не менее 99,995%; А99 – содержание Al не менее 99,99%; А98 – содержание Al не менее 99,98%; А97 – содержание Al не менее 99,97%; А95 – содержание Al не менее 99,95%.

Установлены следующие марки *алюминия технической чистоты*: А85 – содержание Al не менее 99,85%; А8 – содержание Al не менее 99,8%; А7 – содержание Al не менее 99,7%; А6 – содержание Al не менее 99,6%; А5 – содержание Al не менее 99,5%; А35 – содержание Al не менее 99,35%; А0 – содержание Al не менее 99,0%.

Медь (ГОСТ 859-2001).

Установлены следующие марки литой и деформированной меди: М00 – содержание Cu не менее 99,96%; М0 – содержание Cu и Ag не менее 99,93%; М1 – содержание Cu и Ag не менее 99,9%; М2 – содержание Cu и Ag не менее 99,7%; М3 – содержание Cu и Ag не менее 99,5%.

Титан (ГОСТ 19807-91).

Установлены следующие марки титана и деформируемых титановых сплавов, в зависимости от содержания в них алюминия, ванадия, молибдена, циркония, кремния, железа, кислорода, водорода и прочих примесей: ВТ1-00, ВТ1-0, ВТ1-2, ОТ4-0, ОТ4-1, ОТ4, ВТ5, ВТ5-1, ВТ6, ВТ3-1, ВТ8, ВТ9, ВТ14, ВТ20, ВТ22, ПТ-7М, ПТ-3В, АТ3.

Олово (ГОСТ 860-75).

Установлены следующие марки олова: ОВЧ 000 – содержание Sn не менее 99,999%; О1 пч – содержание Sn не менее 99,915%; О1 – содержание Sn не менее

99,9%; O2 – содержание Sn не менее 99,565%; O3 – содержание Sn не менее 98,49%; O4 – содержание Sn не менее 96,43%.

Никель (ГОСТ 849-2008).

Установлены следующие марки никеля: Н-0 – содержание никеля и кобальта не менее 99,99%, в том числе кобальта не более 0,005%; Н-1у – содержание никеля и кобальта не менее 99,95%, в том числе кобальта не более 0,1%; Н-1 – содержание никеля и кобальта не менее 99,93%, в том числе кобальта не более 0,1%; Н-2 – содержание никеля и кобальта не менее 99,8%, в том числе кобальта не более 0,15%; Н-3 – содержание никеля и кобальта не менее 98,6%, в том числе кобальта не более 0,7%; Н-4 – содержание никеля и кобальта не менее 97,6%, в том числе кобальта не более 0,7%.

Цинк (ГОСТ 3640-94).

Установлены следующие марки цинка: ЦВ00 – содержание цинка не менее 99,997%; ЦВ0 – содержание цинка не менее 99,995%; ЦВ – содержание цинка не менее 99,99%; Ц0А – содержание цинка не менее 99,98%; Ц0 – содержание цинка не менее 99,975%; Ц1 – содержание цинка не менее 99,95%; Ц2 – содержание цинка не менее 98,7%; Ц3 – содержание цинка не менее 97,5%.

Свинец (ГОСТ 3778-98).

Установлены следующие марки свинца: С0 – содержание свинца не менее 99,992%; С1С – содержание свинца не менее 99,99%; С1 – содержание свинца не менее 99,985%; С2С – содержание свинца не менее 99,97%; С2 – содержание свинца не менее 99,95%; С3 – содержание свинца не менее 99,9%; С3С – содержание свинца не менее 99,5%.

В чистом виде цветные металлы довольно редко используются в машиностроении. Гораздо чаще используются сплавы на основе цветных металлов, характеризующиеся хорошей электропроводностью, сопротивлением коррозии, технологическими свойствами, малым удельным весом, низкой температурой плавления и т.д.

Рассмотрим *основные машиностроительные цветные сплавы*:

Латунь – это сплав на основе меди и цинка. Латунни разделяют на двойные и сложные, которые дополнительно содержат следующие компоненты: свинец, кремний, марганец, алюминий, железо, никель, олово.

Различают две основные группы латуней: *литейные* – обладающие высокими литейными качествами, и латунни, *обрабатываемые давлением* – допускающие обработку в холодном состоянии и прокатку в тонкие листы.

Латунни литейные (ГОСТ 17711-93). Стандартом установлены следующие марки: ЛЦ40С; ЛЦ40Мц1,5; ЛЦ40Мц3Ж; ЛЦ40Мц3А; ЛЦ38Мц2С2; ЛЦ37Мц2С2К; ЛЦ30А3; ЛЦ25С2; ЛЦ23А6Ж3Мц2; ЛЦ16К4; ЛЦ14К3С3.

Условные обозначения в марках: Л – латунь; другие буквы указывают на содержащиеся в латунни элементы: Ц – цинк, Мц – марганец, С – свинец, Ж – железо, К – кремний, А – алюминий, Б – бериллий, Мш – мышьяк, Н – никель, О – олово, Ф – фосфор, Су – сурьма, Мг – магний, Х – хром, Ср – серебро, Кд – кадмий. Условные обозначения элементов справедливы и при маркировке других цветных сплавов, если не будет оговорено иное. Цифры, стоящие после букв, указывают на среднюю массовую долю соответствующего элемента в процентах.

Латунни, обрабатываемые давлением (ГОСТ 15527-2004). Стандартом установлены следующие марки:

- двойные латунни: – Л96, Л90, Л85, Л80, Л70, Л68, Л63, Л60;
- свинцовые латунни: – ЛС74-3, ЛС64-2, ЛС63-3, ЛС59-1, ЛС58-2, ЛС58-3, ЛС59-2, ЛЖС58-1-1;
- сложнолегированные латунни: – ЛО90-1; ЛО70-1; ЛОМш701-0,05; ЛОМш70-1-0,04; ЛО62-1; ЛКБО62-0,2-0,04-0,5; ЛО60-1; ЛОК59-1-0,3; ЛАМш77-2-0,05; ЛАМш77-2-0,04; ЛА77-2; ЛАНКМц75-2-2,5-0,5-0,5; ЛК75В; ЛМш68-0,05; ЛК62-0,5; ЛАЖ601-1; ЛАН59-3-2; ЛЖМц58-2.

Условное обозначение марок отличается от обозначения литейных латуней. Вначале указывается буква Л, обозначающая латунь, далее идут буквенные обозначения элементов, и лишь после них указываются массовые доли этих

элементов (в процентах) в соответствующем порядке через дефис. Первое число в марке указывает на среднюю массовую долю меди.

Латуни характеризуются хорошим сопротивлением коррозии, электропроводностью, достаточной прочностью и особо хорошими технологическими свойствами. В связи с этим латуни применяют: для труб, гильз, проволоки; для арматуры; в приборах; в электрической аппаратуре, электромашиностроении и т.д.

Бронзы – сплавы на основе меди (за исключением латуни).

По химическому составу и по технологическим свойствам разделяются на *оловянные* и *безоловянные*, а также на *литейные* и обрабатываемые давлением.

Бронзы оловянные литейные (ГОСТ 613-79). Стандартом установлены следующие марки: БрО3Ц12С5, БрО3Ц7С5Н1, БрО4Ц7С5, БрО4Ц4С17, БрО5Ц5С5, БрО5С25, БрО6Ц6С3, БрО8Ц4, БрО10Ф1, БрО10Ц2, БрО10С10.

Бронзы оловянные, обрабатываемые давлением (ГОСТ 5017-2006). Стандартом установлены следующие марки: БрОФ8-0,3; БрОФ7-0,2; БрОФ6,5-0,4; БрОФ6,5-0,15; БрОФ4-0,25; БрОФ2-0,25; БрОЦ4-3; БрОЦС4-4-2,5; БрОЦС4-4-4.

Бронзы безоловянные литейные (ГОСТ 493-79). Стандартом установлены следующие марки: БрА9Мц2Л, БрА10Мц2Л, БрА9Ж3Л, БрА10Ж3Мц2, БрА10Ж4Н4Л, БрА11Ж6Н6, БрА9Ж4Н4Мц1, БрС30, БрА7Мц15Ж3Н2Ц2, БрСу3Н3Ц3С20Ф.

Бронзы безоловянные, обрабатываемые давлением (ГОСТ 18175-78). Стандартом установлены следующие марки: БрА5; БрА7; БрАМц9-2; БрАМц10-2; БрАЖ9-4; БрАЖМц10-3-1,5; БрАЖН10-44; БрБ2; БрБНТ1,9; БрБНТ1,9Мг; БрКМц3-1; БрКН1-3; БрМц5; БрАЖНМц9-4-4-1; БрМг0,3; БрСр0,1; БрХ1; БрКд1.

Условное обозначение марок бронз: Бр – бронза; далее указываются буквенные обозначения основных компонентов сплава (кроме меди) и их средние массовые доли в процентах. В литейных бронзах массовая доля указывается непосредственно после обозначения элемента; в бронзах,

обрабатываемых давлением, массовые доли указываются лишь после всех буквенных обозначений.

Бронзы обладают высокими антифрикционными свойствами, хорошим сопротивлением коррозии, универсальными технологическими свойствами. Все бронзы хорошо обрабатываются резанием. Указанные свойства позволяют широко применять бронзы: 1) в узлах трения – подшипниках скольжения, направляющих, червячных и винтовых колесах, гайках ходовых и грузовых винтов; 2) в водяной, паровой и масляной арматуре. Бронзы являются важнейшими антифрикционными материалами.

Баббиты – сплавы на основе мягких металлов: олова, свинца, сурьмы. Баббиты представляют собой высококачественные, хорошо прирабатывающиеся антифрикционные подшипниковые материалы низкой твердости, допускающие работу со значительными скоростями и давлениями.

По химическому составу их разделяют на следующие группы: баббиты *оловянные* и *свинцовые* (ГОСТ 1320-74). Стандартом установлены следующие марки: Б88, Б83, Б83С, Б16, БН, БС6. Баббиты *кальциевые* (ГОСТ 1209-90). Стандартом установлены следующие марки: БКА, БК2, БК2Ш, БК2Ц.

Баббиты обозначают буквой Б и цифрой, показывающей содержание олова в процентах, или вместо цифры буквой, характеризующей дополнительный компонент: Н – никель, Т – теллур, К – кальций, С – сурьма, А – алюминий, Ц – цинк.

Легкие сплавы – это сплавы с плотностью не более 3,5 т/м³ на алюминиевой или магниевой основе. Применение легких сплавов в основном определяется их малой плотностью и значительной несущей способностью на единицу массы.

Легкие сплавы применяют:

1. для быстроходных возвратно-поступательно или качательно-перемещающихся деталей (поршней быстроходных двигателей, ползунов быстроходных машин и т.д.) с целью снижения возникающих при этом динамических нагрузок;

2. для быстровращающихся деталей (шкивов, сепараторов подшипников и др.) с целью снижения возникающих при этом сил от неуравновешенности и достижения больших предельно допустимых по прочности частот вращения;
3. для корпусных и других деталей транспортных двигателей и машин, особенно самолетов, с целью снижения массы;
4. для крышек и кожухов с целью облегчения обслуживания машин.

Применение точных отливок из легких сплавов позволяет исключить механическую обработку отдельных поверхностей и значительно уменьшить трудоемкость обработки деталей. Так же, как латуни и бронзы, эти сплавы делятся на *литейные* и *деформируемые*.

Сплавы алюминиевые литейные (ГОСТ 1583-93). Стандартом установлены следующие марки:

- сплавы на основе алюминий-кремний-магний: АК12, АК13, АК9, АК8, АК7, АК10Cu;
- сплавы на основе алюминий-кремний-медь: АК5М, АК5М2, АК5М7, АК6М2, АК8М, АК5М4, АК8М3, АК9М2, АК12М2, АК12ММгН, АК12М2МгН, АК21М2,5Н2,5;
- сплавы на основе алюминий-медь: АМ5, АМ4,5К;
- сплавы на основе алюминий-магний: АМг4К1,5М, АМг5К, АМг5Мц, АМг6, АМг10, АМг11, АМг7;
- сплавы на основе алюминий-прочие компоненты: АК7Ц9, АК9Ц6, АЦ4Мг.

Сплавы алюминиевые деформируемые (ГОСТ 4784-97). Стандартом установлены следующие марки:

- сплавы систем алюминий-медь-магний и алюминий-медьмарганец: Д1, Д16, В65, Д18, Д19, АК4, АК4-1, АК6, АК8;
- сплавы системы алюминий-марганец: ММ, АМц, АМцС, Д12;
- сплавы системы алюминий-магний: АМг0,5, АМг1, АМг1,5, АМг2, АМг2,5, АМг3, АМг3,5, АМг4, АМг4,5, АМг5, АМг6;
- сплавы системы алюминий-магний-кремний: АД31, АД31Е, АД33, АД35, АВ;

- сплавы системы алюминий-цинк-магний: В95, В93, В95-1, В95-2, АЦпл;
- сплавы, предназначенные для изготовления проволоки для холодной высадки: Д1П, Д16П, Д19П, АМг5П, В95П;
- сплавы, предназначенные для изготовления сварочной проволоки: СВА99, СВА97, СВА85Т, СВА5, СВАМц, СВАМг3, СВАМг5, СВАМг6, СВАМг61, СВАМг63, СВАК5, СВАК10.

Сплавы магниевые литейные (ГОСТ 2856-79). Стандартом установлены следующие марки: МЛ3, МЛ4, МЛ4пч, МЛ5, МЛ5пч, МЛ5он, МЛ6, МЛ8, МЛ9, МЛ10, МЛ11, МЛ12, МЛ15, МЛ19. Буквы «пч» и «он» означают: пч – повышенной чистоты, он – общего назначения.

Сплавы магниевые деформируемые (ГОСТ 14957-76). Стандартом установлены следующие марки: МА1, МА2, МА2-1, МА2-1 п.ч., МА5, МА8, МА8 п.ч., МА11, МА12, МА14, МА15, МА17, МА18, МА19, МА20, МА21.

Цветные металлы (медь, алюминий, цинк, олово, магний и др.) в чистом виде как конструкционные материалы применяют редко. Чаще всего они входят в состав цветных и легких сплавов.

Из цветных сплавов наиболее распространены медные: бронзы и латуни. бронзы – сплавы меди, в которых цинк или никель не являются основными легирующими элементами. Делятся на две группы: оловянные, в которых основным легирующим элементом является олово (БрОФ6,5-0,4, БрОФ7-0,2, БрОЦС4-4-4 и др.), и безоловянные, которые не содержат олова (БрА5, БрАЖ9-4, БрАЖН 10-4-4 и др.).

2.2. Неметаллические материалы

К неметаллическим материалам относят: дерево, резина, кожа, графит, картон, пластмасса и др.

Пластмассы играют значительную роль в обеспечении экономии черных и цветных металлов. Они обладают довольно высокой прочностью, антикоррозионной и химической стойкостью в агрессивных средах, малой плотностью, фрикционными или антифрикционными свойствами. Детали из

пластмасс получают высокопроизводительными методами. Поэтому они имеют малую трудоемкость в изготовлении. Примером служат: полиэтилен, поливинилхлорид, фторопласт, полистирол, полиамид и др.

Пластмассы – это материалы на основе природных или синтетических полимеров (смол) – связующего, имеют 40...70% «несущих» компонентов (наполнителей) в виде волокон (текстильных, стеклянных, асбестовых, базальтовых), ткани, бумаги, муки и др. Пластмассы подразделяются на *термопластические* и *термореактивные*.

К термопластическим пластмассам относятся: органическое стекло, полистирол, полиэтилен, винипласт, капрон и т.д.

Термореактивные пластмассы при затвердевании переходят в твердое, неплавкое и нерастворимое состояние, поэтому их нельзя повторно перерабатывать. Широкое применение пластмасс в машиностроении стало возможным благодаря их специфическим свойствам. К ним относятся:

- малая плотность (для большинства пластмасс – 0,9...1,8 г/см³);
- высокая коррозионная стойкость;
- высокие электроизоляционные характеристики;
- хорошие антифрикционные свойства;
- высокий коэффициент трения;
- возможность переработки с коэффициентом использования материала 0,9...0,95.

Необходимо учитывать, что пластмассам присущи некоторые недостатки:

- малая прочность, жесткость и твердость;
- большая ползучесть, особенно у термопластов;
- низкая теплостойкость;
- старение – потеря свойств под действием тепла, света, воды и других факторов.

Применение пластмасс в машиностроении дает большой технико-экономический эффект благодаря снижению веса машин, экономии цветных металлов и сталей, снижению трудоемкости и себестоимости машин.

Резина – материал на основе натурального или искусственного каучука, обладает высокой упругой податливостью, хорошо гасит колебания, сопротивляется истиранию и т.д. Резина изготавливается мягкой (для шин), пористой (для амортизаторов) и жесткой (эбонит – для электротехнических изделий). Для повышения несущей способности резинотехнических изделий их армируют текстильными или стальными элементами.

Графит применяют в качестве электродов, огнеупорных изделий, антифрикционных изделий, в частности для подшипниковых втулок и вкладышей.

Отечественными учеными разработаны материалы, получаемые из расплавов базальтовых горных пород, и технологии производства из них изделий. Основными преимуществами этих перспективных материалов являются:

- высокая температуростойкость, теплозвукоизоляционные свойства, виброустойчивость и долговечность;
- экологическая безопасность;
- химическая инертность;
- невысокая стоимость изделий;
- неограниченность сырьевых запасов базальта.

Базальтоволокнистые материалы применяются:

- в качестве теплоизоляционных материалов и производства базальтопластиков, тканей для мягкой кровли в гражданском и промышленном строительстве;
- в нефтяной и химической отраслей базальтовые трубы могут найти широкое применение для транспортировки нефти, газа, холодной и горячей воды, агрессивных жидкостей со сроком эксплуатации без замены и капитального ремонта в течение 60...80 лет.

2.3. Композиционные материалы

Композиты – это искусственные материалы, состоящие из металлической или неметаллической основы (матрицы) с распределенными в ней компонентами, придающими материалу в целом заданные свойства. Химически разнородные элементы основы и компонентов имеют четкую границу раздела и обладают свойствами, которые не присущи каждому из них, взятому в отдельности. Композиционные материалы могут обладать весьма высокими механическими, электрическими, жаропрочными и другими свойствами.

В качестве конструктивных применяют армированные и дисперсно-упрочненные композиционные материалы. Примером армированных служат асболополимерные фрикционные материалы (см п.4.4), а дисперсно-упрочненных – порошковые спеченные материалы на основе железа или меди. Они обладают высокой износостойкостью, могут работать при высокой температуре (до 400°С), некоторые при сухом трении или в режиме самосмазывания (железографит, железосульфид, медь-графит и др.). Их применяют для замены бронз, латуней и баббитов.

Композитные материалы керамического типа на основе оксидов, нитридов, карбидов обладают тепло- и эрозионной стойкостью и применяются в виде покрытий и защитных слоев.

2.4. Антифрикционные и фрикционные материалы

При работе машины ее детали совершают относительные перемещения, сопровождаемые трением. Трение снижает КПД машины, вызывает нагрев и износ деталей, а иногда их заедание и поломку. Для уменьшения потерь на трение применяют антифрикционные материалы: цветные сплавы – бронзы, латуни; специальные подшипниковые сплавы – баббиты, антифрикционные цинковые сплавы ЦАМ; черные металлы – антифрикционный чугун АЧС, АЧВ и др.

Антифрикционный чугун (ГОСТ 1585–85). Представляет собой легированный серый, высокопрочный или ковкий чугун, обладающий

повышенными антифрикционными свойствами, т.е. сниженным коэффициентом трения. ГОСТ предусматривает следующие марки чугуна: АЧС-1, АЧС2, АЧС-3, АЧС-4, АЧС-5, АЧС-6, АЧВ-1, АЧВ-2, АЧК-1, АЧК-2. В обозначении марки: АЧ – антифрикционный графит, С – серый, В – высокопрочный, К – ковкий, цифра – порядковый номер марки.

Антифрикционный чугун применяют для трущихся деталей в условиях ненапряженного режима работы и при непрерывном смазывании, например, для втулок подшипников скольжения. Особенности выбора марки антифрикционного чугуна указаны в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Назначение антифрикционного чугуна

Марка	Назначение
АЧС-1	Для работы в паре с закаленным или нормализованным валом
АЧС-2	
АЧС-3	Для работы в паре с закаленным или нормализованным валом или валом, не подвергающимся термической обработке
АЧС-4	Для работы в паре с закаленным или нормализованным валом
АЧС-5	Для работы в особо нагруженных узлах трения в паре с закаленным или нормализованным валом
АЧС-6	Для работы в узлах трения при температуре до 300°С в паре с валом, не подвергающимся термической обработке
АЧВ-1	Для работы в узлах трения с повышенными окружными скоростями в паре с закаленным или нормализованным валом
АЧВ-2	Для работы в узлах трения с повышенными окружными скоростями в паре с валом, не подвергающимся термической обработке
АЧК-1	Для работы в паре с закаленным или нормализованным валом
АЧК-2	Для работы в паре с валом, не подвергающимся термообработке

В ряде случаев трение в машине полезно (тормоза, муфты сцепления, фрикционные и ременные передачи) и тогда применяют материалы с повышенным коэффициентом трения – фрикционные. Примером служат асбополимерные композиции на основе асбеста. Асбест составляет до 70%, а остальное – а также минеральные и органические наполнители и связующие. Связующим элементом являются каучуки, смолы или их комбинации. Фрикционные элементы выпускаются в виде лент, дисков или формованных накладок, которые крепятся к элементам механизмов заклепками или специальными клеями.

2.5. Смазочные материалы

Смазочные материалы уменьшают интенсивность изнашивания трущихся элементов машин. Слой смазки устраняет непосредственный контакт рабочих поверхностей деталей, сухое трение металл о металл заменяется на трение внутри масляного слоя. При этом уменьшается коэффициент трения, улучшается отвод тепла, облегчаются условия работы деталей и увеличивается срок их службы. Смазка также защищает рабочие поверхности деталей от коррозии.

Находят применение *жидкие, пластичные, твердые и газообразные* смазочные материалы. Для смазки механизмов строительных машин чаще всего применяют жидкие и *пластичные* (мазеообразные) смазочные материалы.

Жидкие – это минеральные масла с добавлением специальных веществ, которые называются присадками. Присадки могут быть антиокислительными, антикоррозионными, противозадирными и др. Жидкие смазки применяют для редукторов, коробок передач, двигателей внутреннего сгорания, компрессоров и т.п.

Пластичные смазочные материалы в общем виде состоят из двух основных компонентов: минерального или растительного масла и загустителя (различные мыла или твердые углеводороды). Как и жидкие, имеют в своем составе различные присадки. Применяют их для смазки подшипниковых узлов,

открытых зубчатых передач, а также для защиты металлических поверхностей от воздействия окружающей среды.

Твердые смазочные материалы, графит в виде порошка или смеси с консистентной смазкой, применяют для смазки тяжело нагруженных подшипников, работающих при низких или высоких температурах.

Газообразные смазочные материалы применяют в подшипниках, несущих малую нагрузку, но работающих при большой угловой скорости - до нескольких десятков тысяч оборотов в минуту. Например, в подшипниках шпинделей шлифовальных машин, в подшипниках центрифуг и т.п. В основном применяют азот, неон, иногда водород, подаваемые в узел трения под давлением.

2.6. Вопросы для самоконтроля

1. Для изготовления каких деталей используют чугуны?
2. Какие группы чугунов регламентируются ГОСТами?
3. Каким образом маркируется серый чугун, и что обозначает его маркировка?
4. Для каких деталей применяется ковкий чугун? Как он маркируется?
5. Для каких деталей применяется антифрикционный чугун? Как он маркируется?
6. На какие три класса делятся стали по их назначению?
7. Какие основные группы углеродистых сталей регламентируются ГОСТами?
8. Для каких деталей используется углеродистая сталь обыкновенного качества? Как она маркируется?
9. Для каких деталей применяется углеродистая сталь конструкционная качественная? Как она маркируется?
10. Какие основные группы легированных сталей регламентируются ГОСТами?
11. Какие элементы являются легирующими для стали?

12. Какая маркировка используется для обозначения большинства марок легированных сталей?
13. Какие основные цветные металлы и сплавы используют в машиностроении?
14. В чем состоят особенности маркировки латуней и бронз и чем они обусловлены?
15. Какие неметаллические материалы применяются в строительном машиностроении?
16. Какие композиционные материалы применяют в качестве конструкционных?
17. Где применяют антифрикционный чугун? Его основные свойства?
18. В каких узлах строительных машин используют фрикционные материалы?
19. Какие материалы применяют для смазки механизмов строительных машин чаще всего?
20. В каких узлах строительных машин твердые смазочные материалы?

Глава 3. Механические передачи

3.1. Общие сведения о передачах

Механической передачей называют механизм, который преобразует параметры движения двигателя при передаче исполнительным органам машины. При изучении данного курса мы ограничимся только кратким рассмотрением зубчатых цилиндрических, конических и червячных передач.

Меньшее из пары зубчатых колес называют *шестерней*, а большее – *колесом*. Термин «зубчатое колесо» является общим. Параметрам шестерни приписывают индекс 1, а параметрам колеса – 2. Кроме того, различают индексы, относящиеся: w – к начальной поверхности или окружности; b – к основной поверхности или окружности; a – к поверхности или окружности вершин и головок зубьев; f – к поверхности или окружности впадин и ножек зубьев. Параметрам, относящимся к делительной поверхности или окружности, дополнительного индекса не приписывают.

В самом общем виде передачи можно классифицировать по способу передачи движения:

- передачи трением (фрикционные, ременные);
- передачи зацеплением (зубчатые, червячные, цепные, винт-гайка);
- винт-гайка, для преобразования вращательного движения в поступательное.

Параметрами движения при вращательном движении является крутящий момент T и угловая скорость ω или частота вращения n , при поступательном движении – сила F и линейная скорость v .

По способу соединения звеньев:

- передачи с непосредственным контактом (фрикционные, зубчатые, червячные, винт-гайка);
- передачи гибкой связью (ременные, цепные).

Звенья передачи делятся на ведущие – которые получают движение от машины – двигателя; и ведомые – которому передается движение; кроме того, в

пределах передачи бывают промежуточные звенья. Параметры звеньев, относящихся к ведущим звеньям, обозначаются нечетным индексом (1,3,5 и т.д.); четными индексами обозначаются параметры, относящиеся к ведомым звеньям. Например: P_1, T_1, n_1 – мощность, вращательный момент, число оборотов ведущего звена; P_2, T_2, n_2 – мощность, вращательный момент и число оборотов ведомого звена.

Передача предназначена для согласования режимов работы двигателя и исполнительных органов машины.

3.2. Основные характеристики передач

Основные характеристики передач: мощность P_1 на входе и P_2 на выходе, Вт; быстроходность, которая выражается частотой вращения n_1 на входе и n_2 на выходе, мин^{-1} или угловыми скоростями ω_1 и $\omega_2, \text{с}^{-1}$.

Коэффициент полезного действия (КПД):

$$\eta = P_2/P_1 \text{ или } \eta = 1 - P_r/P_1, \quad (3.1)$$

где P_r - потери мощности в передаче;

Передачное отношение, определяемое в направлении потока мощности:

$$u = \omega_1/\omega_2 = n_1/n_2. \quad (3.2)$$

При $u > 1$, т.е., $n_1 > n_2$ – передача понижающая и называется **редуктор**. При $u < 1$, т.е., $n_1 < n_2$ – передача повышающая, или **мультипликатор**.

Передачи выполняют с постоянным или переменным передаточным отношением. Регулирование, т.е. изменение передаточного отношения может быть ступенчатым и бесступенчатым. Ступенчатое регулирование выполняют с помощью коробок скоростей с зубчатыми колесами, ременных передачах со ступенчатыми шкивами и т.п.; бесступенчатое регулирование – с помощью фрикционных или цепных вариаторов.

Механические передачи ступенчатого регулирования обладают высокой работоспособностью и поэтому находят широкое применение. Механические передачи бесступенчатого регулирования обладают меньшей нагрузочной

способностью и имеют меньшее распространение. Их применяют в основном для малых мощностей (до 10...15 кВт).

При расчете передач часто используют следующие зависимости между параметрами: выражение мощности P , Вт, через окружную силу F_t , Н, и окружную скорость v , м/с, колеса, шкива, барабана и т.п.:

$$P = F_t v, \quad (3.3)$$

выражение вращающего момента T , Нм, через мощность P , Вт, и угловую скорость ω , с^{-1} :

$$T = P/\omega, \text{ где } \omega = \pi n/30, \quad (3.4)$$

связь между вращающимися моментами на одном T_1 и другом T_2 валах через передаточное отношение i и КПД η в линии передачи между этими валами в направлении потока мощности:

$$T_2 = T_1 \cdot i \cdot \eta. \quad (3.5)$$

3.3. Зубчатые передачи

Зубчатая передача – это механизм, который с помощью зацепления передает или преобразует движение с изменением угловых скоростей и моментов. Их используют для передачи движения и вращающего момента в широком диапазоне мощностей (до 300 МВт) и скоростей (до 200 м/с), а также для преобразования вращательного движения в поступательное и наоборот.

Достоинства зубчатых передач:

- высокая нагрузочная способность и, как следствие, малые габариты (передача мощностей до 300 000 кВт);
- большая долговечность и надежность работы (для редуктора общего назначения – 30 тыс. ч);
- высокий КПД (до 0,97...0,99 для одной пары колес);
- постоянство передаточного числа (отсутствие проскальзывания);
- возможность использования в широком диапазоне областей и условий работы: от часов и приборов до самых тяжелых машин, для передачи окружных

сил от мН до десятков МН, с диаметром колес от долей миллиметра до 10 метров и более.

Недостатки:

- невозможность бесступенчатого регулирования передаточного числа;
- повышенные требования к точности изготовления и монтажа;
- шум при больших скоростях;
- потребность в специальном инструменте для нарезания зубьев;
- высокая жесткость, не позволяющая компенсировать динамические нагрузки.

3.3.1. Принцип действия и классификация передач

Принцип действия зубчатой передачи основан на зацеплении пары зубчатых колес (рис. 3.1).

По расположению осей валов различают:

- с параллельными осями (рис. 3.1, а...г), где они выполняются с цилиндрическими колесами внешнего (рис. 3.1, а...в) и внутреннего зацепления (рис. 3.1, д);
- с пересекающимися осями, в этом случае применяются конические колеса (рис. 3.1, ж, з, и) с прямыми и круговыми зубьями (рис. 3.1, е, з), реже с тангенциальными (рис. 3.1, ж);
- с перекрещивающимися осями применяются зубчато – винтовые (рис. 3.1, е), гипоидные (рис. 3.1, к) и червячные передачи;
- зубчатое колесо – рейка (рис. 3.1, г).

По расположению зубьев на колесах различают передачи: прямозубые и косозубые.

По форме профиля зуба различают: эвольвентные и круговые. Наиболее распространен эвольвентный профиль зуба, предложенный Эйлером в 1760 году. Он обладает рядом технологических и эксплуатационных преимуществ. Круговой профиль предложен М.Л. Новиковым в 1954 году. Этот профиль

обладает повышенной нагрузочной способностью, однако очень требователен к смазке.

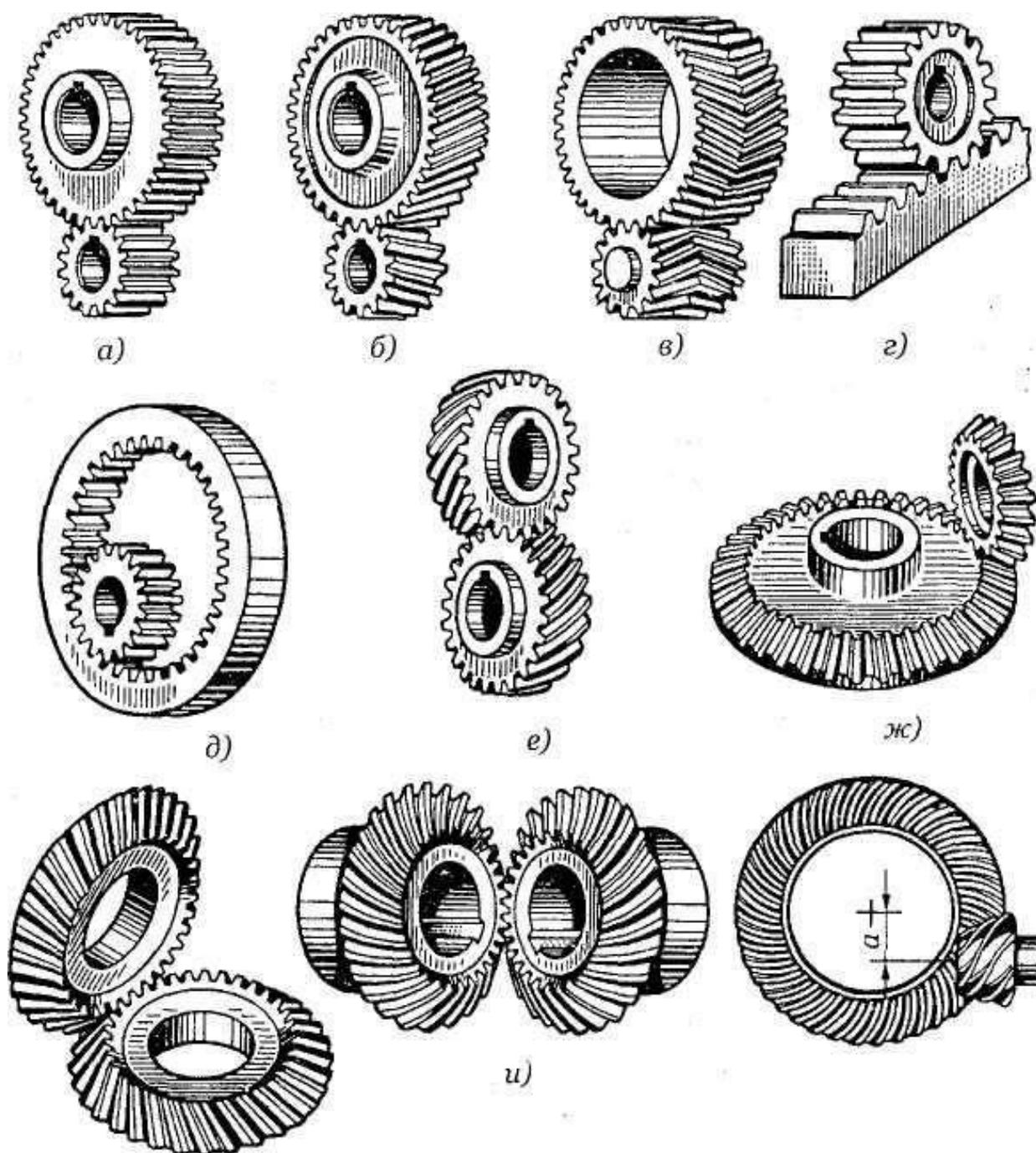


Рис. 3.1. Виды зубчатых передач: *a, б, в* - цилиндрические зубчатые передачи с внешним зацеплением; *г* - реечная передача; *д* - цилиндрическая передача с внутренним зацеплением; *е* - зубчатая винтовая передача; *ж, з, и* - конические зубчатые передачи

По характеру движения осей передачи делят на *обычные* (неподвижные геометрические оси) и *планетарные* (оси одного или нескольких колес подвижных).

По окружной скорости различают передачи:

- тихоходные (до 3 м/с);
- средних скоростей (3...15 м/с);
- быстроходные (>15 м/с).

Зубчатая передача не является усилителем механической мощности, так как общее количество механической энергии на её выходе не может превышать количество энергии на входе. Это связано с тем, что механическая работа в данном случае будет пропорциональна произведению крутящего момента на скорость вращения. В соответствии с передаточным отношением, увеличение крутящего момента будет вызывать пропорциональное уменьшение угловой скорости вращения ведомого зубчатого колеса, а их произведение останется неизменным. Данное соотношение справедливо для идеального случая, не учитывающего потери на трение и другие эффекты, характерные для реальных устройств.

В зависимости от назначения зубчатой передачи могут встраиваться в конструкцию машины или выделяться в самостоятельный узел (агрегат) и иметь отдельный корпус.

По конструктивному исполнению передачи могут располагаться вне корпуса и иметь легкое ограждение – *открытые* передачи, либо работать в корпусе, изолирующем их от внешней среды – *закрытые* передачи.

Открытые передачи работают без смазывания или при ограниченном смазывании при небольших окружных скоростях (тихоходные передачи).

Закрытыми выполняют передачи, работающие при средних и высоких окружных скоростях (быстроходные передачи) с обильным смазыванием (из масляной ванны, струей масла и др.).

Различают *силовые* и *несиловые* (*кинематические*) передачи. Силовые передачи используются для передачи мощностей. Их габариты, как правило,

определяются прочностной надежностью. Несиловые передачи выполняют в основном кинематические функции и мощности не передают. Их размеры определяются конструктивными соображениями.

Из всех перечисленных разновидностей зубчатых передач наибольшее распространение имеют передачи с цилиндрическими колесами, как наиболее простые в изготовлении и эксплуатации, надежные и малогабаритные. Конические и винтовые передачи применяют лишь в тех случаях, когда это необходимо по условиям компоновки машины.

3.3.2. Цилиндрические зубчатые передачи

Цилиндрической зубчатой передачей называется *передача с параллельными осями*. Различают цилиндрическую прямозубую (рис. 3.1, а), косозубую $\beta = 8-20^\circ$ (рис. 3.1, б), шевронную $\beta = 30-45^\circ$ (рис. 3.1, в) с внешним зацеплением и с внутренним зацеплением (рис. 3.1, д) (β – угол наклона зуба). Рекомендуется максимальные передаточные числа в одной ступени не превышать $U_{max}=6-8$, так как в противном случае габаритные размеры механизмов увеличиваются по сравнению с двухступенчатой передачей с тем же передаточным числом.

Преимущества передач с шевронным и косым зубом по сравнению с прямым: большая прочность зуба на изгиб (большая нагрузочная способность); большая плавность зацепления и малый шум, а также меньшие динамические нагрузки.

Недостатки: наличие осевой силы у косозубых передач; большая сложность изготовления.

Рассмотрим цилиндрическую зубчатую передачу с внешним зацеплением (рис 3.2).

Зацепление зубчатых колес эквивалентно качению без скольжения окружностей с диаметрами d_{w1} и d_{w2} (рис. 3.3). Эти окружности называются начальными. Точка их касания Π называется полюсом зацепления. Полюс лежит на линии, соединяющей оси колес O_1 и O_2 . Расстояние между осями колес a_w называется межосевым расстоянием.

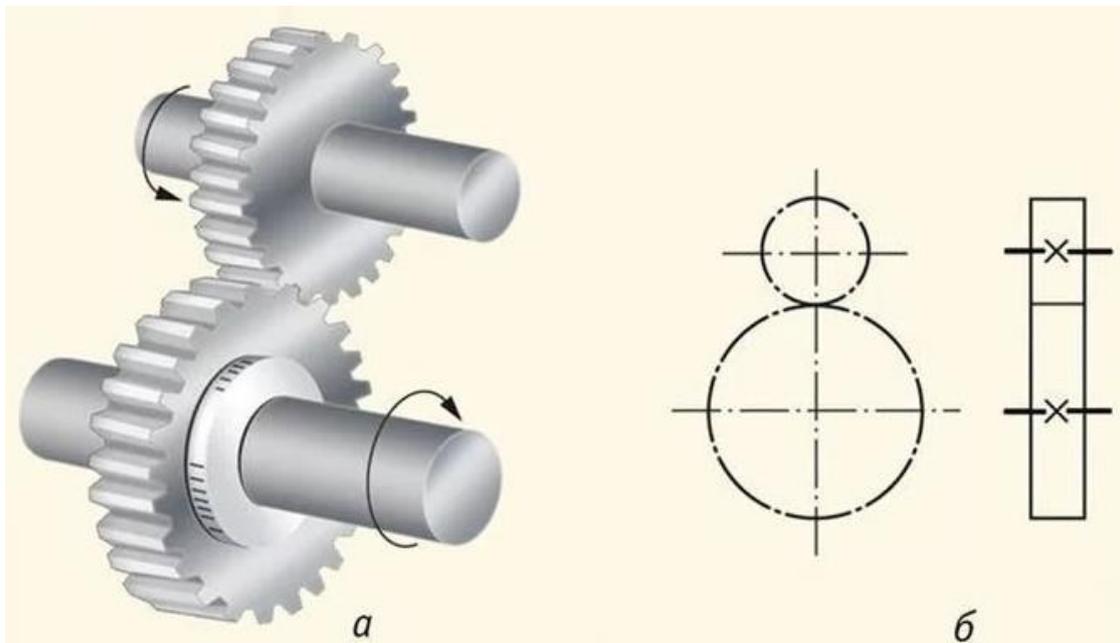


Рис. 3.2. Цилиндрическая зубчатая передача: *а* – наглядное изображение; *б* – изображение на кинематической схеме

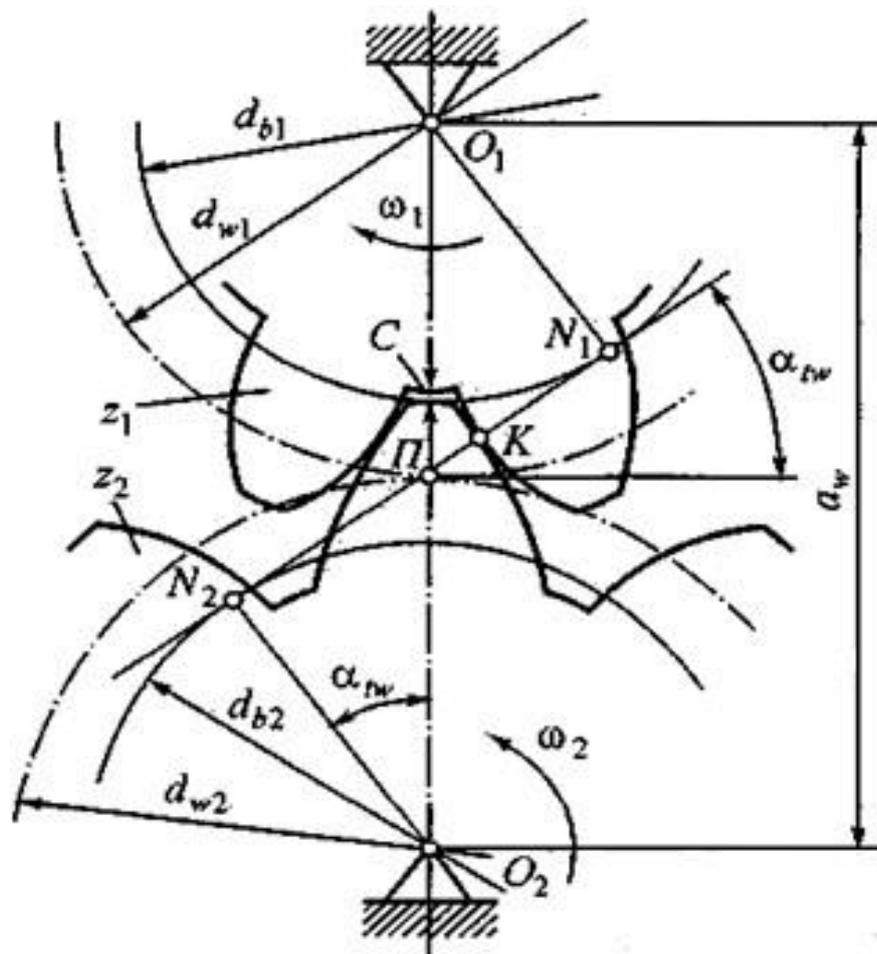


Рис. 3.3. Зацепление эвольвентных зубчатых колес

Из зависимостей для межосевого расстояния и передаточного отношения следует:

$$a_w = (d_{w2} \pm d_{w1}) / 2, \quad (3.6)$$

$$u = \omega_1 / \omega_2 = d_{w2} / d_{w1} = Z_2 / Z_1 \quad (3.7)$$

Диаметры начальных окружностей выражаются формулами:

$$d_{w1} = 2a_w / (u \pm 1), \quad (3.8)$$

$$d_{w2} = d_{w1} u. \quad (3.9)$$

Знак « \leftarrow » – для внутреннего зацепления.

Основным кинематическим условием, которому должны удовлетворять профили зубьев, является постоянство передаточного отношения передачи. При этом нормаль N_1N_2 к профилям зубьев в точке контакта K должна проходить через полюс зацепления. Для обеспечения высокого КПД, прочности и долговечности колес профили должны обеспечивать малые скорости скольжения и достаточные радиусы кривизны в точках контакта. Они должны легко изготавливаться, т.е. нарезаться простым инструментом не зависимо от числа зубьев колеса.

Этим условиям наиболее полно удовлетворяет эвольвентное зацепление, нашедшее широчайшее применение в машиностроении.

Эвольвентой (от лат. слова *evolvens*) называют плоскую кривую, являющуюся разверткой другой плоской кривой, называемой эволютой. Эвольвента окружности образуется точками K прямой N_1N_2 при качении ее без скольжения по окружностям с диаметрами d_{b1} или d_{b2} (см. рис. 3.3). Эти окружности называются основными.

Линия N_1N_2 перемещения общей точки контакта K профилей зубьев при вращении колес называется линией зацепления. Угол α_{tw} между линией зацепления и прямой, перпендикулярной межосевой линии, называется углом зацепления.

Линия зацепления всегда является касательной к основным окружностям $d_{b1} = d_{w1} \cos \alpha_{tw}$ и $d_{b2} = d_{w2} \cos \alpha_{tw}$. Преимуществом эвольвентного зацепления

является то, что при изменении межосевого расстояния (из-за ошибок изготовления), вместе с осями колес переместятся и основные окружности. При этом изменяться угол зацепления и диаметры начальных окружностей. Эвольвенты при этом будут касаться другими участками, не нарушая закона зацепления.

Основные окружности принадлежат отдельно взятому колесу. Начальные окружности принадлежат только колесам, находящимся в зацеплении.

При увеличении числа зубьев до бесконечности эвольвента превращается в прямую, а зубчатое колесо – в рейку с трапецеидальным профилем зубьев, удобную для изготовления и контроля. Поэтому в качестве исходного контура для эвольвентного зацепления принята рейка, а широкое применение нашло формообразование зубьев в процессе зацепления с реечным инструментом.

Номинальные передаточные числа цилиндрических зубчатых передач стандартизованы:

1-ый (предпочтительный) ряд: 1; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12,

2-ой ряд: 1,125; 1,375; 1,75; 2,25; 2,75; 3,5; 4,5; 5,5; 7; 9; 11.

Минимальное число зубьев шестерен обычно ограничивается условием неподрезания зубьев у основания. Для некорректированных передач $z_{\min} = 17$, для корректированных $z_{\min} = 10 \dots 12$.

Большое значение для ограничения номенклатуры корпусных деталей редукторов имеет стандартизация межосевых расстояний передач. Межосевые расстояния a_w , мм, цилиндрических передач редукторов должны выбираться из следующих рядов:

1-ый (предпочтительный) ряд 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500;

2-ой ряд 140; 180; 225; 280; 355; 450; 560; 710; 900; 1120; 1400; 1800; 2240.

Модуль в зубчатых передачах при твердости $HВ \leq 350$ принимают $m = (0,01 \dots 0,02)a_w$, при твердости $HRC > 45$ $m = (0,016 \dots 0,0315)a_w$. Модуль в нормальном сечении выбирается стандартным.

Ширину зубчатых колес выбирают в соответствии с установленными эмпирическими соотношениями. Коэффициент ширины колеса $\psi_a = b/a_o$ редукторных зубчатых колес из улучшенных сталей при несимметричном расположении колес рекомендуется принимать равным 0,315...0,4; а из закаленных сталей 0,25...0,315; при симметричном расположении зубчатых колес относительно опор 0,4...0,5. Стандартные значения ψ_a для редукторов: 0,100; 0,125; 0,1260; 0,200; 0,250; 0,315; 0,400; 0,500; 0,630; 0,800; 1,0; 1,25; значения 0,630...1,25 – для шевронных передач.

Значения $\psi_d = b/d$ при симметричном расположении колес относительно опор 0,8...1,6; при несимметричном расположении, но жестких валах 0,7...1,4; то же, но на валах пониженной жесткости 0,5...1, при консольном расположении колес 0,4...0,6. Большие значения принимают для колес из хорошо прирабатывающихся материалов и при постоянной нагрузке.

Прямозубые колеса применяют преимущественно при невысоких и средних скоростях, при большой твердости зубьев (когда динамические нагрузки от неточностей изготовления невелики по сравнению с полезными), в планетарных передачах, в открытых передачах, а также при необходимости осевого перемещения колес для переключения скорости. Косозубые колеса применяют для ответственных передач при средних и высоких скоростях, шевронные передачи – преимущественно в тяжело нагруженных передачах. Косозубые колеса с твердыми поверхностями зубьев требуют повышенной защиты от загрязнений во избежание неравномерного износа по длине контактных линий и опасности выкрашивания.

3.3.3. Конические зубчатые передачи

Коническими зубчатыми передачами называют передачи для передачи вращения между валами с пересекающимися осями рис. 3.4. Назначение конических зубчатых передач – изменить межосевой угол расположения валов, что может сочетаться с изменением угловых скоростей и моментов. Межосевой угол Σ обычно равен 90° . Такие передачи называются ортогональными. Реже

используются передачи с другими углами ($10^\circ < \Sigma < 180^\circ$) из-за сложности изготовления корпусных деталей. КПД конических и цилиндрических передач примерно одинаков и равен 0,95-0,97.

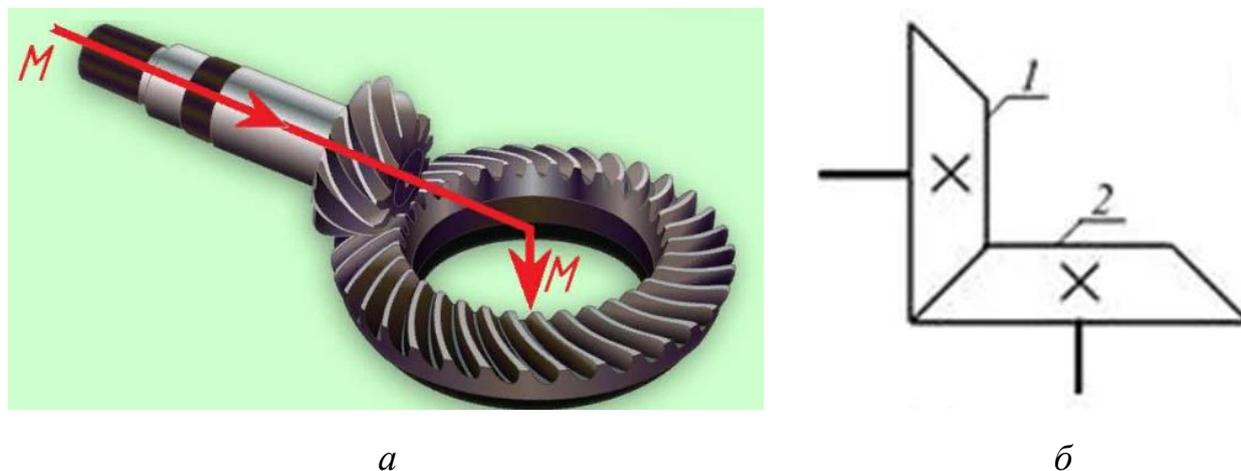


Рис. 3.4. Коническая зубчатая передача: *а* – направление передачи крутящего момента; *б* – изображение на кинематической схеме

Достоинства конических зубчатых передач аналогичны цилиндрическим.

Недостатки: сложность в изготовлении (нужно выдерживать допуски на углы) и монтаже из-за необходимости точной фиксации осевого положения (нужно обеспечить совпадение вершин конусов, что требует регулировки положения колес вдоль осей): для изготовления конических колес требуются специальные сложные станки; бóльшая масса и габаритные размеры, чем у цилиндрических передач; высокая стоимость; наличие осевых сил. Учитывая сложность изготовления, сборки и высокую стоимость, конические передачи нецелесообразно использовать для изменения частоты вращения (обычно не более $U_{max}=5$), а следует применять лишь для изменения положения валов (межосевого угла). Выполнить коническое зацепление с той же степенью точности, что и цилиндрическое, значительно труднее. Одно из конических колес, как правило, располагают консольно. При этом увеличивается неравномерность распределения нагрузки по длине зуба. В коническом зацеплении действуют осевые силы, наличие которых усложняет конструкцию

опор. Все это приводит к тому, что, по опытным данным, нагрузочная способность конической прямозубой передачи составляет лишь около 85% цилиндрической. Однако, несмотря на очевидные недостатки, конические передачи имеют широкое применение в тех случаях, когда по условиям компоновки машин и механизмов необходимо располагать валы под углом.

Различают конические передачи с *прямыми, косыми и криволинейными* зубьями (рис. 3.5). Передачи с криволинейными зубьями постепенно вытесняют передачи с тангенциальными зубьями. Конические зубчатые колеса с криволинейными зубьями могут иметь *круговую, эвольвентную и циклоидальную* линию зубьев; наиболее распространенные колеса с круговыми зубьями.

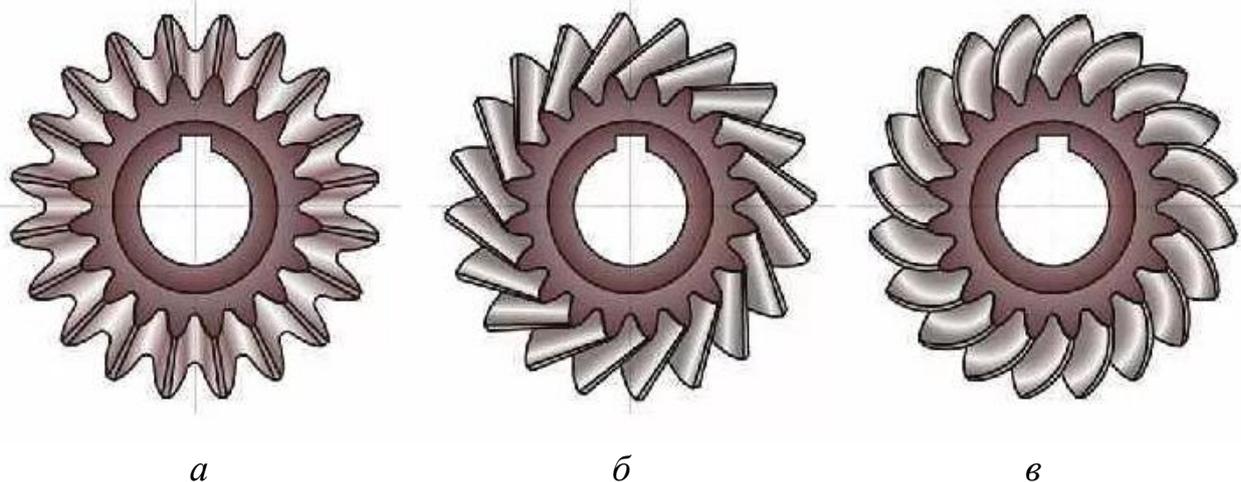


Рис. 3.5. Виды конических зубчатых колес: а – с прямыми зубьями; б – с косыми зубьями; в – с криволинейными зубьями

Конические передачи с криволинейными зубьями по сравнению с прямозубыми имеют большую нагрузочную способность, работают более плавно и, следовательно, динамические нагрузки и шум при их работе меньше. Допуски для конических передач регламентированы стандартом, согласно которому установлено двенадцать степеней точности и соответствующие нормы точности.

Геометрические параметры. Аналогами начальных и делительных цилиндров цилиндрических передач в конических передачах являются начальные и делительные конусы с углами δ_1 и δ_2 . Конусы, образующие которых перпендикулярны образующим делительных конусов, называют дополнительными конусами. Сечение зубьев дополнительным конусом называют торцовым сечением. Размеры, относящиеся к внешнему торцовому сечению, сопровождаются индексом e , например, d_e , R_e и др. Размеры в среднем сечении сопровождаются индексом m : d_m , R_m .

В конической зубчатой передаче высота зуба, а следовательно и модуль зацепления, увеличиваются от внутреннего к внешнему дополнительному конусу. Максимальный модуль зубьев – внешний окружной модуль – получается на внешнем торце колеса. Его обозначают m_{te} (для колес с круговыми зубьями) и m_e – для прямозубых колес. Модуль, определяемый на среднем делительном диаметре называют средним окружным модулем. Эти и остальные параметры показаны на рис. 3.6.

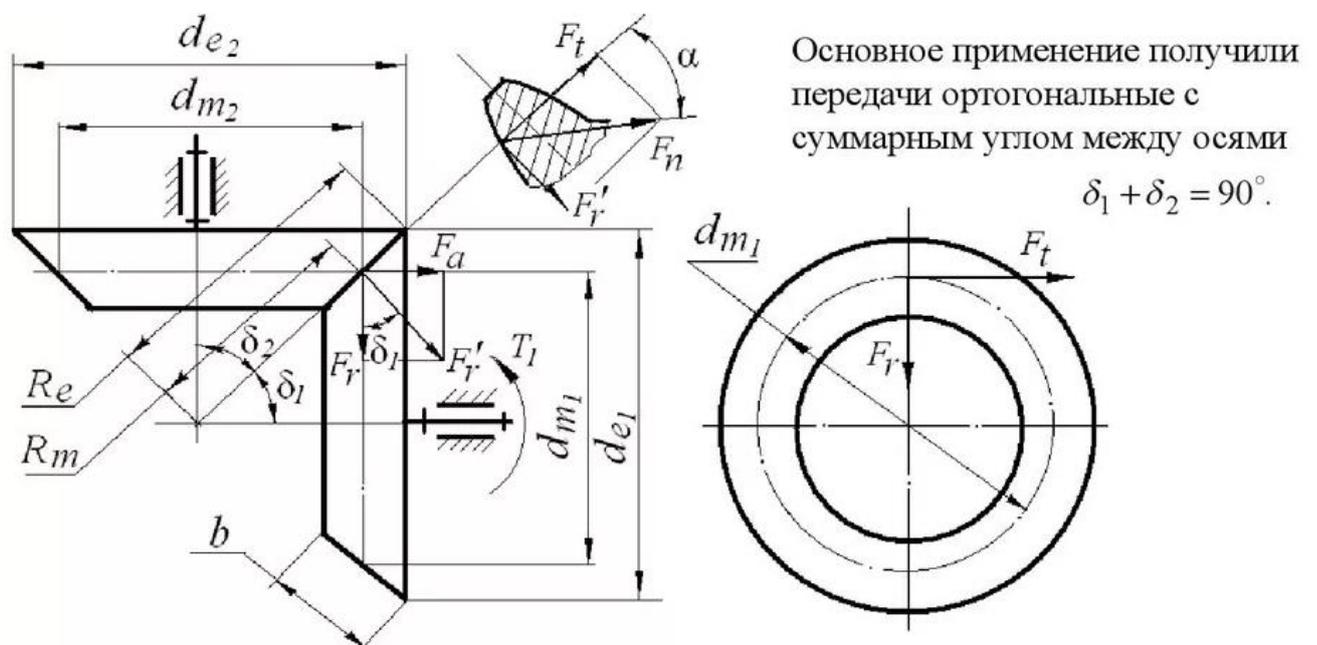


Рис. 3.6. Схема конической зубчатой передачи

В основу расчета конических передач положены формулы для определения контактных σ_H и изгибных σ_{F1} и σ_{F2} напряжений цилиндрических колес, в которых некоторые параметры заменены на эквивалентные, отражающие особенности конических передач.

Передаточное число конической передачи определяется так:

$$u = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_{e2}}{d_{e1}} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta_1} = \operatorname{tg} \delta_2 \quad (3.10)$$

В конической передаче может быть бесчисленное множество делительных окружностей. Для расчета в машиностроении принимают внешнюю и среднюю делительные окружности.

Из условия, что в конической передаче модуль и делительный связаны теми же соотношениями, что и в цилиндрических передачах, т.е. $d=mz$, определяют внешний d_e и средний d_m делительные метры:

$$d_e = m_e z, \quad d_m = m_m z, \quad (3.11)$$

где m_e – внешний окружной модуль; m_m – средний окружной модуль.

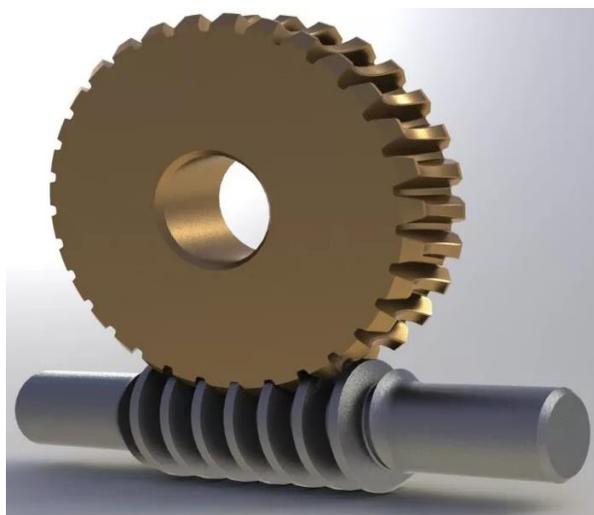
Внешний окружной модуль обычно выбирают из стандартного ряда (см. цилиндрические передачи). *Округление внешнего модуля до стандартного значения не является обязательным требованием.* Этот модуль называют производственным и по его значению определяют все геометрические параметры зубчатых колес (задают размеры зубьев на внешнем торце, на котором удобно производить измерения).

Средний окружной модуль m рассчитывают в зависимости от внешнего окружного модуля m_e . По среднему окружному модулю производят расчет передачи на прочность при изгибе.

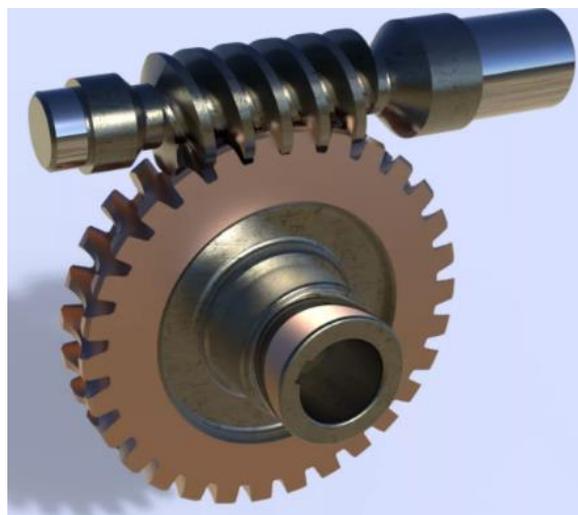
3.3.4. Червячные передачи

Червячная передача – это высшая кинематическая пара, служащая для передачи вращения зацеплением с непосредственным контактом витков червяка и зубьев червячного колеса (рис. 3.7). Она применяется для передачи вращательного движения между валами, у которых угол скрещивания осей

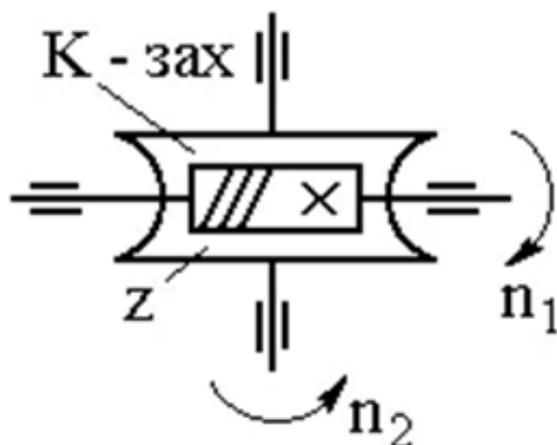
обычно составляет 90° (см. рис. 3.7). Червячные передачи относятся к числу зубчатовинтовых, имеющих характерные черты зубчатых и винтовых передач. Червячная передача является основной в ручных грузоподъемных лебедках.



a



б



в

Рис. 3.7. Червячная передача: *a* – с нижним расположением червяка;
б – с верхним расположением червяка;
в – изображение на кинематической схеме

Ведущее звено червячной передачи в большинстве случаев – червяк, а ведомое – червячное колесо. Обратная передача зачастую невозможна – КПД

червячного редуктора в совокупности с передаточным отношением вызывают самоторможение.

Червяк – это винт с трапецеидальной или близкой к ней по форме резьбой. Червячное колесо является косозубым зубчатым колесом с зубьями особой дуговой формы. Такая форма зубьев обеспечивает увеличение длины и прочности зубьев на изгиб. В червячных передачах имеет место линейный контакт.

Изобретение червячных передач приписывается Архимеду. Цилиндрические червяки различают по форме профиля витка согласно ГОСТ 18498-89 по типам червяков с линейчатой винтовой поверхностью: архимедов, конволютный и эвольвентный:

- архимедов червяк (ZA) (рис. 3.8, а) - цилиндрический червяк, торцовый профиль витка которого является архимедовой спиралью. Этот червяк подобен винту с трапецеидальной резьбой;

- конволютный червяк (ZN) (рис. 3.8, б) - торцовый профиль витка является удлиненной или укороченной эвольвентой. В конволютном червяке режущий инструмент (или наждачный круг) установлен вдоль оси спирали зуба; это удобно при массовом производстве червяков, так как позволяет производить одновременную шлифовку двух сторон профиля зубьев;

- эвольвентный червяк (ZI) (рис. 3.8, в) - имеет эвольвентный профиль витка в его торцовом сечении (как у косозубого колеса).

В машиностроении из цилиндрических червяков наиболее распространены архимедовы червяки.

У *архимедова червяка* (ZA) теоретический торцовый профиль витков очерчен архимедовой спиралью. В осевом сечении червяк имеет прямолинейный профиль витков, а в нормальном сечении – криволинейный. Архимедов червяк может быть нарезан на обычных токарных и резьбофрезерных станках. Однако для шлифования витков требуются специальные шлифовальные круги фасонного профиля, что затрудняет обработку и снижает точность передачи.

Поэтому архимедовы червяки применяют в передачах при твердости материала червяка ≤ 350 НВ.

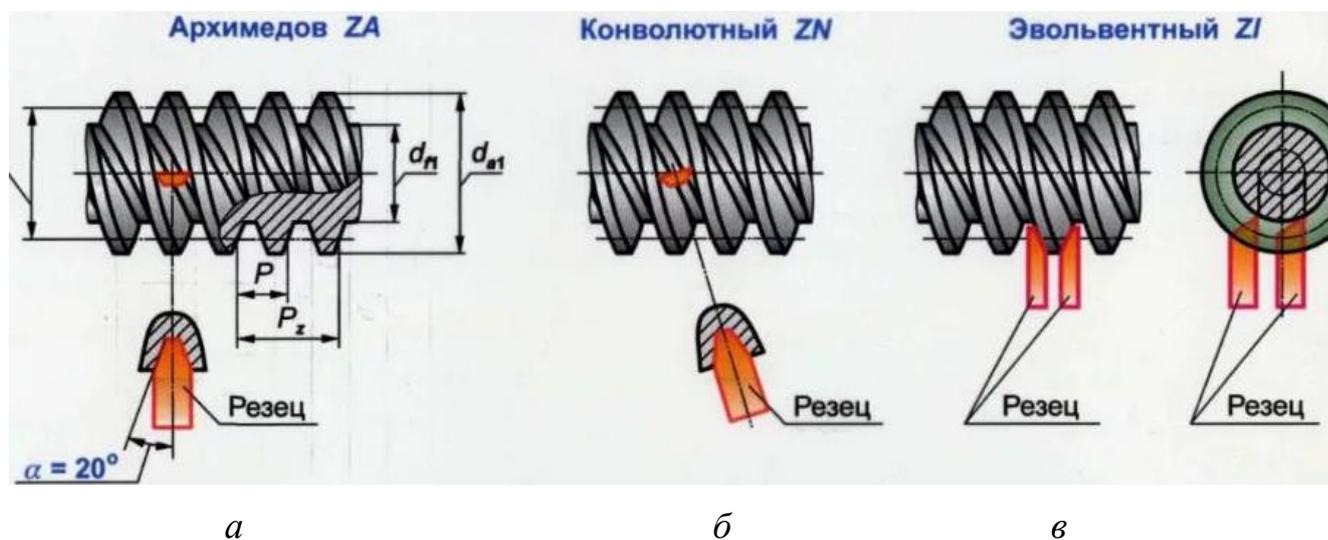


Рис 3.8. Формы профиля витков червяка

Тип червяка на точность передачи не влияет, поэтому в приборостроении часто применяют простые в изготовлении архимедовы червяки.

У *конволютного червяка (ZN)* теоретический торцовый профиль витков очерчен по удлиненной (реже укороченной) эвольвенте. В осевом сечении червяк имеет криволинейный профиль витков, а в нормальном сечении – прямолинейный. Стандарт предусматривает три типа конволютных червяков. Конволютные червяки имеют некоторые технологические преимущества перед архимедовыми червяками, но для шлифования их витков также требуется специальное профилирование шлифовального круга. Поэтому в машиностроении конволютные червяки используются редко, в основном они используются в приборостроении.

У *эвольвентного червяка (ZI)* теоретический торцовый профиль витков очерчен по эвольвенте круга. В осевом и нормальном сечениях червяк имеет криволинейный профиль витков. Эвольвентный червяк по существу представляет собой косозубое цилиндрическое зубчатое колесо с очень большим

углом наклона зубьев, равным углу подъема витков (γ), и малым числом зубьев, равным числу заходов Z_1 .

Нагрузочная способность червяков всех типов является приблизительно одинаковой. Нагрузочная способность червячных передач повышается с увеличением твердости витков червяка $HRC \geq 45$ и их последующим шлифованием. Шлифование после термообработки витков эвольвентного червяка не сопряжено с техническими трудностями, поскольку витки шлифуются плоской стороной шлифовального круга. Поэтому в быстроходных механизмах, работающих со значительными нагрузками, используются эвольвентные червяки.

Шлифование витков конвolutного червяка конусными кругами с прямолинейной образующей на обычных резьбошлифовальных станках приводит к получению цилиндрических *червяков с нелинейчатой винтовой поверхностью*, весьма близкой к поверхностям витков конвolutных червяков. Червячные фрезы для нарезания червячных колес шлифуют тем же способом, поэтому получают правильное зацепление. Нелинейчатые червяки изготавливают четырех типов: ZK1, ZK2, ZK3 ZK4.

Существует два вида цилиндрических червяков с *вогнутым профилем витков* (ZT1, ZT2), которые используются при необходимости обеспечения большой нагрузочной способности и высокого КПД. Передачи с вогнутым профилем витков червяка имеют лучшие условия для образования масляного клина, а также большие приведенные радиусы кривизны. Поэтому несущая способность таких передач больше по сравнению с обычными цилиндрическими червячными передачами на 30–60 % (большие значения – при больших скоростях); потери на трение в них до двух раз меньше.

Зубья на червячном колесе чаще всего нарезают червячной фрезой, которая представляет собой копию червяка, с которым будет зацепляться червячное колесо. При нарезании заготовка колеса и фреза совершают такое же взаимное движение, какое имеют червяк и червячное колесо при работе.

По числу витков червяки делят на однозаходные и многозаходные, по направлению витка – левые или правые. Наиболее распространено правое направление с числом витков червяка z_1 , зависящим от передаточного числа u ; z_1 выбирают так, чтобы обеспечить число зубьев колеса z_2 : $z_1 u > z_{2\min}$.

Очевидно, что однозаходный червяк даёт наибольшее передаточное отношение. Однако, с увеличением числа заходов (витков) червяка угол подъема винтовой линии возрастает, что повышает КПД передачи, что связано с уменьшением трения за счёт роста угла трения. Поэтому однозаходные (одновитковые) червяки не всегда рекомендуется применять.

Для увеличения КПД передачи следует обеспечить выполнение следующих условий:

- Червяк должен иметь твердую, очень чисто обработанную поверхность зубьев (желательна полировка). Материалом для червяков служат высокоуглеродистые – калимые или малоуглеродистые цементированные стали, например, У7, У8, 50 или 20Х, 18ХГТ, 20ХНЗА;

- Венец червячного колеса должен быть изготовлен из антифрикционного материала – бронзы;

- Смазка должна быть обильной в закрытом пыленепроницаемом корпусе.

В большинстве случаев червяки изготавливают за одно целое с валом, реже - отдельно от вала, а затем закрепляют на нем.

Червячное колесо в отличие от косозубых зубчатых колес имеет вогнутую форму зуба, способствующую облеганию витков червяка.

Направление и угол подъема зубьев червячного колеса соответствуют направлению и углу подъема витков червяка.

Червячные колеса нарезают червячными фрезами и в редких случаях резцами, укрепленными на вращающейся оправке (летучими резцами).

Червячные колеса изготавливают цельными (см. рис. 3.7 а, б) или сборными.

Минимальное число зубьев колеса $z_{2\min}$ определяют из условия отсутствия подрезания и обеспечения достаточной поверхности зацепления. Для силовых передач рекомендуется принимать $z_{2\min} = 28$, во вспомогательных

кинематических передачах $z_{2\min} = 17-18$. Максимальное число зубьев не ограничено, но в силовых передачах чаще принимают 50-60 (до 80). В кинематических передачах z_2 может достигать до 600-1000.

Несущую способность червячных передач можно существенно повысить, если червяк выполнить *глобоидным* (рис. 3.9).



Рис. 3.9. Глобоидный червяк

Витки ее червяка расположены на глобоидной (торовой) поверхности. При этом увеличиваются число зубьев червячного колеса (Z_2) в зацеплении и приведенные радиусы кривизны, улучшаются условия образования масляных клиньев в зацеплении. Несущая способность глобоидных передач при условии точного изготовления и эффективного охлаждения по сравнению с цилиндрическими червячными передачами, имеющими линейчатую винтовую поверхность витков червяка, до полутора раз больше.

Глобоидные передачи вследствие малых габаритов и, следовательно, малой поверхности теплоотдачи оказываются сильно напряженными в тепловом отношении, поэтому их применяют в повторно кратковременном режиме работы с искусственным охлаждением. Применение глобоидных передач более эффективно для передачи больших моментов. Технология изготовления и сборки глобоидных передач существенно сложнее по сравнению с технологией изготовления и сборки червячных передач с цилиндрическими червяками. При

сборке необходима выверка точного положения вдоль оси не только червячного колеса, но и червяка

Достоинства червячных передач:

- возможность получения большого передаточного числа в одной ступени ($u \leq 500$ в кинематических передачах, $u \leq 8 \dots 120$ в силовых передачах);
- плавность и бесшумность работы;
- повышенная кинематическая точность, позволяющая осуществлять точные делительные перемещения;
- возможность самоторможения, что особенно важно для грузоподъемных машин;
- небольшая масса передачи на единицу мощности.

Недостатки:

- сравнительно низкий КПД в несамотормозящихся парах $\eta = 0,7 \dots 0,92$ (большие значения для передач с многозаходным и шлифованным червяком);
- необходимость изготовления колес из дорогих антифрикционных материалов;
- повышенные требования к точности сборки, необходимость регулировки;
- большие осевые усилия на червяке, требующие применения радиально-упорных либо упорных подшипников;
- необходимость специальных мер по интенсификации теплоотвода.

Червячные передачи широко применяются в подъемнотранспортных машинах, станках, автомобилях и в иных машинах.

Передаточное отношение червячной передачи не зависит от отношения диаметров червяка и червячного колеса, а определяется из условия, что за один оборот червяка колесо поворачивается на число зубьев, равное числу витков червяка:

$$u = n_1 / n_2 = z_2 / z_1, \quad (3.12)$$

где z_1 и z_2 – число витков червяка и число зубьев колеса; n_1 и n_2 – частота вращения червяка и колеса, мин^{-1} .

Основные геометрические параметры червяка и колеса представлены на рис. 3.10.

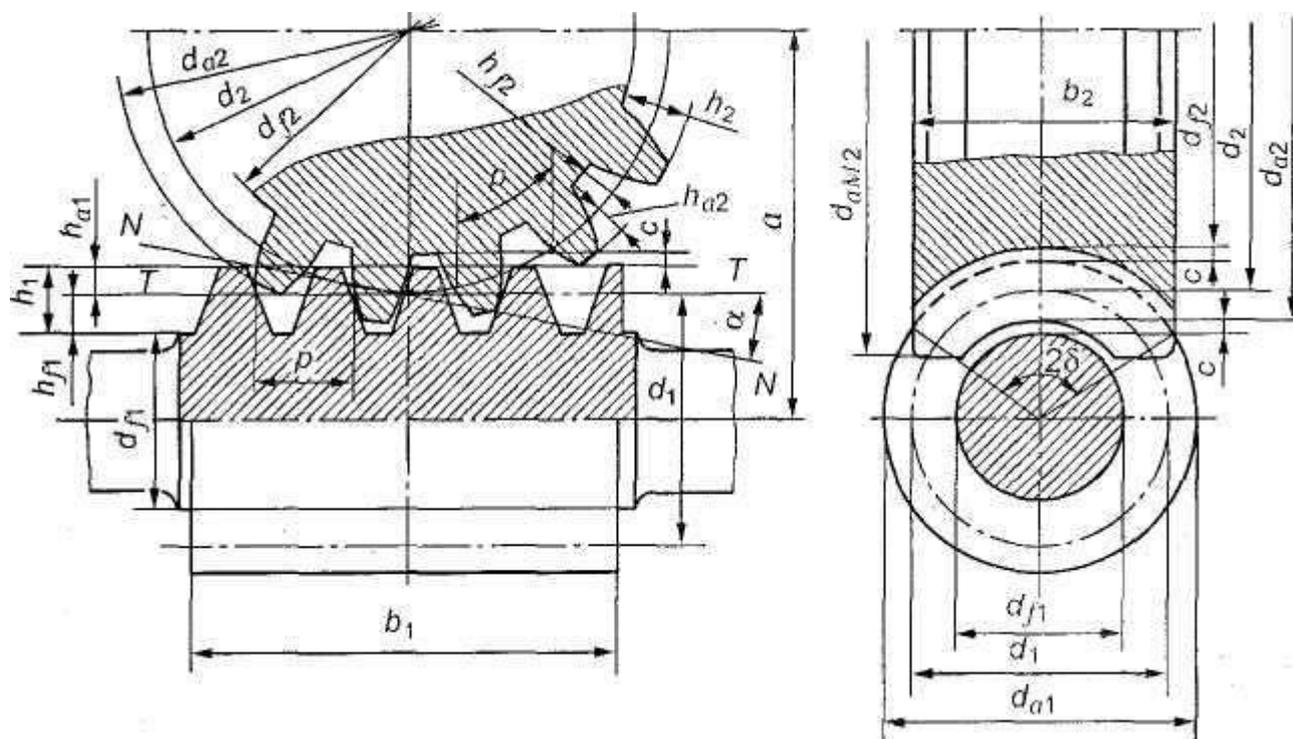


Рис. 3.10. Геометрические параметры червячной передачи

В червячной передаче, так же, как и в зубчатой, различают диаметры начальных и делительных цилиндров: d_{w1} , d_{w2} – начальные диаметры червяка и колеса; d_1 , d_2 – делительные диаметры червяка и колеса. Точка касания начальных цилиндров является полюсом зацепления. В передачах без смещения выполняются условия: $d_1 = d_{w1}$, $d_2 = d_{w2}$.

Диаметр делительного цилиндра червяка определяется по формуле:

$$d_1 = tq_1, \quad (3.13)$$

где q_1 – коэффициент диаметра червяка. Этот параметр также принимается по стандарту из ряда: 8; 9; 10; 12.5; 14; 16; 20.

С уменьшением модуля t рекомендуется значения коэффициента q увеличивать для обеспечения достаточной жесткости червяка на изгиб.

Коэффициент диаметра червяка определяет номенклатуру фрез для нарезания червячных колес.

Делительный диаметр червячного колеса $d_2 = mz_2$. Число зубьев червячного колеса рекомендуется принимать в пределах $28 \leq z_2 \leq 120$. В особых случаях допускается принимать z_2 до 1000. При $z_2 < 28$ появляется опасность подрезания зубьев и уменьшается суммарная длина линии контакта.

Материалы червячной пары должны обладать антифрикционными свойствами, хорошей прирабатываемостью, стойкостью против заедания и повышенной теплопроводностью.

Червяки изготавливаются из сталей. Поверхность витков подвергается цементации с последующей закалкой до твердости HRC =56...63 или закалке ТВЧ до твердости HRC =45...50. Крупные червяки подвергаются азотированию. Наиболее часто применяют под цементацию сталь – 18 ХГТ, для закалки ТВЧ стали – 40Х, 35 ХМ, 40 ХН и при азотировании 30ХМ10А. После термообработки поверхности витков обычно шлифуются. Азотированию подвергаются шлифованные червяки.

Червячные колеса обычно изготавливаются составными: обод из бронзы, ступица – из чугуна. В неответственных передачах обод может выполняться также из чугуна. Наилучшими для червячных колес являются оловянистые бронзы типа БрО10НЖ и БрО10Ф1, однако они весьма дороги и применяются лишь в ответственных передачах. Безоловянистые бронзы (БрА10Ж4Н4, БрА10Ж3Мц1.5 и др.) обладают повышенными механическими характеристиками, но имеют пониженные противозадирные свойства. Поэтому их рекомендуется применять при $v_{ск} = 10$ м/с.

Вследствие высокой стоимости бронз червячные колеса следует делать составными: зубчатый венец – из антифрикционного материала, а центральную часть – из стали или серого чугуна.

В машиностроении применяют следующие конструкции венцов червячных колес:

С напрессованным венцом – бронзовый венец насажен на стальной диск с натягом. Такая конструкция применяется при небольшом диаметре колес и невысокой температуре нагрева передачи. При высокой температуре такая конструкция не рекомендуется, так как посадка соединения ослабнет (бронза расширяется сильнее стали) и передача выйдет из строя.

С привернутым венцом – бронзовый венец с фланцем крепится болтами к диску. Фланец выполняется симметрично относительно венца для уменьшения температурных деформаций зубьев. Болты – точеные, а отверстия обрабатываются разверткой. Такая конструкция применяется при значительных диаметрах колес и при высоких температурах нагрева.

С венцом, отлитым на стальном центре – диск вставляют в форму, в которую заливают бронзу для получения венца. Эту конструкцию применяют в серийном и массовом производстве.

При проектировании передач, состоящих из зубчатых и червячных пар, червячную пару рекомендуется применять в качестве быстроходной ступени, так как при увеличении окружной скорости червяка создаются более благоприятные условия для образования устойчивого масляного клина в червячном зацеплении и, следовательно, уменьшаются потери на трение.

Червячные передачи во избежание их перегрева предпочтительно использовать в приводах периодического (а не непрерывного) действия.

3.4. Вопросы для самоконтроля

1. Что такое механическая передача?
2. Как называют меньшее из пары зубчатых колес образующих механическую передачу?
3. Какие типы передач бывают по способу передачи движения?
4. Как делятся звенья передачи?
5. Что относится к основным характеристикам передач?
6. Как осуществляют регулирование передаточного отношения в передачах?

7. Что такое зубчатая передача?
8. Какие достоинства и недостатки зубчатых передач?
9. Как располагаются оси валов в цилиндрических, конических и червячных передачах?
10. Как различают передачи по окружной скорости?
11. В чем отличие силовых передач от кинематических?
12. Что значит эвольвентное зацепление?
13. Как различаются конические передачи по форме зубьев?
14. Какая передача используется в ручных лебедках?
15. Что такое червячная передача?
16. Как называется ведущее звено в червячной передаче?
17. В каких узлах и механизмах строительных машин, устройств и оборудования применяют цилиндрические прямозубые передачи?
18. В каких узлах и механизмах строительных машин, устройств и оборудования применяют цилиндрические косозубые передачи?
19. В каких узлах и механизмах строительных машин, устройств и оборудования применяют конические передачи?
20. В каких узлах и механизмах строительных машин, устройств и оборудования применяют цилиндрические червячные передачи?

Глава 4. Грузоподъемные машины

4.1. Общие сведения о грузоподъемных машинах

В строительстве грузоподъемные машины используют для перемещения строительных материалов, монтажа строительных конструкций, погрузочно-разгрузочных работ на складах строительных материалов, монтажа обслуживания технологического оборудования в процессе его эксплуатации.

Классификация грузоподъемных машин.

По характеру рабочего процесса все грузоподъемные машины являются машинами циклического действия;

По характеру рабочих движений грузоподъемные машины разделяют на три основные группы:

- первая группа машин сообщает грузу только вертикальное, горизонтальное или наклонное прямолинейное движение (домкраты, лебедки, подъемники с жестким грузонесущим органом);

- вторая группа кроме вертикального подъема и опускания перемещает груз по монорельсу (электротали, подъемники с выдвижным грузонесущим органом);

- третья группа обеспечивает подъем (опускание) и перемещение груза в любую точку обслуживаемой площади (краны).

По конструктивному исполнению и виду выполняемых работ их делят на домкраты, лебедки, подъемники, монтажные вышки и краны.

Домкраты представляют собой винтовые, реечные или поршневые гидравлические толкатели для подъема грузов на незначительную высоту. Их используют на монтажных и ремонтных работах.

Лебедками называют грузоподъемные устройства в виде приводимого вручную или двигателем барабана с тяговым рабочим органом — стальным канатом. Их применяют для прямолинейного перемещения грузов и используют как самостоятельные машины как составные части механизмов более сложных машин.

Подъемники применяют для вертикального перемещения грузов (грузовые подъемники) и людей (пассажирские подъемники), размещаемых в кабинах или на площадках. Подъемники, которые вместе с грузами могут поднимать и людей, называют грузопассажирскими.

Вышки являются разновидностью подъемников, смонтированных на грузовых автомобилях.

Краны являются универсальными грузоподъемными машинами.

Грузоподъемные краны в строительстве применяют для монтажа конструкций и технологического оборудования при возведении зданий и сооружений, выполнения погрузочно-разгрузочных работ, вертикального и горизонтального перемещения строительных грузов (подача бетонной смеси, раствора, кирпича, установка и снятие подмостей и т.п.). По конструктивным признакам строительные краны классифицируют на башенные, самоходные стреловые, порталные, козловые и др. Краны подразделяют и по некоторым другим признакам: по возможности перемещения (передвижные, самоходные, самоподъемные, стационарные и др.); по виду привода (многомоторный, одномоторный и др.).

Основными рабочими движениями кранов являются:

- перемещение крана по подкрановым путям или подготовленным площадкам (кроме стационарных кранов);
- подъём и опускание крюка или другого грузозахватного органа;
- поворот стрелы (для стреловых кранов);
- изменение вылета крюка.

Изменение вылета крюка производится передвижением грузовой тележки по стреле, а также изменением угла наклона стрелы или её телескопированием (в зависимости от конструкции крана).

Основные параметры кранов:

1) грузоподъемность, т. - предельная (максимальная) *масса* груза (с учётом массы стропа или траверсы), допускаемая по условиям устойчивости крана или мощности привода к подъёму на определённом вылете крюка;

2) вылет крюка, м - *расстояние* от оси вращения поворотной части крана до вертикальной оси крюка;

3) грузовой момент, т·м - *произведение* максимальной грузоподъёмности на соответствующий ей вылет крюка (для кранов с переменной грузоподъёмностью) или на максимальный вылет (для кранов с постоянной грузоподъёмностью);

4) высота подъёма крюка, м - *расстояние* от головки рельса или опорной площадки до центра крюка;

5) скорость подъёма-опускания крюка, м/с;

6) база, м или мм - *расстояние* между осями шкворней ходовых тележек (для башенных, порталных кранов) или *расстояние* между вертикальными осями передних и задних катков или колёс (для самоходных стреловых кранов);

7) колея, м или мм - *расстояние* между средними плоскостями ходовых колёс или рельсов (для башенных, порталных и козловых кранов, кроме стационарных); *расстояние* между двумя плоскостями, проходящими через середины зубьев ведущих колес (для гусеничных кранов) или *расстояние* между двумя плоскостями, проходящими через осевые линии шин или сдвоенных колес (для пневмоколёсных, автомобильных кранов и кранов на спецшасси);

8) задний габарит, мм - *радиус* поворотной части крана с задней стороны.

Главным (определяющим) параметром для большинства кранов является грузоподъёмность, а для башенных кранов – грузовой момент. Грузовые характеристики кранов $Q=f(L_{кр})$ представляются в виде графика (рис. 4.1) или в табличной форме. На графике (рис. 4.1) также приводится зависимость высоты подъёма крюка от его вылета $H_{кр}=f(L_{кр})$.

Из графика видно, что при увеличении вылета крюка $L_{кр}$ грузоподъёмность крана Q уменьшается, а при уменьшении вылета - увеличивается. Но встречаются краны, грузоподъёмность которых в определённых интервалах вылета крюка остаётся неизменной.

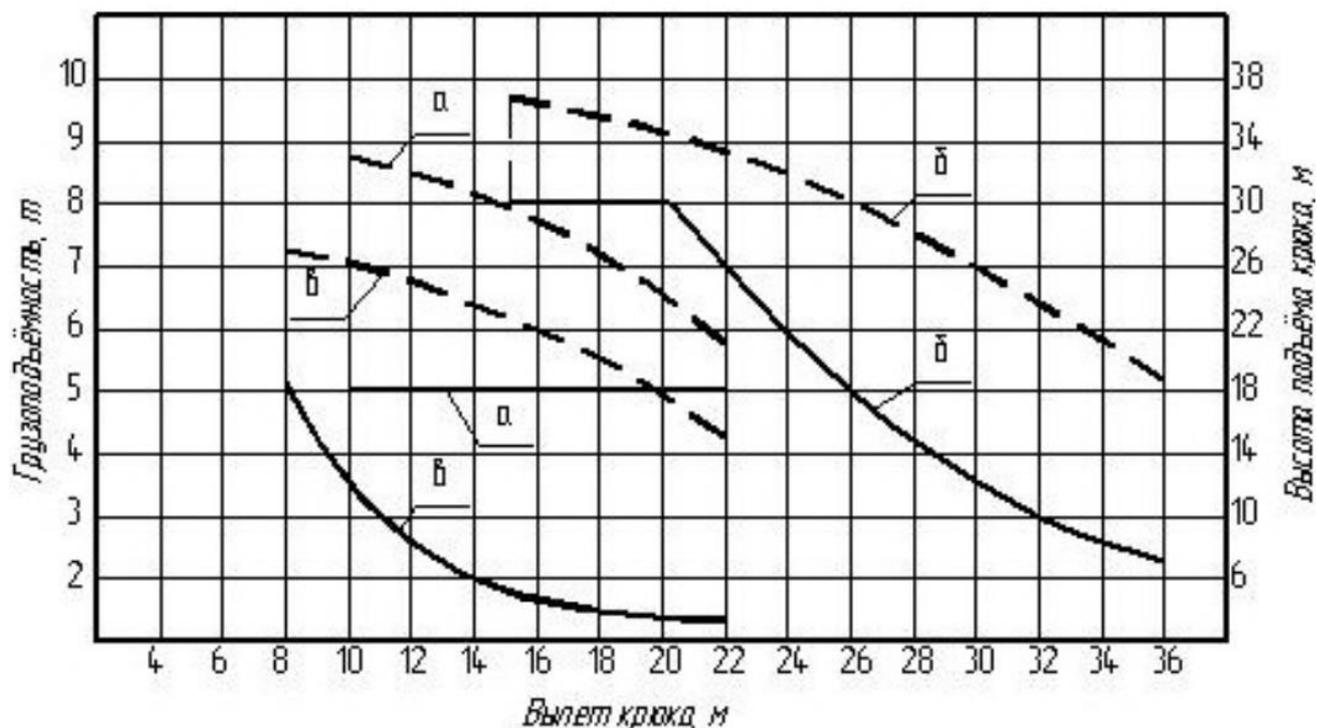


Рис. 4.1. Грузо-высотные характеристики кранов: *а* – КБ-302А; *б* – СКГ-50 со стрелой 30 м и неуправляемым гуськом 10 м (вспомогательный подъем); *в* – КС-55717 с длиной стрелы 27,4 м; — — график зависимости грузоподъемности от вылета крюка; - - - - график зависимости высоты подъема крюка от его вылета

4.2. Башенные краны

Башенные краны предназначены для выполнения монтажных, подъемно-транспортных и погрузочно-разгрузочных работ в жилищном, гражданском и промышленном строительстве.

Башенные краны подразделяют на краны с *поворотной* или *неповоротной* башней; с *балочной*, *подъемной* или *шарнирно-сочлененной* стрелой (редко применяется).

Краны с неповоротной башней грузоподъемностью до 10 т менее распространены, чем краны с поворотной. Это связано с их существенными недостатками:

- относительной сложностью конструкции; значительной продолжительностью и трудоёмкостью демонтажа, перевозки и монтажа;

▪ высоким расположением центра тяжести и ветрового давления, что снижает устойчивость крана.

Однако, изготовление кранов с поворотной башней (т.е. с нижним расположением опорно-поворотного устройства, когда вращается практически весь кран кроме ходовой части) при большой грузоподъёмности и высоте подъёма крюка приводит к значительному увеличению общей массы крана. Поэтому краны большой грузоподъёмности (более 10 т) и с большой высотой подъёма крюка изготавливают с неповоротной башней и, соответственно, верхним расположением опорно-поворотного устройства. Краны с неповоротной башней также нередко используются как *приставные* (с креплением к конструкциям возводимого здания или сооружения), так и *самоподъёмные*. При оборудовании кранов подъёмными стрелами груз подвешен к концу стрелы, а вылет крюка изменяется путём подъёма головной части стрелы при её повороте относительно неподвижного опорного шарнира в корневой части. При оборудовании кранов балочными стрелами груз подвешен к грузовой тележке, перемещаемой по нижнему поясу стрелы для изменения вылета крюка.

Балочные стрелы обеспечивают более плавное перемещение и точное наведение конструкций при монтаже и подаче грузов, большую зону обслуживания с одной стоянки (т.к. груз может подводиться близко к башне), при этом краны с балочными стрелами имеют массу на 10...15% выше, чем краны с подъёмными стрелами.

4.2.1. Башенный кран КБ-302А с поворотной башней

Применяют кран при возведении зданий высотой до 5 этажей. Максимальная грузоподъёмность – 5 т.

Кран имеет следующую конструктивно-компоновочную схему (рис. 4.2). Опорно-ходовая кольцевая рама крана 1 посредством четырёх балок-флюгеров опирается на четыре двухколёсные ходовые тележки 2, на двух из которых установлены механизмы передвижения крана по рельсам.

На ходовую раму с помощью опорно-поворотного устройства (ОПУ) установлена поворотная платформа 3. ОПУ представляет собой роликовый круг (подшипник качения большого диаметра) с внутренним зубчатым венцом. На поворотной платформе размещены электрореверсивные грузовая и стреловая лебёдки 5, механизм поворота 10 и шкафы электрооборудования. В передней части платформы установлена трубчатая башня 6, удерживаемая в вертикальном положении подкосами. С противоположной стороны от башни на платформе закреплён противовес 4, обеспечивающий собственную и грузовую устойчивость крана.

В верхней части башни к ней шарнирно присоединена подъёмная стрела 7. Свободным концом стрела подвешена к стреловому канату (расчалу) 11, который, огибая отводные блоки, присоединён к подвижной обойме стрелового полиспаста 12. Тяговый конец каната этого полиспаста закреплён на барабане стреловой лебёдки.

На конце стрелы установлены блоки грузового каната 13. Канат, огибая блоки, образует петлю, в которой размещена крюковая подвеска 8, т.е. применён двукратный грузовой полиспаст.

Ветви грузового каната огибают отводные блоки, а их концы закреплены: один – на барабане грузовой лебёдки, а второй – на барабане стреловой лебёдки. В этом случае, при подъёме стрелы стреловой канат навивается на барабан лебёдки, а грузовой свивается с него. Это обеспечивает постоянное положение крюка по высоте (горизонтальное его перемещение при подъёме-опускании стрелы).

Механизм поворота 10 состоит из трёхступенчатого зубчатого вертикального редуктора с присоединённым к нему электродвигателем. На тихоходном валу редуктора закреплена шестерня, находящаяся в зацеплении с зубчатым венцом ОПУ. При работе двигателя шестерня обкатывается по венцу, вовлекая во вращательное движение поворотную часть крана.

Кабина управления 9 расположена в верхней части башни крана.

Рассматриваемая модель крана КБ-302А имеет выполненную из труб башню и стрелу, но чаще эти элементы крана выполняются решётчатой конструкции.

Расположение на поворотной платформе противовеса и механизмов привода снижает положение центра тяжести и центра ветрового давления на кран, повышает его устойчивость и упрощает техническое обслуживание и ремонт привода крана, а также снятие и установку плит противовеса при демонтаже и монтаже крана (для выполнения этих работ используется преимущественно автомобильный кран).

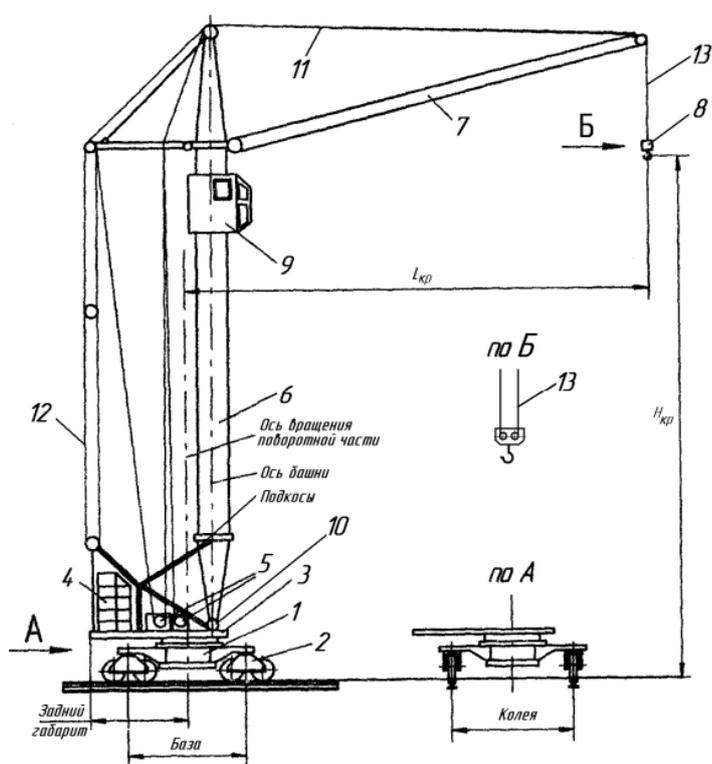


Рис. 4.2. Кран башенный с поворотной башней КБ-302А: $L_{кр}$ – вылет крюка крана; $H_{кр}$ – высота подъёма крюка; $L_{кр}$ – вылет крюка кран

Конструкция крана позволяет при его демонтаже опускать стрелу вниз и располагать её вдоль башни. В сложенном виде верхнюю часть этого узла, переводя в горизонтальное положение, опирают на автотягач, а ходовую часть крана – на подкатную пневмоколёсную тележку. Эти операции выполняют подъёмными механизмами самого крана и вспомогательным самоходным стреловым краном.

Монтаж крана на другом объекте производят в обратной последовательности. Таким образом, кран перевозят с одного объекта на другой без существенной

разборки (кроме противовеса), что снижает трудоёмкость и продолжительность процессов монтажа-демонтажа (1...2 смены). Необходимо отметить, что в комплект крана входят также бетонные грузы массой 5,5 т и 6,25 т для динамических и статических испытаний крана при техническом освидетельствовании. Современными моделями кранов с поворотной башней являются КБ-405.1А, КБ-408.21 и др.

4.2.2. Башенный кран М-3-5-10 с неповоротной башней

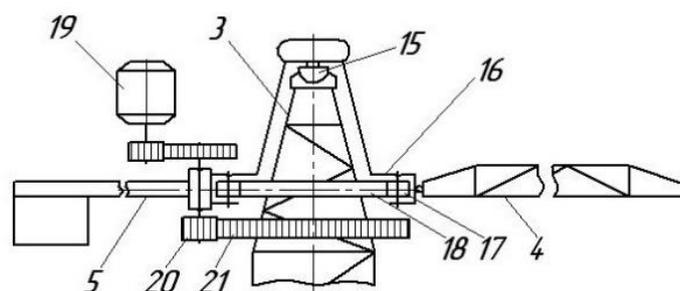
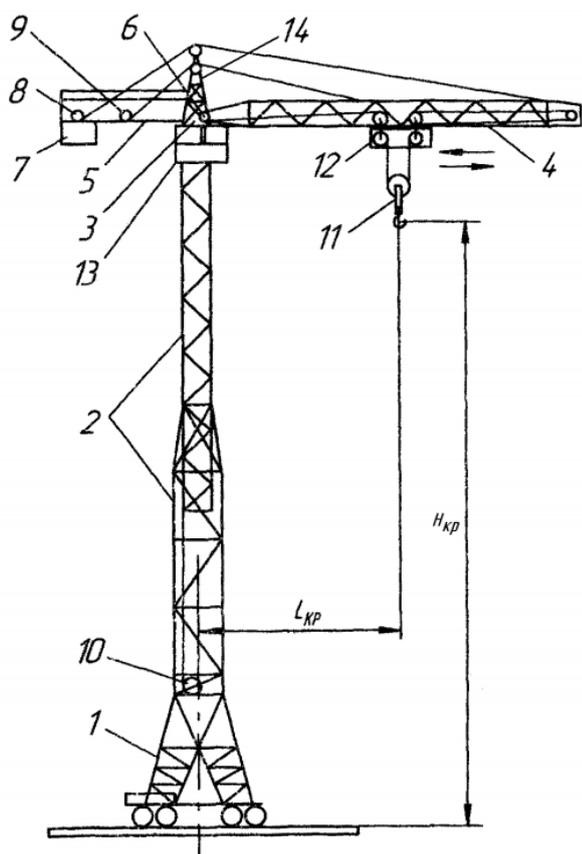
Применяют при возведении зданий высотой до 12 этажей. Максимальная грузоподъёмность крана - 5 т.

Кран имеет следующую конструктивную схему (рис. 4.3).

Нижняя часть крана - портал 1, выполненный в виде пирамиды, снабжён четырьмя ходовыми двухколёсными тележками, перемещающимися по рельсам. Две тележки приводные.

На площадке портала расположена грузовая лебёдка 10. К portalу прикреплена неповоротная телескопическая башня 2, состоящая из наружной неподвижной и внутренней выдвигной частей. Телескопирование башни производится наматыванием каната, запасованного в полиспасте подъёма башни, на барабан грузовой лебёдки 10, с которой предварительно был снят грузовой канат. Выдвигная часть башни оканчивается головкой 3, на которой опирается поворотный оголовок 14. Он включает в себя верхнюю опору 15 (радиально-упорный подшипник) и опорное кольцо 16 с четырьмя катками 17. Катки при повороте катятся по опорному бандажу 18, жёстко закреплённому на головке 3 башни.

На опорном кольце также установлен механизм поворота 19, выходное звено которого (шестерня 20) находится в зацеплении с зубьями цевочного колеса 21, закреплённого на головке башни. При работе этого механизма шестерня обкатывается вокруг колеса, вовлекая во вращательное движение всю поворотную часть.



a

б

Рис. 4.3 Кран башенный с неповоротной башней М 3-5-10:

a – конструктивная схема крана; *б* – схема опорно-поворотного устройства;

$L_{кр}$ – вылет крюка крана; $H_{кр}$ – высота подъёма крюка

К опорному кольцу поворотной головки шарнирно прикреплены балочная стрела 4 и консоль 5. Консоль подвешена жёсткими тягами к верхней части головки. На ней установлены лебёдка передвижения грузовой тележки 8 и лебёдка подъёма-опускания стрелы 9, а также прикреплён противовес 7. Стрела 4 подвешена на стреловом полиспасте, канат которого закреплён на барабане лебёдки 9. Этой лебёдкой стрелу устанавливают в наклонное положение. По нижнему поясу стрелы лебёдкой 8 передвигается грузовой тележка 12. Грузовой канат лебёдки 10 огибает блоки, установленные на тележке, образуя петлю. В ней подвешена крюковая подвеска 11, образуя двукратный полиспаст.

Кабина управления 13 закреплена на поворотной головке. Конструкция рассматриваемой модели крана обеспечивает возможность увеличивать или

уменьшать высоту башни (следовательно, и максимальную высоту подъёма крюка) путем её телескопирования.

Современными моделями кранов с неповоротной башней являются КБ-571Б, КБ-674А, *Potaine MD-175* и др.

4.3. Самоходные стреловые краны

В строительстве наибольшее распространение получили самоходные стреловые краны. Они используются для монтажных и погрузочно-разгрузочных работ и получили широкое применение благодаря автономности привода, большому диапазону основных параметров, высокой манёвренности и мобильности, простоте подготовки площадок для их работы и др.

По типу ходового оборудования различают краны *гусеничные*, *пневмоколесные*, *автомобильные*, на специальном шасси автомобильного типа и др.

По виду подвески стрелового оборудования – *с гибкой* (на канатах) и *жесткой* (на гидроцилиндрах) подвеской.

Некоторые краны могут оснащаться сменным стреловым и башенно-стреловым оборудованием. Стрелы бывают постоянной или переменной длины, решетчатой и блочной конструкции (телескопические). Стрелы некоторых моделей кранов оснащают дополнительными элементами – неуправляемым или управляемым гуськами.

В настоящее время автомобильные, пневмоколёсные (короткобазовые) краны и краны на специальные шасси автомобильного типа выпускаются преимущественно с телескопической стрелой, гусеничные – с решётчатой.

Автомобильные, пневмоколесные краны и краны на спецшасси имеют выносные опоры – аутригеры, используемые при выполнении ими рабочих операций. Аутригеры увеличивают опорный контур крана (повышают его устойчивость), уменьшают нагрузку на его ходовую часть.

Некоторые краны допускают передвижение с грузом на крюке при определенных ограничениях по величине груза, положения стрелы, вылету крюка,

скорости движения и состояния пути. Имеются ограничения и для телескопирования стрелы.

К *недостаткам* самоходных стреловых кранов можно отнести нижнее крепление стрелы, затрудняющее подачу грузов внутрь строящегося здания (для кранов со стреловым исполнением рабочего оборудования); нижнее расположение кабины, что существенно сокращает обзор машинисту. Последний недостаток на некоторых моделях кранов устраняется путём возможности дистанционного радиоуправления ими с использованием переносного пульта.

Достоинствами крана являются высокая маневренность и грузоподъёмность, автономность (независимость привода).

4.3.1. Автомобильный кран

В нашей стране в строительной отрасли автокраны получили широкое распространение, Россия при этом является одной из ведущих стран по их производству.

Максимальная грузоподъёмность автомобильного крана КС-55717 представленного на рис. 4.4 – 32 т. Кран применяют, преимущественно, для погрузочно-разгрузочных работ, а также монтажа конструкций и различного технологического оборудования. Автомобильные краны КС-55717 смонтированы на шасси КамАЗ-53229. На этих кранах установлена четырехсекционная телескопическая стрела длиной 9,4...27,4 м. В качестве сменного вспомогательного стрелового оборудования предусмотрен гусек длиной 7 м.

Конструктивная схема крана представлена на рис. 4.4. Неповоротная часть крана состоит из ходового устройства 1, в качестве которого используются шасси серийно выпускаемого грузового автомобиля, ходовой рамы 2 и выносных опор 3 (аутригеров). Аутригеры имеют гидравлический привод.

Поворотная часть крана включает поворотную платформу 4, кабину машиниста 5 и стреловое оборудование. Поворотная платформа устанавливается на ходовую раму через опорно-поворотное устройство 6 и является основанием поворотной части крана.

В качестве основного рабочего оборудования применяется четырёхсекционная телескопическая стрела 7. Длину стрелы легко можно изменить при рабочей нагрузке при помощи гидроцилиндра (от 9,4 м до 27,4 м). Также с помощью гидроцилиндра 8 производится подъём и опускание стрелы. Такая подвеска рабочего оборудования называется жёсткой. В качестве рабочего органа применяется крюковая подвеска 9.

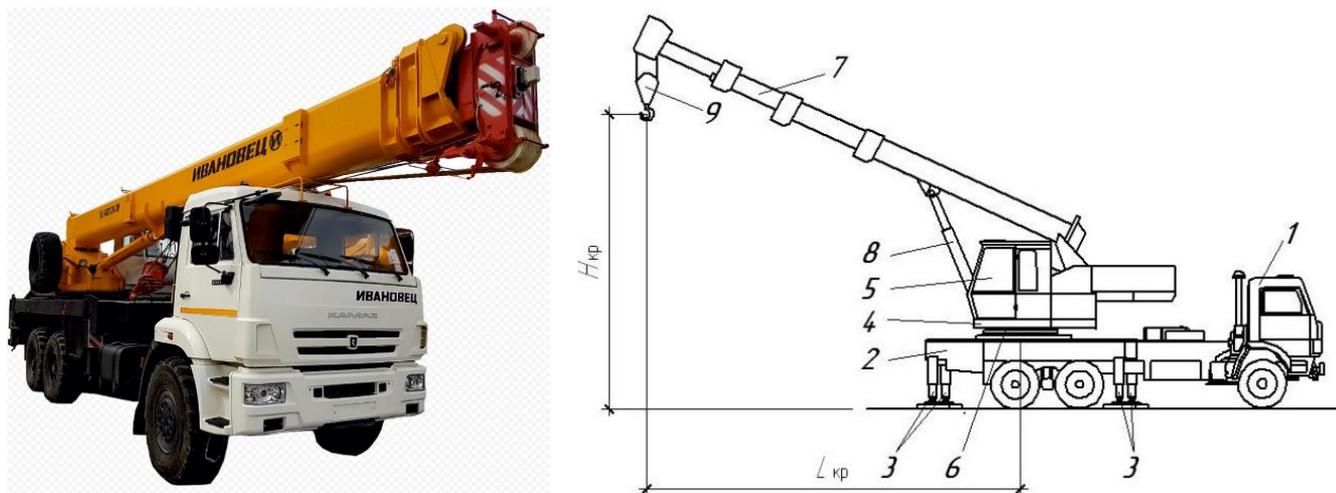


Рис. 4.4. Кран автомобильный КС-55717: $L_{кр}$ – вылет крюка крана;
 $H_{кр}$ – высота подъёма крюка

При необходимости увеличить вылет и высоту подъёма крюка кран оснащается решётчатым гуськом (длиной 7 м), закрепляемым на головной секции стрелы.

Кран оснащается микропроцессорным ограничителем грузоподъёмности с цифровой индикацией информации, который позволяет следить за степенью загрузки крана, длиной стрелы, вылетом крюка и высотой подъёма оголовка стрелы, показывает фактическую величину груза на крюке и максимальную грузоподъёмность на данном вылете. Данное устройство автоматически по заданным координатам ограничивает зону действия крана в стеснённых условиях.

Представителями данного типа кранов также являются КС-35714 «Ивановец», КС-65711 «Челябинец», *Liebherr LTF 1030-3* и т.д.

4.3.2. Гусеничный кран

Специальный гусеничный кран СКГ-50 максимальной грузоподъемностью 50 т используют, преимущественно, при возведении зданий промышленного и гражданского назначения. Кран имеет следующую конструктивную схему (рис. 4.5).

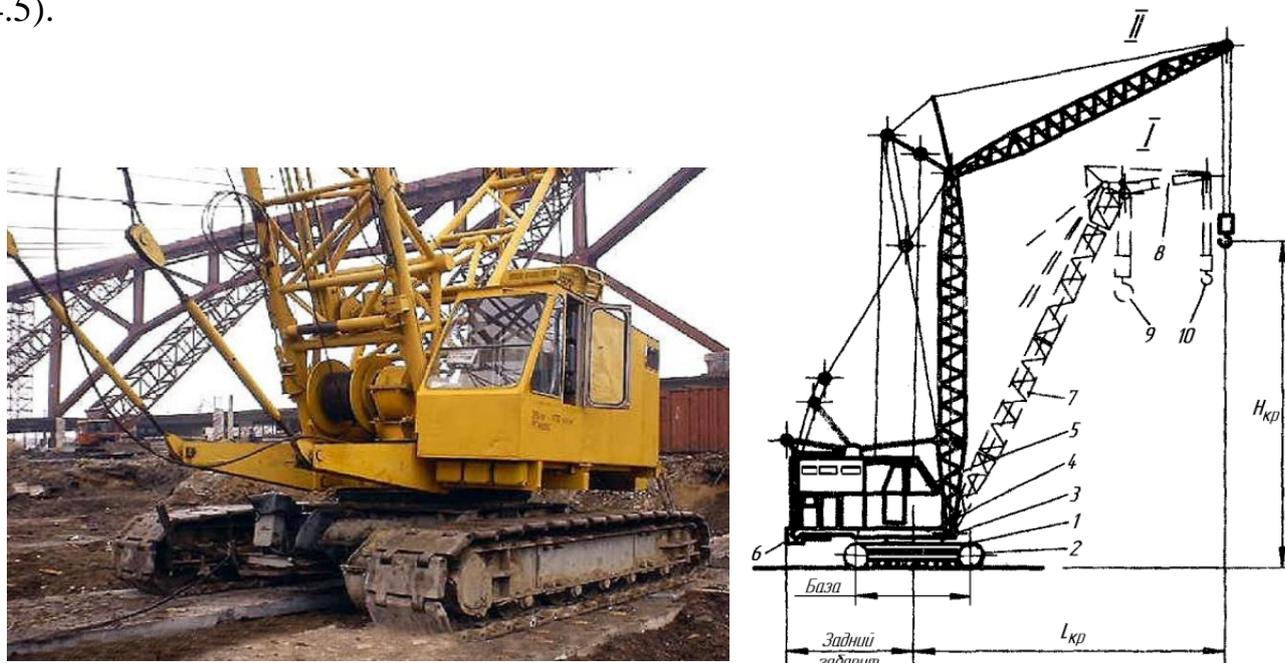


Рис. 4.5. Кран гусеничный СКГ-50: I - стреловое исполнение; II - башенно-стреловое исполнение; $L_{кр}$ – вылет крюка крана; $H_{кр}$ – высота подъема крюка

Кран СКГ-50 дизель-электрический, полноповоротный, многомоторный, грузоподъемностью 50 т, оснащается основными и вспомогательными крюками. Кран предназначается для монтажа стальных и сборных железобетонных конструкций, одно- и многопролетных промышленных цехов легкого и среднего типа и для монтажа гидросооружений.

На поворотной платформе расположена дизель-электрическая станция, состоящая из дизеля 6КДМ-50Т и генератора переменного тока СГ-116/6. Кран имеет четыре рабочих движения: подъем (опускание) груза, изменение вылета стрелы, вращение стрелы, передвижение крана. Допускается совмещение любых трех рабочих движений.

Ходовой частью крана служат две многоопорные гусеничные тележки. Кран имеет стрелу длиной 15 м (основной подъем), которая оборудуется гуськом длиной

10 м. С помощью вставок длина стрелы может быть увеличена до 30, 35 и 40 м; стрелы длиной 30 и 40 м оборудуются также гуськами длиной по 10 м, а стрела длиной 35 м — гуськом длиной 28,9 м.

На раму 1 машины, снабженную гусеничным ходовым оборудованием 2, через опорно-поворотное устройство 3 опирается поворотная платформа 4. На поворотной платформе установлены: дизель-электрическая силовая установка, грузовые лебёдки основного и вспомогательного подъёма, лебёдка подъёма-опускания стрелы, механизм поворота платформы, кабина машиниста 5, противовес 6, стреловое оборудование. В состав стрелового оборудования входят стрела 7, гусёк (надстрелок) 8, основная 9 и вспомогательная 10 крюковые подвески, полиспасты и др.

Кран может быть переоборудован со стрелового исполнения на башенно-стреловое. В этом случае изменяют запасовку канатов, стрелу устанавливают почти вертикально (стрела-башня), а функции стрелы выполняет управляемый гусёк (надстрелок). Для предотвращения опрокидывания стрелы-башни назад используют специальные упоры. Башенно-стреловое оборудование существенно увеличивает зону обслуживания крана, уменьшает благодаря этому количество стоянок и обеспечивает подачу грузов внутрь строящегося здания. При этом максимальная грузоподъёмность крана снижается до 12,9 т, а также исключается использование основной крюковой подвески. Привод механизмов крана может использовать электроэнергию, как от собственного, так и от внешнего источника (сети) посредством электрокабеля.

Современными моделями гусеничных кранов являются ДЭК-401, *Liebherr LTR 1100*, *Liebherr HS 873 HD*, *XCMG QUY300* и т.д.

4.4. Портальный кран

Портальные краны в зависимости от назначения разделяют на перегрузочные (грейферные, магнитные, универсальные) и монтажные (строительные, судостроительные, доковые).

Перегрузочные краны работают грейфером с сыпучими грузами или автоматическим захватным устройством с массовыми штучными грузами. Эти краны обычно снабжаются дополнительной крюковой подвеской, могут работать и с магнитами.

Краны этого типа используют в морских и речных портах для выполнения погрузочно-разгрузочных работ, в гидротехническом строительстве для подачи бетонных смесей, установки опалубки и арматуры, перемещения оборудования. Грузоподъёмность порталных кранов колеблется от 10 до 30 т, вылет крюка от 20 до 50 м. Конструктивная схема крана приведена на рисунке 4.6.

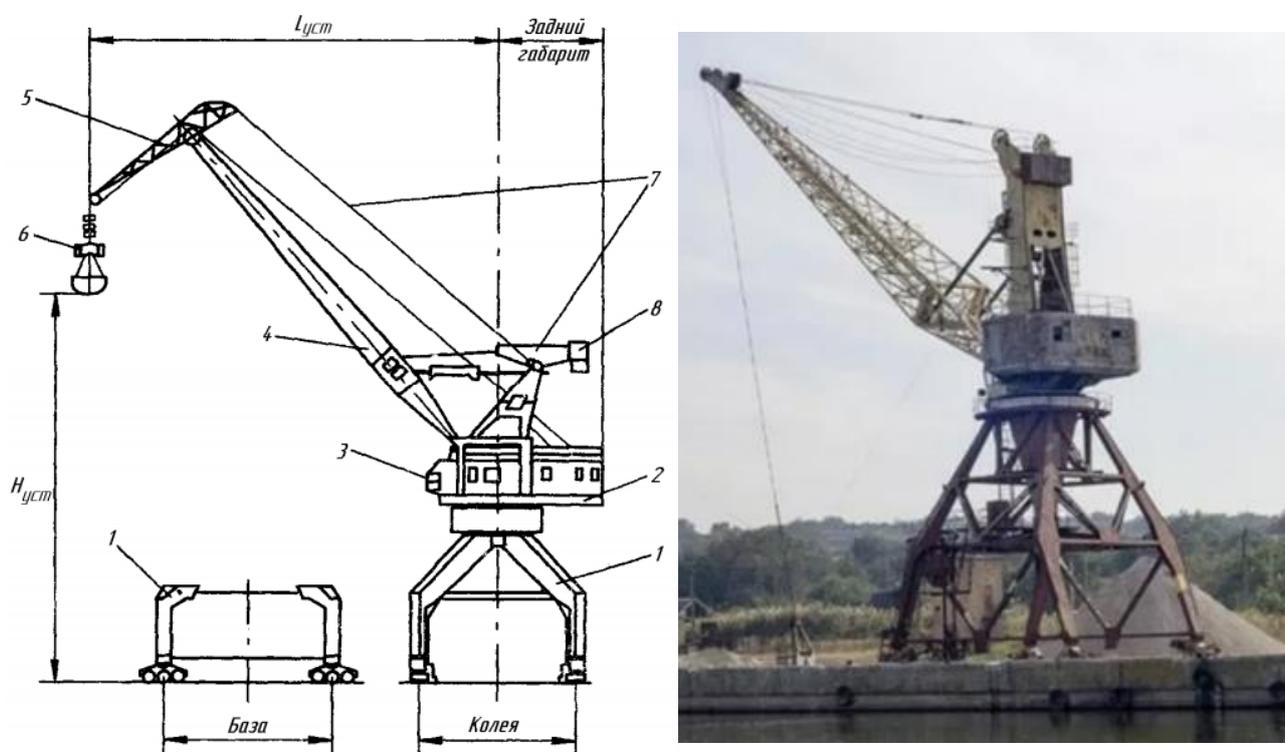


Рис. 4.6. Кран порталный КПП-10: $L_{уст}$ – вылет грузозахватного устройства (грейферного ковша); $H_{уст}$ – высота подъёма грузозахватного устройства

На П-образный портал 1, передвигающийся по рельсовому пути, опирается поворотная платформа 2. На поворотной платформе размещены лебёдки, поворотный механизм, кабина управления 3. С передней частью платформы шарнирно соединена стрела 4, снабжённая гуськом 5. Грузозахватный орган 6

повешен на канате, проходящем через гусёк и приводимым в движение грузовой лебёдкой. Стрела посредством рычажно-канатной системы 7 соединена с подвижным противовесом 8. Эта система обеспечивает автоматическое изменение положения гуська, стрелы и противовеса в зависимости от вылета крюка. Большая ширина портала даёт возможность прохода вагонов или других транспортных средств под краном, что ускоряет их загрузку и разгрузку и позволяет более рационально использовать складские площади.

4.5. Козловый кран

Применяют на погрузочно-разгрузочных работах на открытых складах, на полигонах по изготовлению железобетонных и стальных конструкций, на монтаже конструкций объектов большой длины (станции метрополитенов, одноэтажные корпуса промышленных предприятий и др.), монтаже зданий из блоков полной заводской готовности.

Грузоподъёмность козловых кранов от 3 до 100 т, пролет от 8 до 50 м, высота подъёма грузозахватного органа от 8 до 30 м.

Козловые краны бывают бесконсольные, одноконсольные и двухконсольные (консоль - продолжение ригеля за пределы опор-стоек).

Кран К-202 имеет следующую конструктивную схему (рис. 4.7). Кран состоит из решетчатого ригеля, опирающегося на стойки-ноги: одна нога жесткая, другая — гибкая. Такую конструкцию ходовых тележек имеют краны грузоподъёмностью от 12 до 20 т. В кранах грузоподъёмностью от 30 до 50 т опорные балки по концам имеют двухколесные балансирные тележки с приводом на одну из них. Козловой кран передвигается по рельсовым путям, укладываемым на балласте. Железнодорожный путь, укладываемый между опорами крана, имеет габарит приближения к опоре — 2,75 м. Металлоконструкции кранов грузоподъёмностью от 12 до 50 т выполнены из одинаковых узлов и отличаются лишь количеством секций, которые соединяются между собой на чистых болтах.

Мостовая ферма (ригель) 1 опирается на стойки-опоры 2 и 3, установленные на балки 4 со встроенными колёсами. Последние передвигаются по рельсовому

пути. По верхнему поясу ригеля перемещается грузовая тележка 5, на ветвях каната к которой подвешена траверса 6 с крюком или иным грузозахватным органом. Лебёдки располагаются на одной из сторон ригеля. Управление краном осуществляется машинистом из кабины 7.

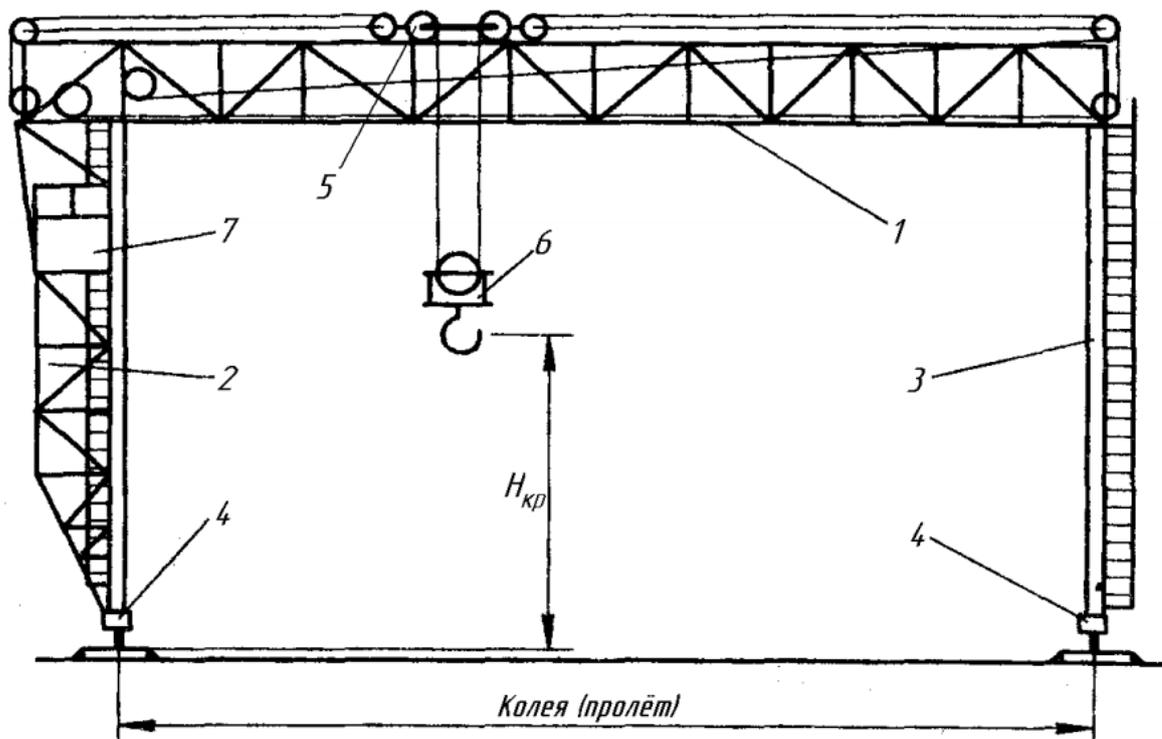


Рис. 4.7. Кран козловый бесконсольный К-202: $H_{кр}$ (м) – высота подъёма крюка

4.6. Основные правила техники безопасности при эксплуатации грузоподъемных кранов

1. Надзор за установкой и безопасной эксплуатацией кранов осуществляют мастер, прораб, инженер по технике безопасности строительной организации и инспекция Ростехнадзора.

2. Кран должен иметь исправные, предусмотренные инструкцией средства безопасности: ограничители грузоподъемности, высоты подъема крюка и др.

3. В рабочей зоне действующих кранов запрещается производство каких-либо работ на нижележащих уровнях.

4. Запрещается подъем груза при косом натяжении грузового полиспаста, отрыв примёрзших или засыпанных грунтом грузов.

5. Не допускается нахождение людей под грузом и стрелой.

6. При горизонтальном перемещении груза поворотом стрелы между ним (грузом) и верхом нижерасположенных конструкций должно быть расстояние не менее 500 мм.

7. Расстояние между наиболее выступающими частями поворотной платформы крана и зданием должно быть не менее 1 м.

8. Масса поднимаемого груза, включая грузозахватные приспособления, не должна превышать грузоподъемность крана на данном вылете крюка.

4.7. Стальные канаты

Канат – гибкое изделие, изготовленное из стальной проволоки или из волокон растительного, синтетического и минерального происхождения.

Стальные канаты применяют в механизмах грузоподъемных машин в качестве гибкого тягового органа (грузовые), для изготовления стропов, обвязки и крепления грузов (чалочные), для передачи усилий в механизмах (тяговые). Для изготовления канатов используют светлую проволоку из мартеновской углеродистой стали диаметром от 0,2 до 5 мм и расчетным пределом прочности при растяжении 1370 - 2350 Н/мм² (140 - 240 кгс/мм²).

Применяемые стальные канаты должны соответствовать действующим государственным стандартам и иметь сертификат завода-изготовителя об их испытании. Канаты, не снабженные сертификатом, к использованию не допускаются.

Стальные канаты **классифицируют** по назначению, конструкции, по типу свивки, материалу сердечника, направлению свивки и другим признакам.

По назначению канаты делятся на грузовые (Г) для перемещения грузов; грузоподъемные (ГП) для машин, перемещающих грузы и людей.

По конструкции различают канаты (рис. 4.8):

- одинарной свивки (спиральные канаты), из проволок, свитых по спирали в один или несколько концентрических слоев;
- двойной свивки, проволоки предварительно свивают в пряди, а затем пряди свивают в канат;
- тройной свивки, свитые из канатов двойной свивки (стренг).

Канаты одинарной свивки обладают повышенной жесткостью, поэтому их применяют только для различного рода оттяжек. В механизмах строительных кранов применяют преимущественно канаты двойной свивки, шестипрядевые с органическим сердечником. Канаты тройной свивки в грузоподъемных машинах в настоящее время не применяют.

Материал сердечника каната может быть органическим (о.с.) или металлическим (м.с.). Для органического сердечника чаще всего используют пеньку, сизаль или хлопчатобумажную пряжу, пропитанные при изготовлении смазкой. В качестве металлического сердечника используют прядь каната, свитую из мягкой проволоки с пределом прочности $680...880 \text{ Н/мм}^2$ ($70...90 \text{ кгс/мм}^2$). Канаты с металлическим сердечником применяют при многослойной навивке на барабан и работе при повышенных температурах.

По направлению свивки различают канаты *левой* (Л) и *правой* свивки.

По сочетанию направлений свивки каната и его элементов различают канаты односторонней свивки, когда направление свивки прядей и проволок в прядях совпадают; и канаты крестовой свивки, когда направление свивки прядей в канате

и проволок в прядях противоположно. Канаты крестовой свивки обладают меньшей гибкостью, чем канаты односторонней свивки, но они менее подвержены кручению и деформации при огибании блоков. Их применяют при гладких барабанах механизмов машин.

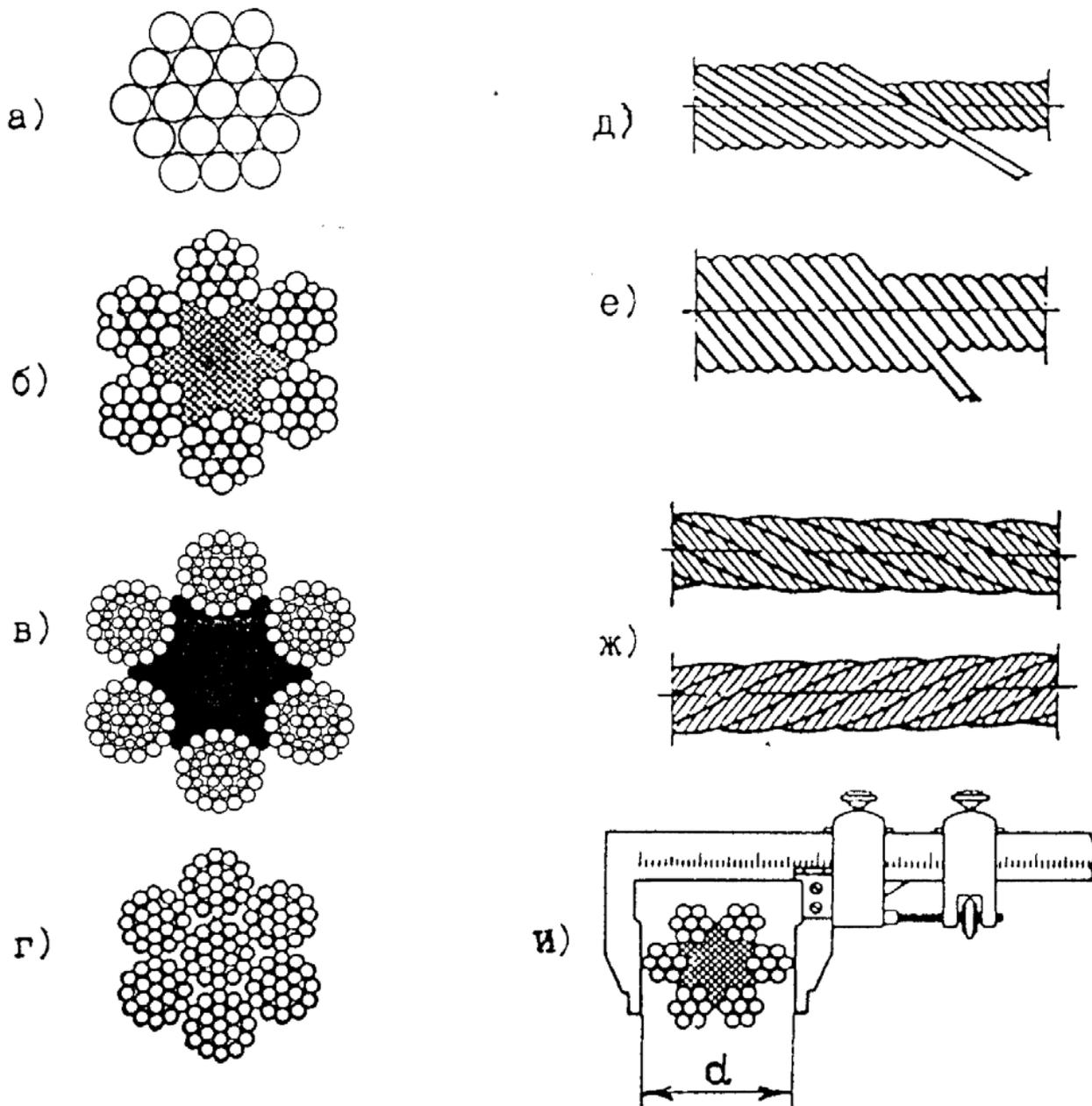


Рис. 4.8. Канаты стальные: *а* – одинарной свивки типа ТК, 1x19(1+6+12) по ГОСТ 3063-80; *б* – двойной свивки типа ЛК-Р, 6x19(1+6+6/6)+1о.с. по ГОСТ 2688-80; *в* – двойной свивки типа ТЛК-О, 6x37(1+6+15+15)+1о.с. по ГОСТ 3079-80; *г* – двойной свивки типа ТК, 6x19(1+6+12)+1x19(1+6+12) по ГОСТ 3067-88; *д* – канат с точечным касанием ТК; *е* – канат с линейным касанием ЛК; *ж* – канаты левой и правой свивки; *и* – измерение диаметра каната

По типу свивки прядей различают канаты:

ТК – с точечным касанием отдельных проволок между слоями;

ЛК – с линейным касанием отдельных проволок между слоями;

ЛК-О – с линейным касанием проволок между слоями и одинаковым диаметром проволок по слоям пряди;

ЛК-Р – с линейным касанием проволок между слоями и разным диаметром проволок в наружном слое пряди;

ТЛК – с комбинированным точечно-линейным касанием проволок.

В зависимости от условий эксплуатации применяют канаты *без покрытия* или *с покрытием*. Проволоки прядей могут иметь цинковое покрытие для особо жестких (ОЖ), жестких (Ж) и средних (С) агрессивных условий работы, либо пряди или канат в целом покрывают искусственными материалами (П).

По механическим свойствам изготавливают канаты марок ВК, В, I.

Марку ВК применяют для ответственных случаев (транспортирование людей, химически активных или взрывчатых веществ и т.п.). Для крановых механизмов применяют канаты марок В и I.

Техническая характеристика канатов двойной свивки типа ТЛК-О конструкции 6х37 (1+6+15+15) +1 о.с. по ГОСТ 3079-80 приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1.

**Канаты двойной свивки типа ТЛК-О конструкции
6х37 (1+6+15+15) +1 о.с. по ГОСТ 3079-80 (выборочные данные)**

Диаметр каната, мм	Маркировочная группа, Н/мм ² (кгс/мм ²)					Масса 1000 м смазанного каната, кг
	1370(140)	1470(150)	1570(160)	1670(170)	1770(180)	
	Разрывное усилие каната в целом, F ₀ , кН, не мене					
11,5	-	-	62,60	66,50	68,75	468,0
13,5	-	-	88,65	94,20	97,10	662,5
15,5	-	-	113,50	121,00	124,00	851,5
17,0	-	-	142,00	151,00	155,50	1065,0
19,5	157,50	169,00	180,00	191,50	197,00	1350,0
21,5	195,00	208,50	222,50	237,00	244,50	1670,0
23,0	225,00	241,50	258,00	274,00	283,00	1930,0
25,0	262,50	281,00	300,00	318,50	328,50	2245,0

Пример обозначения каната при заказе:



4.7.1. Выбор стальных канатов

Проволоки в свитом канате испытывают напряжения растяжения, смятия, изгиба и кручения. При каждом огибании канатом блока или барабана появляются дополнительные напряжения изгиба и смятия в местах соприкосновения проволок с поверхностью ручья. Одновременно, в результате проскальзывания прядей относительно друг друга, а также трения каната о поверхность блока или барабана, происходит истирание проволок. Их диаметр уменьшается, знакопеременные напряжения вызывают усталость металла и происходит разрушение наружных, а затем и внутренних проволок. Напряжения, возникающие в материале проволок, зависят от многих факторов (конструкции и диаметра каната, диаметра проволок, числа прядей, материала сердечника, смазки и др.), но основными являются величина натяжения каната и отношение диаметров блока и барабана к диаметру каната. Эти два параметра в основном определяют срок службы каната.

При выборе каната его рассчитывают на растяжение с регламентированным коэффициентом использования (коэффициентом запаса прочности) при обязательном соблюдении отношения диаметра блока или барабана к диаметру каната. По правилам Госгортехнадзора канат выбирают по его разрывному усилию в целом из условия:

$$F_p = S \cdot Z_p \leq F_o \tag{4.1}$$

где F_p – расчетное разрывное усилие каната в целом, Н; S – наибольшее натяжение ветви каната с учетом КПД полиспаста, если он применяется (без учета динамических нагрузок), Н; Z_p – коэффициент использования (запаса прочности)

каната, зависящий от назначения и группы классификации (режима) механизма (таблица 4.2); F_0 – разрывное усилие каната в целом, H , принимаемое по сертификату на канат, а при проектных работах – по таблицам стандарта (табл. 4.1).

Для канатов, применяемых для изготовления стропов коэффициент использования (запаса прочности) $Z_p \geq 6$.

Натяжение ветви каната S для механизмов см. параграф 9.2, а для стропов определится:

$$S = \frac{Q \cdot g}{n \cdot \cos \alpha} = \frac{m \cdot Q \cdot g}{n}, \text{ Н} \quad (4.2)$$

где Q – масса поднимаемого груза, кг;

g – ускорение свободного падения, $g=9,81 \text{ м/с}^2$;

n – число ветвей стропа, на которые подвешен груз;

α – угол наклона ветви стропа к вертикали, град.;

$m = 1 / \cos \alpha$ – коэффициент, равный:

при $\alpha = 0$, $m = 1$; при $\alpha = 30^\circ$, $m = 1,15$; при $\alpha = 45^\circ$, $m = 1,42$; $\alpha = 60^\circ$, $m = 2,0$

Для стропа с числом ветвей, воспринимающих расчетную нагрузку, более трех в расчете принимают $n = 3$. Если в стропах имеются устройства, создающие равномерные натяжения всех ветвей, то n принимается равным их фактическому значению.

Диаметры барабана, блока и уравнительного блока по правилам Госгортехнадзора определяются соответственно:

$$D_6 \geq h_1 \cdot d; \quad (4.3)$$

$$D_{6п} \geq h_2 \cdot d; \quad (4.4)$$

$$D_{6п.у} \geq h_3 \cdot d. ; \quad (4.5)$$

где d – диаметр каната; h_1 , h_2 , h_3 – коэффициенты выбора диаметра барабана, блока и уравнительного блока (таблица 4.2).

**Минимальные коэффициенты использования (запаса прочности) каната
и коэффициенты выбора диаметров**

Группа классификации (режима работы механизма)		Коэффициенты использования, Z_p		Коэффициенты выбора диаметров		
				барабана	блока	уравнительного блока
по правилам Госгортехнадзора СССР	по ГОСТ 25835-83	подвижные канаты	неподвижные канаты	h_1	h_2	h_3
Л (легкий)	1М, 2М, 3М	4,5	4,0	18,0	20,0	14,0
С (средний)	4М	5,6	4,5	20,0	22,4	16,0
Т (тяжелый)	5М	7,1	5,0	22,4	25,0	16,0
ВТ (весьма тяжелый)	6М	9,0	5,0	25,0	28,0	18,0

4.7.2. Браковка стальных канатов

Браковку стальных канатов, работающих со стальными или чугунными блоками, проводят по числу обрывов проволок на длине $6d$ или $30d$ (где d – диаметр каната). Число оборванных проволок подсчитывают в местах сосредоточения обрывов, у концевых заделок каната, на уравнительных блоках и т.д. Число оборванных проволок не должно превышать нормы, приводимой в таблицах Госгортехнадзора (табл. 4.3).

Для канатов грузоподъемных машин транспортирующих людей, расплавленные или раскаленные металлы, огнеопасные или ядовитые вещества, нормы браковки уменьшаются вдвое.

Канаты бракуются, даже при отсутствии видимых обрывов проволок, если:

- диаметр каната в результате поверхностного износа или коррозии уменьшился на 7% и более;
- диаметр каната в результате повреждения сердечника (внутреннего износа, обмятия, разрыва и т.д.) уменьшился на 10% и более.

Канаты бракуются при уменьшении первоначального диаметра наружных проволок в результате износа или коррозии на 40% и более. Определение диаметра

производят микрометром или другим инструментом, обеспечивающим требуемую точность.

Таблица 4.3.

Число обрывов проволок, при наличии которых канаты двойной свивки отбраковываются (выборочные данные)

Число несущих проволок в наружных прядях	Пример конструкции каната	Группа классификации (режима работы) механизма							
		1М, 2М		3М, 4М		5М, 6М		7М, 8М	
		Крестовая свивка		Односторонняя свивка		Крестовая свивка		Односторонняя свивка	
на участке длиной									
n	-	6d	30d	6d	30d	6d	30d	6d	30d
n<50	6×7(1+6)+1о.с.	2	4	1	2	4	8	2	4
50<n≤75	6×19(1+9+9)+1о.с.	3	6	2	3	6	12	3	6
75<n≤100	18×7(1+6)+1о.с.	4	8	2	4	8	16	4	8
100<n≤120	6×19(1+6+6/6)+1о.с.	5	10	2	5	10	19	5	10
120<n≤140	8×16(0+5+11)+9о.с.	6	11	3	6	11	22	6	11

Канаты также бракуются если обнаружены следующие дефекты:

- обрыв одной или нескольких прядей;
- корзинообразная деформация;
- выдавливание сердечника на поверхность;
- местное увеличение или уменьшение диаметра каната;
- перегибы, заломы, перекручивание, раздавленные участки;
- повреждения в результате температурных воздействий или электрического дугового разряда.

При работе каната с блоками из синтетического материала или блоками, имеющими синтетическую футеровку ручья, характерны внутренние разрушения каната до появления обрывов проволок на наружной поверхности. Такие канаты подвергают дефектоскопии по всей его длине. При регистрации дефектоскопом потери сечения металла проволок 17,5 и более процентов канат бракуется.

4.8 Грузозахватные устройства

Для подвешивания штучных грузов к канатам грузоподъемных машин служат грузовые крюки и петли. В строительных кранах в основном применяют крюки. Они могут быть однорогими для грузов массой от 0,25 до 75 т или двурогими для грузов от 5 т и выше (рис. 4.9, *а, б*).

Для подвешивания грузов к съемным грузозахватным устройствам (стропам, траверсам) используют чалочные крюки или карабины (рис. 4.9, *в, г*). Чалочные крюки имеют грузоподъемность от 0,32 до 12,0 т, а карабины – от 0,32 до 2,0 т.

Крюки изготавливают ковкой или штамповкой из мягкой углеродистой стали (сталь 20 по ГОСТ 1050-88, сталь ВМСт3 по ГОСТ 380-2005), а карабины – гибкой из круглой прокатной стали тех же марок.

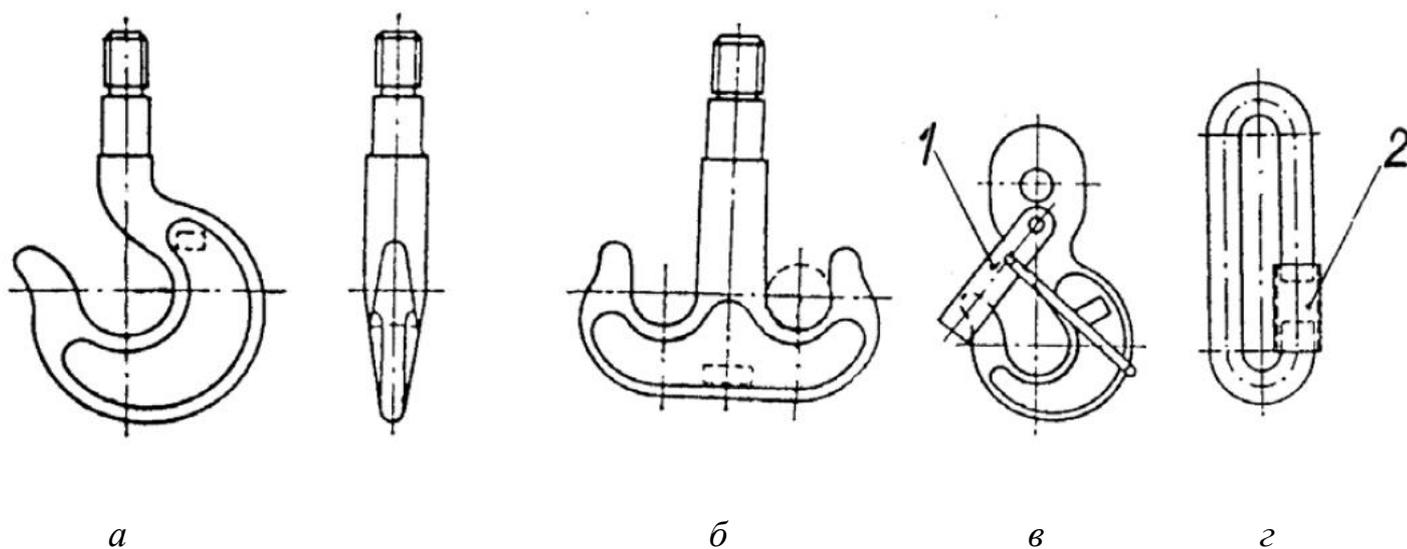


Рис. 4.9. Детали грузозахватных устройств: *а* – крюк однорогий; *б* – крюк двурогий; *в* – крюк чалочный; *г* – карабин; *1* – замок предохранительный; *2* – втулка предохранительная

Для навески грузов на крюк крана служат съемные грузозахватные устройства. Они делятся на следующие группы:

1. Поддерживающие – стропы, траверсы, подхваты.
2. Зажимные – клещевые, фрикционные, эксцентриковые, клиновые.

3. Притягивающие – вакуумные, магнитные, электромагнитные.

4. Зачерпывающие – грейферные, ковшовые, совковые.

Проектирование и изготовление съемных грузозахватных устройств проводится в организациях и на предприятиях, имеющих лицензию Ростехнадзора РФ. После изготовления они подлежат техническому освидетельствованию на заводе-изготовителе, а после ремонта – на заводе, на котором они ремонтировались. При освидетельствовании их осматривают и подвергают испытанию нагрузкой, превышающей на 25% их номинальную грузоподъемность. Стропы испытывают при угле α между ветвями равном 90° (рис. 4.10, *з, ж*).

Съемные грузозахватные устройства снабжают клеймом или прочно прикрепленной металлической биркой с указанием их заводского номера, грузоподъемности и даты испытания. В процессе эксплуатации они подлежат периодическому осмотру в установленные сроки, но не реже чем 1 месяц для траверс и захватов и 10 дней для стропов. Съемные грузозахватные устройства имеющие повреждения из работы изымаются для проведения ремонта.

4.8.1. Стропы

Стропы канатные изготавливают в соответствии с ГОСТ 25573-82* следующих типов: 1СК – одноветвевые; 2СК – двухветвевые; 3СК – трехветвевые; 4СК – четырехветвевые; СКК – кольцевые; СКП – двухпетлевые (рис. 4.10). В общем случае стропы – это мерные отрезки каната, собранные на кольцо (звене) и имеющие приспособление для закрепления груза: чалочные крюки или карабины. Стропы СКК изготавливают в виде замкнутой петли, а СКП – в виде отрезка каната, на концах которого выполнены петли. Их используют для непосредственной обвязки груза.

Стропы кольцевые и петлевые используют для перемещения длинномерных грузов – бревен, досок, труб, прокатных балок и т.п. Многоветвевые стропы используют для подъема груза за 2, 3 или 4 точки строповки: фундаментные блоки, сваи, ригели, железобетонные балки, стеновые панели; и т.п.

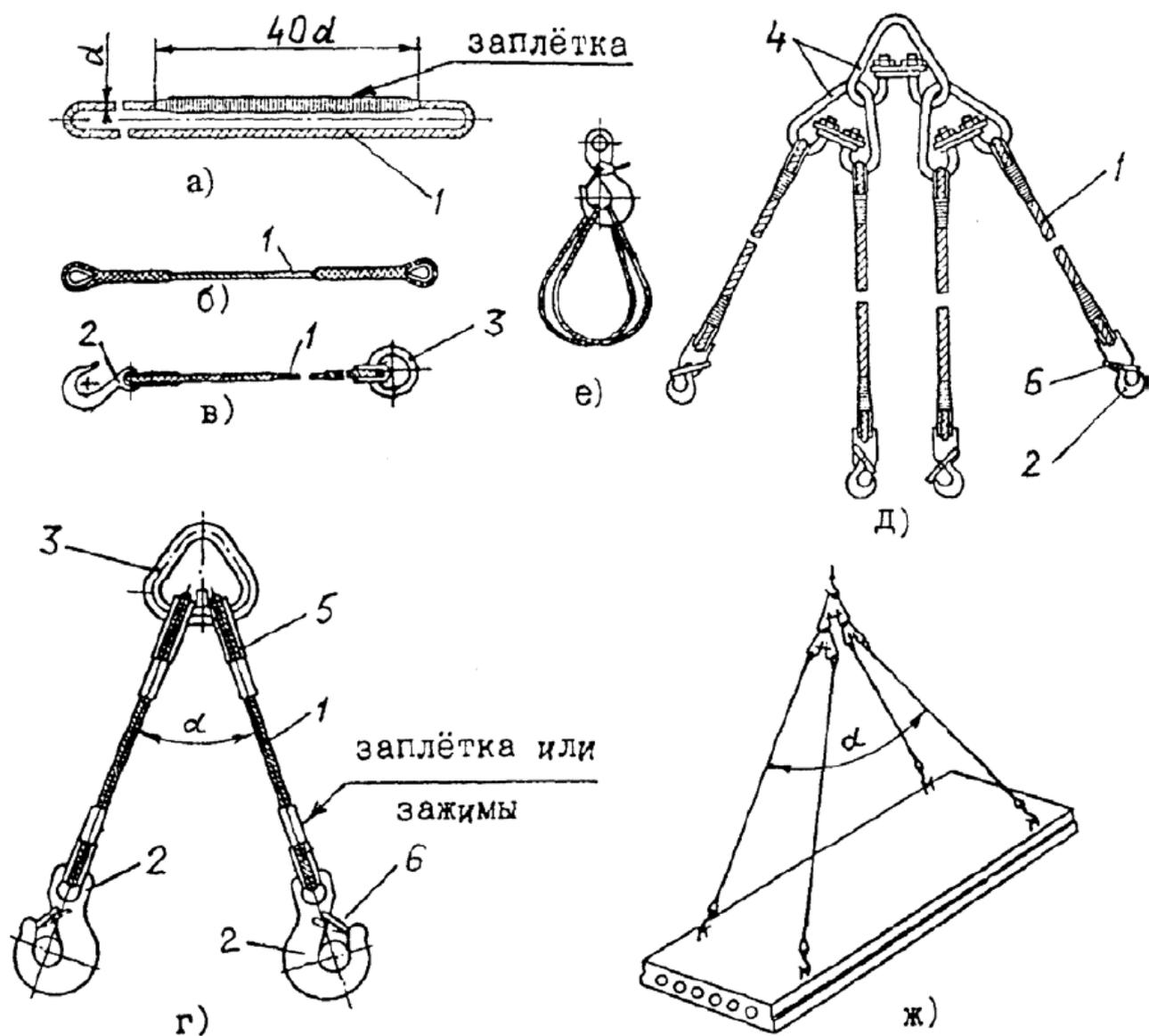


Рис. 4.10. Стропы канатные: а – типа СКК; б – типа СКП; в – типа 1СК; г – типа 2СК; д – типа 4СК; е – схема подвески на крюк кольцевого стропа; ж – схема подвески плиты стропом типа 4СК; 1 – канат (ветвь каната); 2 – чалочный крюк; 3 – звено навесное неразъемное; 4 – звено навесное разъемное; 5 – коуш; 6 – предохранительный замок крюка

Для монтажа железобетонных плит больших размеров и массы применяют шестиветвевые уравновешивающиеся (балансирные) стропы (рис. 4.11). Они имеют в своем составе балансирные блоки, создающие равномерное натяжение всех ветвей.

Для изготовления стропов рекомендуется применять стальные канаты двойной крестовой свивки с органическим сердечником по ГОСТ 3079-80 и ГОСТ 2688-80 (рис. 4.8, б, в).

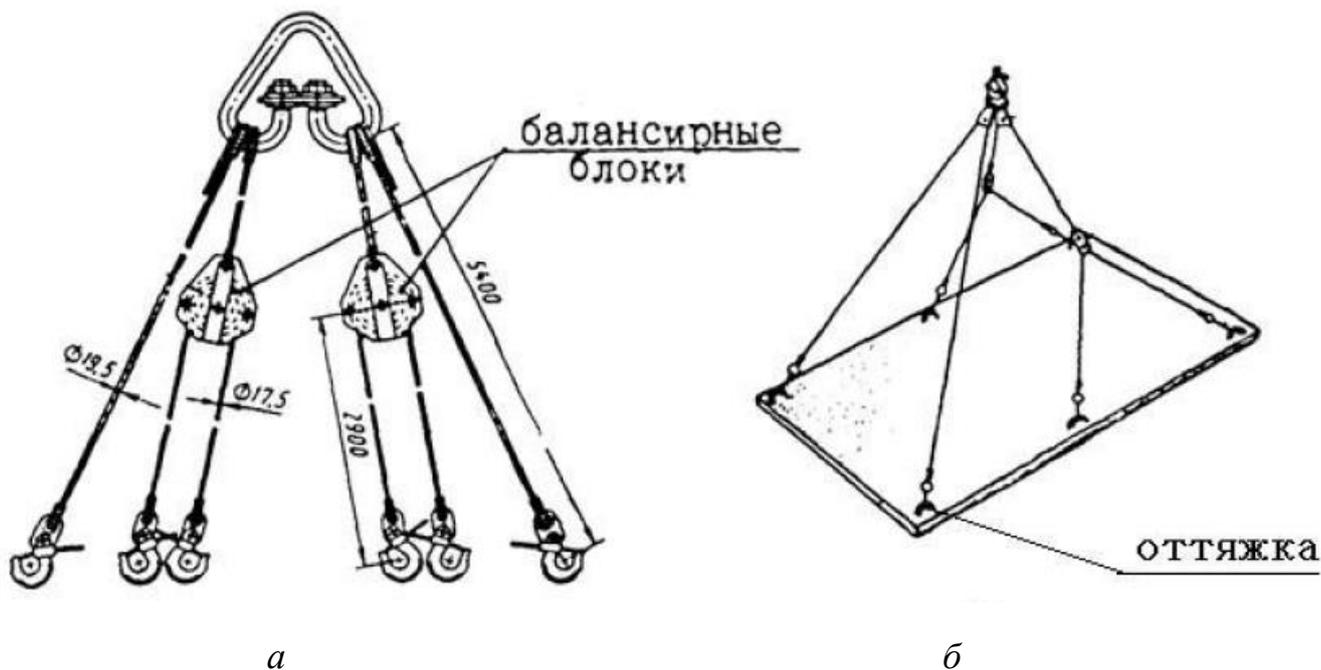


Рис. 4.11. Шестиветевой балансируемый строп:

а – общий вид; *б* – схема подвески плиты

При подборе стропов необходимо учитывать:

1. Требуемую грузоподъемность, определяемую максимальной массой монтируемого элемента. Номинальная грузоподъемность стропы указана на бирке маркировки при угле между ветвями 90° .

2. При угле между ветвями более 90° следует выполнить поверочный расчет.

3. Количество типоразмеров стропов должно быть минимальным. Подбираются для однотипных по конструкции элементов с максимальным числом точек захвата.

4. Требуемую длину ветвей стропы определяют по углу между соседними ветвями в 60° с учетом размеров монтажного пространства.

4.8.2. Захваты

Закхваты применяют для захватывания и подвешивания к крюку крана одготипных массовых грузов.

По способу управления они делятся на:

- ручные, надеваемые на груз и снимаемые с него такелажником;
- полуавтоматические, когда поднятый груз освобождается из захвата при упоре в землю;
- автоматические, дистанционно управляемые машинистом крана.

По принципу взаимодействия с грузом захваты подразделяются на:

- зацепные (крюковые), у них удержание груза происходит за счет зацепления крюка за петлевой элемент груза;
- фрикционные, удерживающие груз за счет сил трения между поверхностью груза и элементами захвата;
- анкерные, удерживающие груз за счет фиксации закладного элемента захвата в полости груза;
- опорные, удерживающие груз за счет опирания части поверхности груза на элемент захвата.

По принципу действия захваты могут быть:

- механическими;
- электромагнитными;
- вакуумными.

В строительстве применяют чаще всего механические захваты. Их используют самостоятельно или в составе стропов. Конструкции захватов отличаются большим разнообразием, некоторые из них приведены на рисунке 4.12.

Клещевой захват для подъема прокатных или сварных двутавровых балок (рис. 4.12, *а*) состоит из шарнирно соединенных грузозахватных скоб 1 и 2, выполненных в виде клещей и двухветвевое цепного стропа 3. Кольцом 4 захват навешивается на крюк крана.

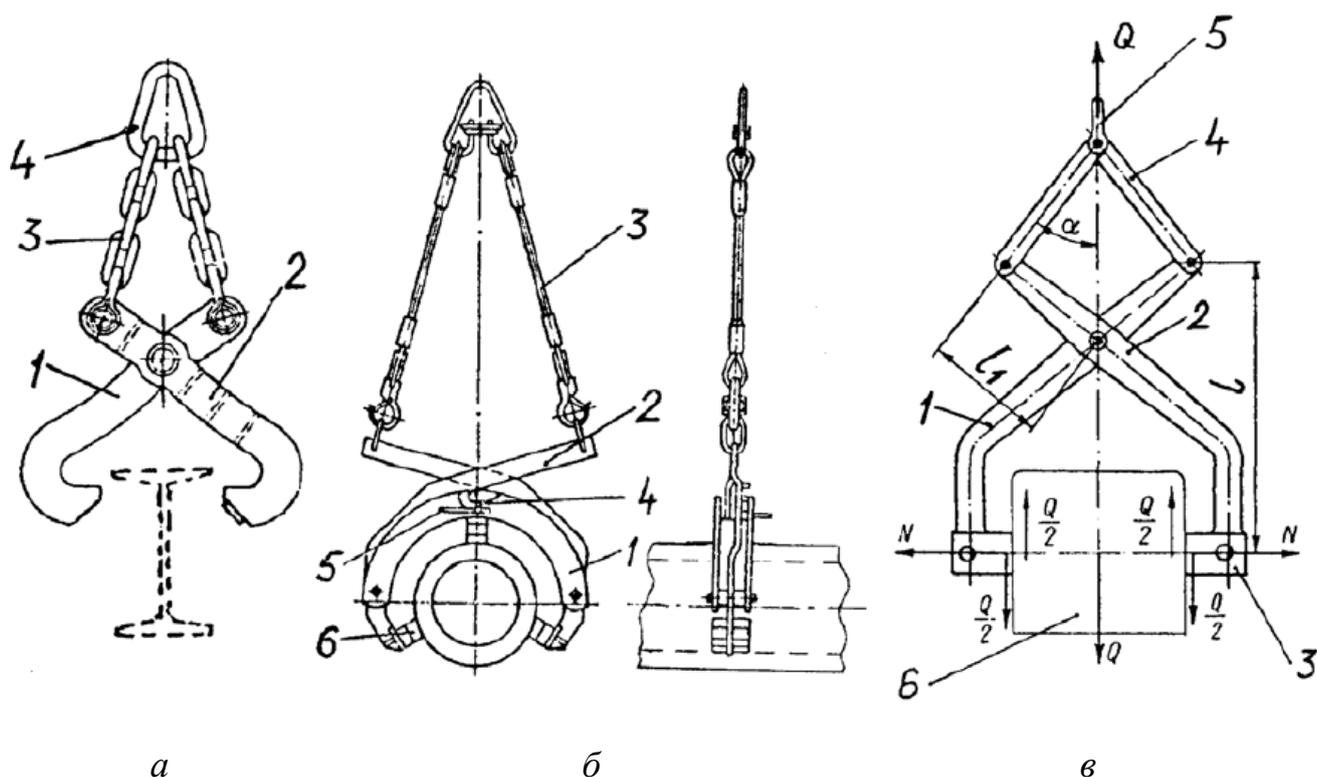


Рис. 4.12. Захваты для штучных грузов:

а – клещевой для балок; *б* – клещевой для труб; *в* – клещевой фрикционный

Клещевой захват для труб (рис. 4.12, б) состоит из корпуса 1, в котором шарнирно установлены рычаги 2. К длинным концам рычагов присоединен двухветвевой строп 3, которым захват навешивается на крюк крана, а на коротких – закреплены колодки 6. Колодки сменные, что позволяет захватывать трубы различных диаметров. Захват оснащен защелкой 4, которая фиксирует его в открытом положении. При установке на трубу защелку ручкой 5 отключают и рычаги захватывают трубу. При опускании трубы на опоры или грунт защелка обеспечивает раскрытие рычагов и их фиксацию в таком положении.

Клещевой фрикционный захват (Рис. 4.12, в) состоит из шарнирно соединенных скоб 1, 2, имеющих зажимные башмаки 3. Рычагами 4 и серьгой 5 захват навешивается на крюк крана. Груз б зажимается и удерживается башмаками 3 за счет использования собственного веса. Сила трения, возникающая между

башмаками и грузом, должна быть больше веса груза в 1,5 – 2,0 раза. Это достигается соответствующим подбором плеч (l, l_1) рычажной системы.

4.8.3. Траверсы

Траверса – это балка, изготовленная из швеллеров или трубы, имеющая устройство для навески на крюк крана и устройства для зацепки груза. Траверса предохраняет перемещаемые конструкции и оборудование от сжимающих и растягивающих усилий, которые возникли бы в них при применении многоветвевым стропов. На поднимаемое изделие действует только вертикальная сила от веса груза, что позволяет отказаться от их усиления при погрузке, разгрузке и монтаже. Траверса также позволяет уменьшить высоту строповки груза, т.е. полнее использовать высоту подъема крюка крана.

Траверса для подъема плоских изделий (например, стеновых панелей) состоит (рис. 4.13, *а*) из стальной балки 1, оснащенной стропами 2. Стропы соединены с траверсой через балансирные блоки, установленные на осях в балке. Блоки позволяют равномерно распределить нагрузку по ветвям стропов, а также использовать траверсу для подъема грузов, у которых точки захвата расположены на разных уровнях.

Стропы для захвата груза имеют чалочные крюки 3, но могут оснащаться карабинами 4 с предохранительными втулками 5. Для навески на крюк крана используют строп 6 с разъемным или неразъемным навесным звеном 7.

При погрузке и монтаже длинномерных горизонтально-протяженных изделий (например, предварительно напряженных железобетонных плит) применяют пространственные траверсы (рис. 4.13, *б*).

Для объемных железобетонных изделий (санитарно-технические кабины, шахты лифтов, камеры мусороудаления, блок-комнаты и т.п.) используют траверсы рамной конструкции (рис. 4.13, *в*).

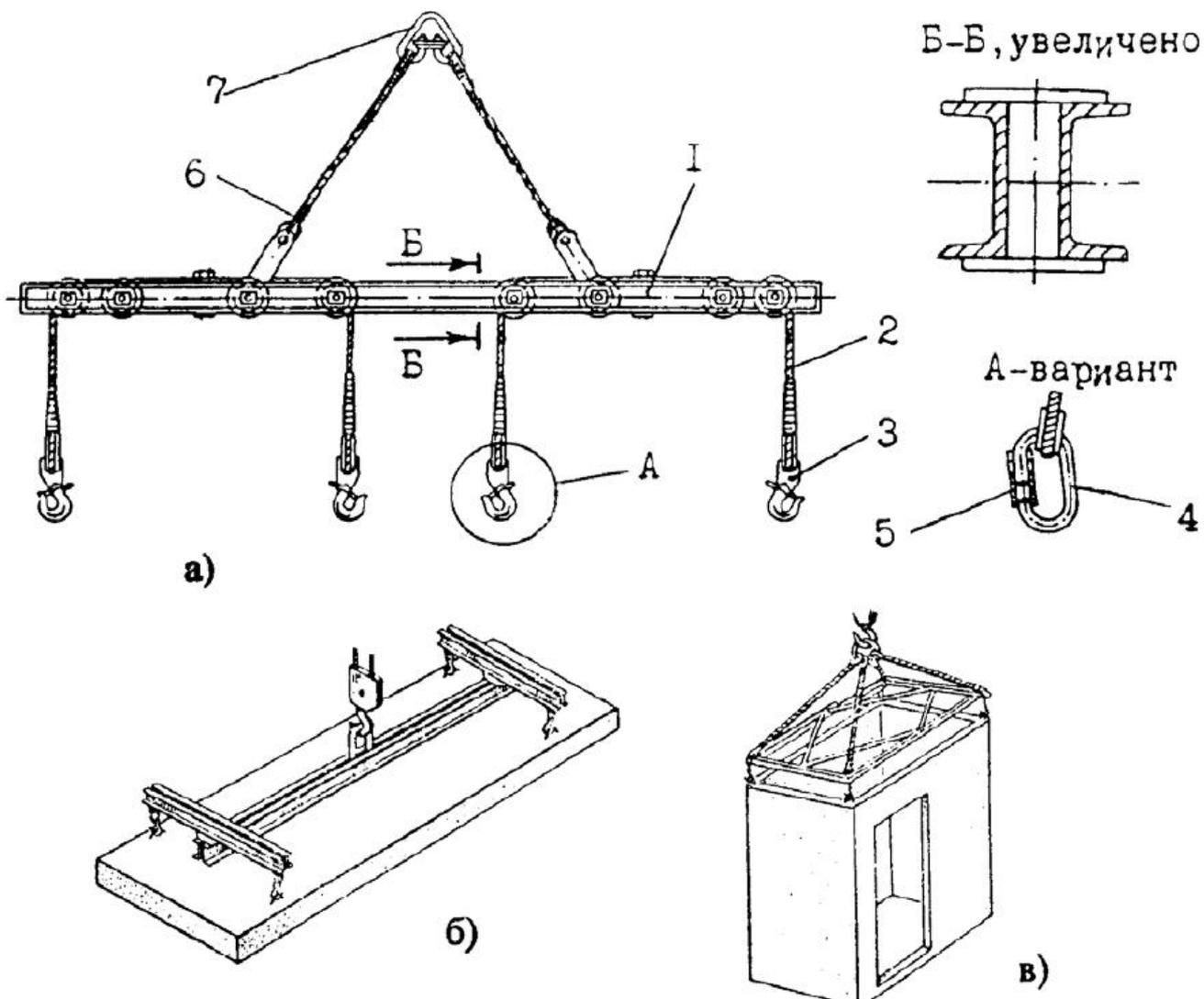


Рис. 4.13. Траверсы: *а* – балочная балансирная для плоских изделий;
б – пространственная; *в* – рамочная для объемных изделий

4.8.4. Правила техники безопасности при эксплуатации грузозахватных устройств

1. Грузовые крюки грузоподъемных машин должны быть оборудованы предохранительными замками, предотвращающими самопроизвольное отцепление груза.

2. Крюки при нагрузках свыше 3т. должны быть изготовлены вращающимися на опорах (подшипниках) качения.

3. Крепление кованого или штампованного крюка в траверсе подвески крана должно исключать самопроизвольное свинчивание гайки. Гайка стопорится планкой, применение штифтов, шплинтов или стопорящих болтов не допускается.

4. Съёмные грузозахватные приспособления (канатные стропы, траверсы, грузовые кованные или штампованные крюки, карабины, цепи) должны соответствовать требованиям Правил Госгортехнадзора России.

5. Производство стропов, траверс, захватов должно быть централизованным, они должны иметь клеймо и паспорт.

6. Результаты осмотров и испытаний грузозахватных приспособлений должны регистрироваться в специальном журнале.

4.9. Вопросы для самоконтроля

1. Назначение, конструкция, принцип действия башенного крана КБ-302А?

2. Назначение, конструкция и принцип действия башенного крана М-3-5-10?

3. Достоинства и недостатки башенных кранов с поворотными и неповоротными башнями?

4. Дайте сравнительную характеристику башенных кранов с подъемными и балочными стрелами?

5. Назначение, конструкция и принцип действия автомобильного крана КС-55717?

6. Назначение, конструкция и принцип действия гусеничного крана СКГ-50?

7. Достоинства и недостатки самоходных стреловых кранов?

8. Основные параметры кранов?

9. Чем отличаются стреловое и башенное стреловое исполнение рабочего оборудования самоходных стреловых кранов?

10. Назначение, конструкция и принцип действия порталного крана КПП-10?

11. Назначение, конструкция и принцип действия козлового крана К-202?

12. Какой из рассмотренных кранов обладает наибольшей грузоподъемностью?

13. Основы правил безопасной эксплуатации строительных кранов?

14. В чем заключаются конструктивные особенности крана?
15. Каким образом осуществляется подрачивание башни крана?
16. Для чего служат рельсовые захваты и срабатывающие плужки?
17. Для чего служат тупиковые упоры и ограничитель передвижения крана?
18. Для чего служат ограничители угла поворота, передвижения грузовой тележки, высоты подъема крюка и грузового момента, принципы их действия?
19. В чем заключаются конструктивные особенности указателя вылета крюка и ограничителя угла наклона стрелы?
20. Что такое анемометр?
21. С какой целью выполняют заземление?
22. Привести классификацию стальных канатов по назначению, конструкции, направлению свивки, сочетанию направлений свивки, типу свивки прядей, условиям эксплуатации и механическим свойствам?
23. Виды и назначение сердечников стальных канатов?
24. Как осуществляется выбор стальных канатов?
25. Критерии браковки стальных канатов?
26. Какие съемные грузозахватные приспособления используют для навески грузов на крюк крана?
27. Где выполняются технические освидетельствования съемных грузозахватных приспособлений?
28. Какова периодичность осмотра стропов, траверс и захватов?
29. Конструкции стропов, траверс и захватов?
30. Сформулируйте правила техники безопасности при строповке грузов?

Глава 5. Землеройные машины

5.1. Общие сведения о землеройных машинах

Машины для земляных работ классифицируются по назначению, по режиму работы и по степени подвижности.

Машины, выполняющие земляные работы, можно разделить *по назначению* на следующие классы:

- машины для подготовительных работ;
- землеройно-транспортные машины;
- землеройные;
- машины для гидравлической разработки грунтов;
- машины для бурения скважин диаметром 0,5...3 м;
- машины для разработки мерзлого грунта;
- машины для уплотнения грунта;
- машины для свайных работ.

По режиму работы рассматриваемые машины бывают *циклического* и *непрерывного* действия. К последним относятся многоковшовые экскаваторы, некоторые виды землеройно-транспортных машин, оборудование для гидромеханической разработки грунтов, а также некоторые виды машин для работы в особых условиях. Остальные машины работают в циклическом режиме, выполняя операции рабочего цикла последовательно или с их частичным совмещением во времени.

По степени подвижности машины для земляных работ относятся большей частью к передвижным *самоходным* или *прицепным*, за исключением некоторых видов оборудования для уплотнения грунтов, бурения скважин под взрыв, оборудования гидромеханизации, а также некоторых машин и оборудования для работы в особых условиях. Эти машины длительное время работают на одной строительной площадке, они не имеют собственных ходовых устройств и по этим признакам относятся к полустационарным.

К землеройным машинам относятся экскаваторы и траншекопатели.

5.2. Экскаваторы

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

Экскаваторы являются основным типом землеройных погрузочно-разгрузочных машин. Основным рабочим органом экскаватора – ковш, но благодаря широкой номенклатуре навесного оборудования (грейферы, погрузочные ковши, гидромолоты, гидроножницы и др.) экскаватор становится машиной универсальной.

Все экскаваторы делятся на две группы: *одноковшовые* и *многоковшовые*.

Одноковшовые малосвязных или черпание разрушенных взрывом прочных горных пород и их перемещение последовательно, прерывая копание на время перемещения грунта, а многоковшовые экскаваторы выполняют эти операции одновременно. Многоковшовые экскаваторы получили распространение на вскрышных и добычных работах при непрерывном копании из массива малосвязных пород или углей.

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). В отличие от одноковшовых у многоковшовых экскаваторов все элементы рабочего цикла осуществляются одновременно, поэтому многоковшовые экскаваторы являются машинами непрерывного действия.

В настоящее время на карьерах эксплуатируются, главным образом, следующие типы экскаваторов: ЭКГ - экскаватор карьерный гусеничный (ходовая часть гусеничного типа), ЭГ – экскаватор гидравлический карьерный на гусеничном ходу, ЭШ – экскаватор шагающий для вскрышных работ. Типажный ряд экскаваторов типа ЭКГ включает базовые модели с ковшами вместимостью от 2 до 20 м³, типажный ряд шагающих экскаваторов (драглайнов) - шесть базовых

моделей с ковшами вместимостью от 4 до 125 м³. Экскаваторы типа ЭГ имеют ковш вместимостью от 2,-5 до 30 (40) м³.

5.2.1. Классификация экскаваторов и понятие об экскаваторном забое

Экскаваторы разделяют на несколько групп по назначению и мощности. Если машина производит все операции в определенном порядке, повторяя их через некоторые промежутки времени, она относится к машинам *прерывного* (циклического) действия, если производит все операции одновременно – машиной *непрерывного* действия. К экскаваторам прерывного действия относятся одноковшовые, а к экскаваторам непрерывного действия – многоковшовые, скребковые и фрезерные.

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

- назначению и роду выполняемой работы;
- вместимости ковша E , м³;
- видам рабочего, ходового и силового оборудования.

Одноковшовые и многоковшовые экскаваторы бывают сухопутные и плавучие.

Сухопутные экскаваторы различают по типу **ходового оборудования**:

- гусеничное;
- пневмоколесное;
- рельсовое;
- шагающее ходовое устройство.

Все механизмы экскаватора приводятся в движение следующим *силовым оборудованием*:

- дизельный двигатель внутреннего сгорания;
- бензиновый двигатель внутреннего сгорания;
- паровой двигатель;
- электрический двигатель.

Наиболее экономичными являются дизельные и электрические двигатели. Выбор двигателя определяется условиями, в которых будет работать экскаватор. Так на экскаваторах, работающих в карьере, выгодно применять электродвигатели, так как электричество – наиболее дешевый вид энергии, а при работе на строительстве дорог, где машину часто перевозят с места на место, целесообразно использовать дизельные двигатели. Если все механизмы экскаватора приводятся в движение от одного двигателя, такой привод называют одномоторным. Если в экскаваторе каждый механизм (или группа механизмов) приводится в движение отдельным двигателем, такой привод называется многомоторным.

С целью передачи движения от двигателя к рабочим механизмам используют следующие *виды приводов*:

- механический, когда движение передается с помощью валов, шестерен, червячных пар, цепных передач;
- гидравлический объемный, где роль привода выполняют гидронасос, маслопроводы и гидромоторы (или гидроцилиндры); в маслопроводах циркулирует жидкость, передающая энергию от насосов к гидромоторам (или гидроцилиндрам), приводящим рабочие механизмы в движение;
- гидромеханический, в котором для передачи энергии используют гидротрансформатор в сочетании с механической трансмиссией;
- электрический, применяемый на экскаваторах с многомоторным приводом в сочетании с механическим;
- смешанный, состоящий из приводов двух видов, например, механического и электрического.

Таким образом, экскаваторы классифицируют:

По типу ходовой части:

- гусеничные на нормальном и уширенно-удлинённом шасси;
- шагающие;
- пневмоколёсные;
- на автомобильном ходу и на спецавтошасси;
- на тракторе;

- рельсовые и железнодорожные;
- плавучие (земснаряды, землечерпательные снаряды, землечерпалки);
- на вездеходном шасси (например, на понтоне с возможностью «шагания» по суше);
- на специальном (например, крутосклонном) шасси;
- на комбинированном шасси (например, пневмоколёсный с опускаемыми ж-д колёсными парами).

По принципу работы экскаваторы:

1. *циклического* действия (одноковшовые): одноковшовый экскаватор (в направлении зуба ковша экскаватора); рабочее оборудование: драглайн, прямая лопата, обратная лопата, грейфер;
2. *непрерывного* действия (траншейный, роторный стреловой и др.); вакуумные и вакуумно-всасывающие экскаваторы (например, землесосные земснаряды).

По эксплуатационному назначению:

- карьерные;
- вскрышные;
- шахтные (для подземных работ);
- строительные универсальные;
- шагающие драглайны.

Универсальные экскаваторы предназначены для работы с различными видами сменного оборудования; прямой и обратной лопатой, драглайном, крановой стрелой с крюковой подвеской или грейфером, копром для забивки свай и т. д.

Полууниверсальные экскаваторы кроме основного рабочего оборудования имеют один или два вида дополнительного сменного оборудования (прямую лопату, обратную лопату, драглайн). Разновидности экскаваторов представлены на рисунке 5.1.



а



б



в



г



д



е

Рис. 5.1. Разновидности экскаваторов: *а* – навешенный на трактор «Беларусь»; *б* – ЭОВ-4421 на автомобильном шасси КрАЗ-255; *в* – гусеничный экскаватор JCB JS220; *г* – шагающий экскаватор Caterpillar 8750; *д* – плавучий экскаватор Case CX210; *е* – шагающий экскаватор КУ-800 непрерывного действия

Необходимо отметить уникальные экскаваторы: на рисунке 5.1, е показан экскаватор работающий в недрах карьера Стойленского горно-обогатительного комбината, и за сезон своей работы он отправляет на отвалы более 3 миллионов кубометров породы. На всей территории бывшего СССР сейчас есть всего 2 таких уникальных экскаватора. Его производительность и размеры поражают: Общая масса этого механического монстра – 3.5 тысячи тонн. Это сравнимо с весом 100 вагонов метро. Диаметр роторного колеса – 11 метров, вылет стрелы – 41 метр. Высота экскаватора – 51 метр. На КУ-800 есть еще и несколько кранов: 35 тонный на стреле, две монтажные тележки по 15 тонн и два консольно-поворотных крана.

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.

5.2.2. Одноковшовые экскаваторы

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 неполноповоротных 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 которого 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° . 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, дизель электрическим, 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.

5.2.2.1. 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.

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 коленно-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.

5.2.2.2. Механическая прямая напорная лопата

Прямая штормная лопата с выдвижной рукоятью (рис. 5.2) 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 О1 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. 5.2, *a,e*), расположенным на стреле 8 и передающим усилие на зубчатую рейку 9 рукоятки через кремальерную шестерню 10 с осью вращения O2; и точки контакта ползунов седлового подшипника с рукоятью (точка A);

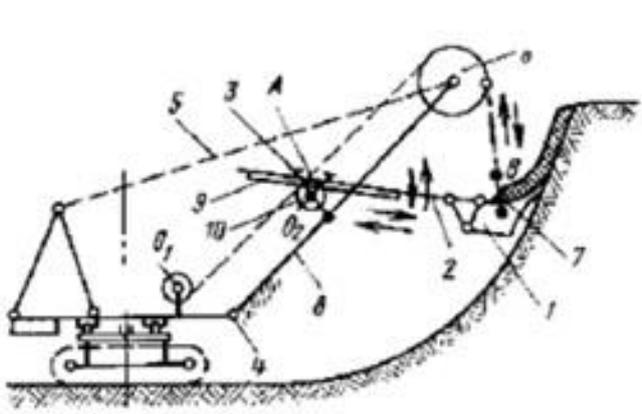
- с канатным механизмом напора (рис. 5.2, *б*) и стрелой, которую шарнир O2 делит на две части – верхнюю 8 и нижнюю 9, поддерживаемую подкосом 10. Напорная лебедка 11 располагается на платформе. Выдвижение и возврат рукоятки производятся канатами 12 и 13, которые огибают центральные блоки, закрепленные на оси O2 и полублоки 15 и 16, закрепленные на рукоятки.

- с канатным механизмом напора (рис. 5.2, *в*) и неразрезной стрелой 8. Седловой подшипник 3 и центральные блоки 14 укрепляются на оси O2; в стреле. Выдвижение и возврат рукоятки осуществляются лебедкой 11 так же, как и на схеме, показанной на рисунке 5.2, *б, ж*;

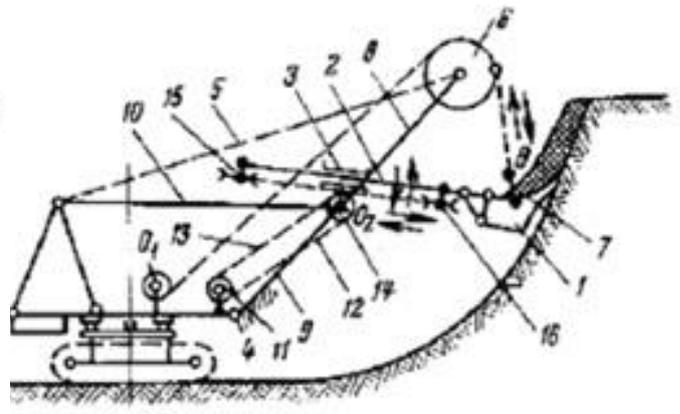
- с канатным механизмом напора (рис. 5.2, *з*) и неразрезной двухбалочной стрелой 8. Седловой подшипник 3 установлен в шарнире стойки 9 не связанной со стрелой. Стойка поддерживается подкосом 10. Напорная лебедка 11 расположена в передней части платформы. Выдвижение и возврат рукоятки осуществляются так же, как на схеме, показанной на рисунке 5.2, *б*.

Положение рукоятки в седловом подшипнике позволяет ей вращаться вокруг оси O2; 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.

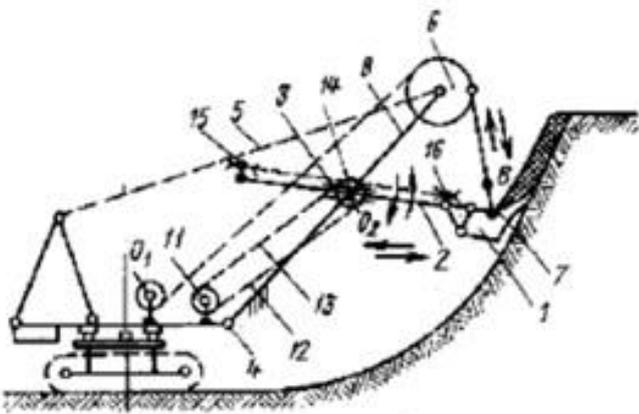
Напорные прямые лопаты предназначены для разработки массивов, расположенных, как правило, выше уровня стояния машины, и способны осуществлять черпание ниже уровня стояния на незначительную глубину, достаточную только для самозаглубления машины при проходке траншей.



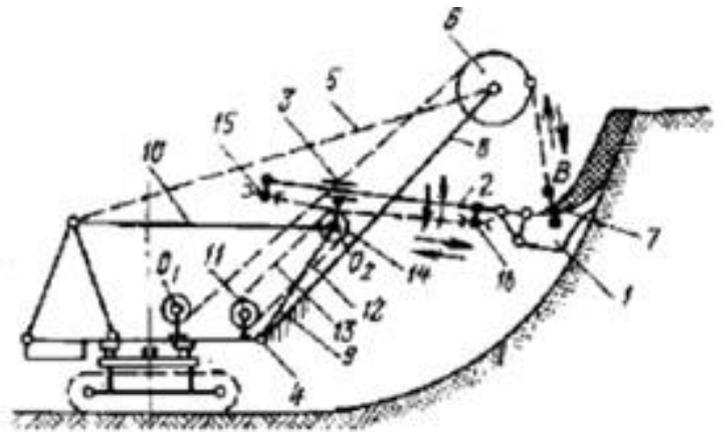
a



б



в



г



е



ж

Рис. 5.2. Типы прямой лопаты в зависимости от системы напорного механизма и конструкции стрелы; *a-г* – схематическое изображение; *е* – экскаватор ЭКГ-5; *ж* – карьерный экскаватор с прямой лопатой и канатным приводом

5.2.2.3. Гидравлический экскаватор

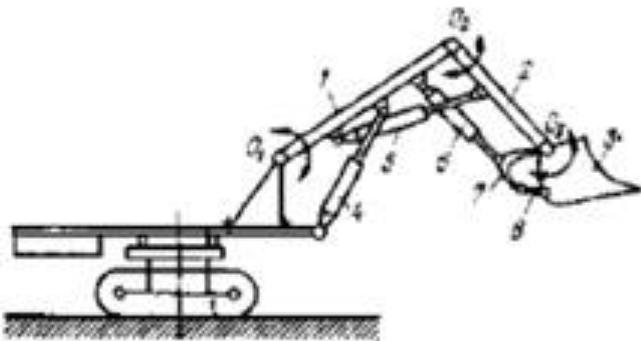
Гидравлическая прямая лопата с поворотным ковшом (рис. 5.3, а) имеет следующие элементы рабочего оборудования: стрелу 1, рукоять 2 и ковш 3 соответственно поворачивающиеся относительно шарниров О1, О2 и О3 с помощью гидравлических цилиндров подъема - опускания стрелы 4, напора 5 рукояти и поворота 6 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. 5.3 не показан). В этом случае в задней стенке ковша устанавливаются дополнительные гидроцилиндры открывания ковша.

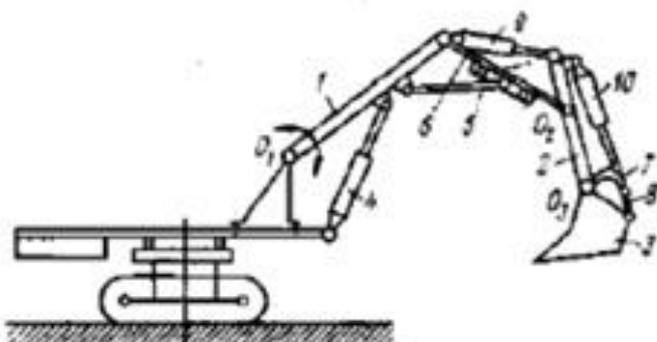
Гидравлическая обратная лопата (рис. 5.3, б) имеет стрелу 1 и рукоять 2, соединенные балкой 6, наклон которой по отношению к стреле фиксируется тягой 5. Поворот стрелы, рукояти и ковша в рабочем движении осуществляется соответственно вокруг осей О1, О2 и О3 гидроцилиндрами 4, 9 и 10. Тяги 7 и 8 служат 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.

Гидравлический ковшовый погрузчик (рис. 5.3, в) имеет стрелу 1, рукоять 2 и ковш 3. Рабочие движения осуществляются их поворотом соответственно вокруг осей О1, О2 и О3 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.

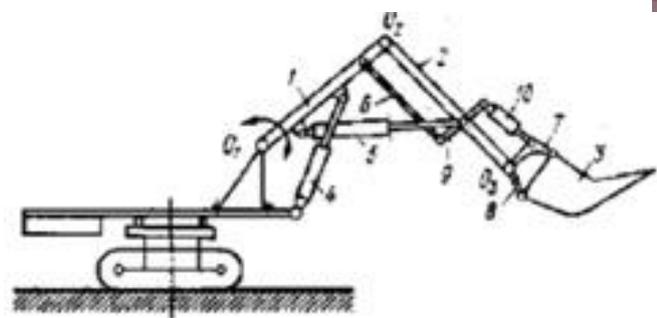
Все перечисленные выше виды оборудования гидравлического экскаватора (прямая и обратная лопаты, погрузчик, а также грейфер, описываемый ниже) могут быть сменными и размещаться на одной базовой машине.



а



б



в

Рис. 5.3. Разновидности гидравлических экскаваторов

5.2.2.4. Экскаватор-драглайн

Драглайн (рис. 5.4) 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 полиспаста 10.

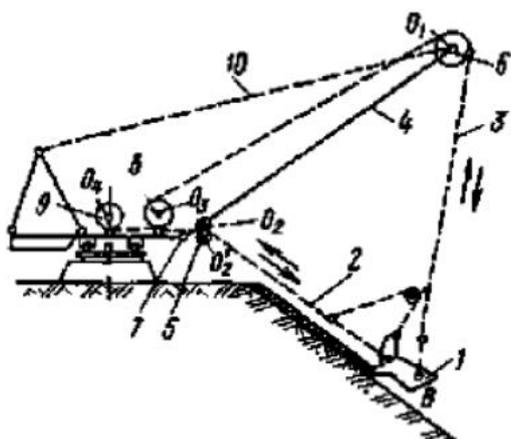


Рис. 5.4. Экскаватор-драглайн

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

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 и O_4 или O_1 , O_3 и O 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.

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

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.

5.2.3. Многоковшовые экскаваторы

Многоковшовые экскаваторы получили распространение на вскрышных и добычных работах при непрерывном копании из массива малосвязных пород или углей.

В отличие от одноковшовых у многоковшовых экскаваторов все элементы рабочего цикла осуществляются одновременно, поэтому многоковшовые экскаваторы являются машинами непрерывного действия.

Многоковшовые экскаваторы подразделяются на: роторные гусеничные – вскрышные (ЭР или ЭРГ) (рис. 5.5, *а*), вскрышные на шагающе–рельсовом ходу (ЭРШР) (рис. 5.5, *б*), добычные гусеничные (ЭРП или ЭР–Д) (рис. 5.6, *а*), добычные на шагающе–рельсовом ходу (ЭРШР–Д) (Рис. 5.6, *б*) и на цепные гусеничные (ERs) (рис. 5.7, *а*) или на рельсовом ходу (Es) (рис. 5.6, *б*).

Кроме упомянутых больших классов экскаваторов имеются и некоторые малораспространенные разновидности экскаваторов, например, прямые лопаты с рабочим оборудованием типа «Суперфронт» (Рис. 5.8, *а*) и с рабочим оборудованием фрезерного типа (барабан с зубками) (Рис. 5.7, *б*).



а



б

Рис. 5.5. Многоковшовые экскаваторы вскрышные роторные:

а – на гусеничном ходу; *б* – на шагающе–рельсовом ходу



а

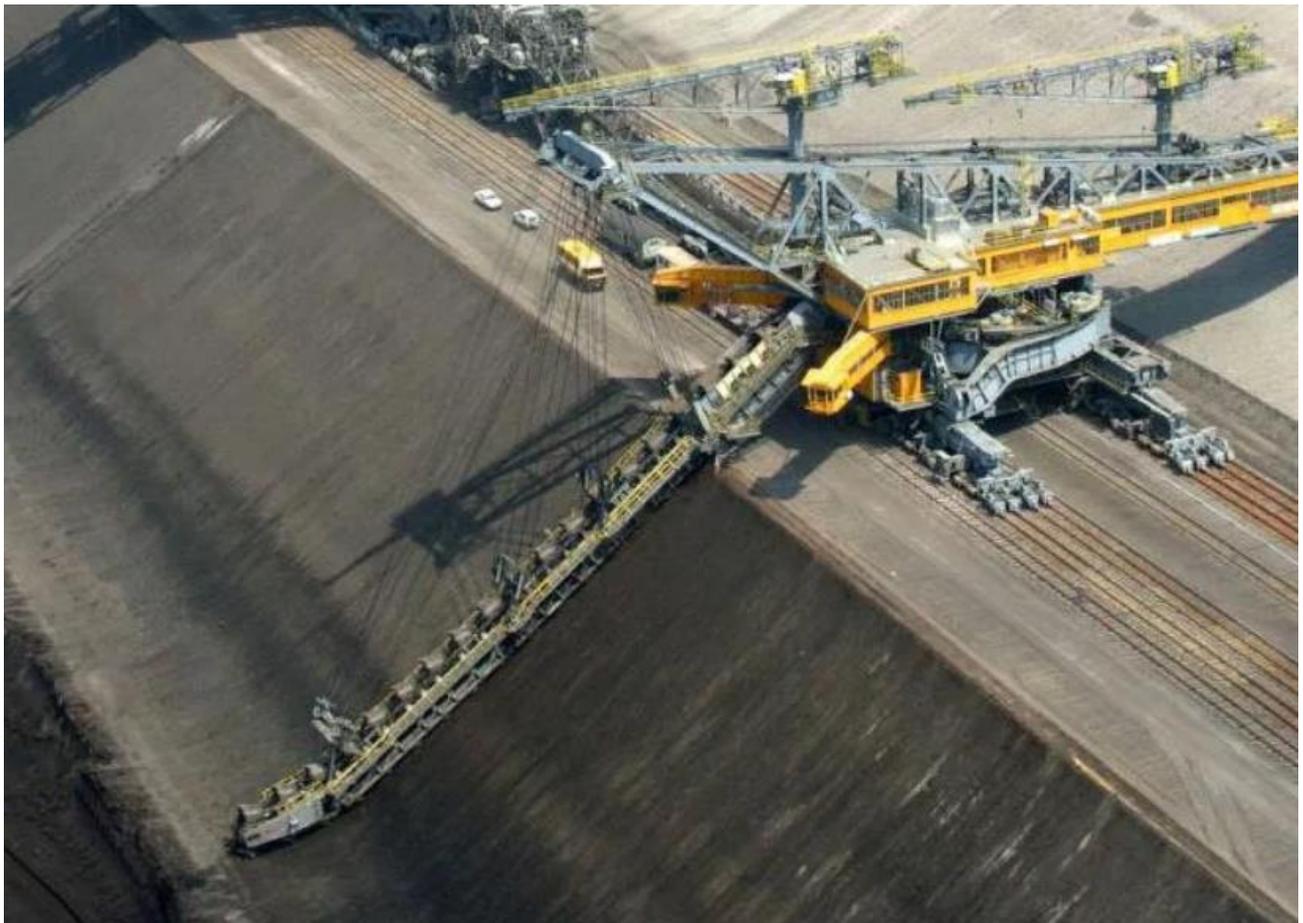


б

Рис. 5.6. Многоковшовые экскаваторы добычные роторные:
а – на гусеничном ходу; *б* – на шагающе–рельсовом ходу



a

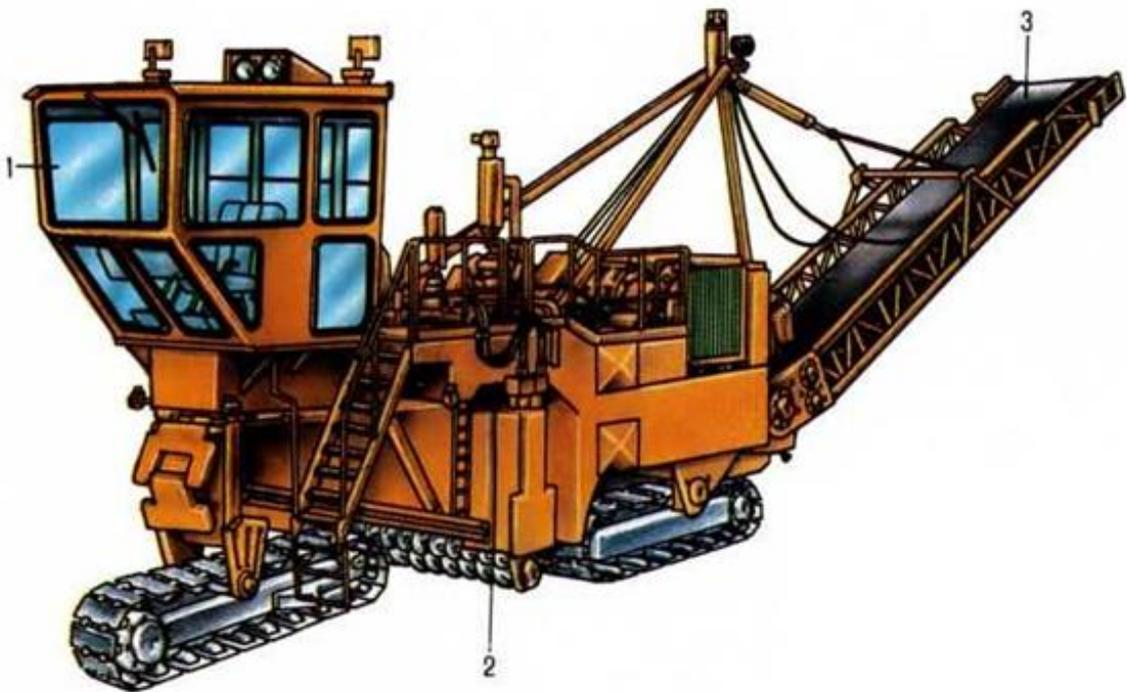


б

Рис. 5.7. Многоковшовые экскаваторы добычные цепные:
a – на гусеничном ходу; *б* – на рельсовом ходу



а



б

Рис. 5.8. Малораспространенные разновидности экскаваторов: а - экскаватор 204М «Суперфронт» фирмы «Марион» США; б – фрезерный экскаватор:
1 – кабина управления; 2 – фреза; 3 – разгрузочная консоль.

5.2.3.1. Конструктивные схемы многоковшовых экскаваторов

Выемочно – погрузочные машины непрерывного действия – многоковшовые экскаваторы – различаются по типу рабочего органа и характеру перемещения его в пространстве.

По типу рабочего органа многоковшовые экскаваторы бывают:

- цепные;
- скребково – ковшовые;
- роторные;
- фрезерно – ковшовые;
- с бесковшовым фрезерным рабочим органом.

По характеру движения рабочего органа – экскаваторы:

- продольного копания, у которых направление рабочего движения (ротора, цепи) совпадает с направлением их перемещения;
- поперечного копания (обычно с неповоротной платформой), у которых направление рабочего движения (ротора, цепи, скребка) перпендикулярно к направлению их перемещения;
- радиального копания, у которых рабочий орган (ротор, ковшовая цепь) вместе с платформой поворачивается относительно базы машины.

На открытых разработках применяются преимущественно *роторные* и *цепные* экскаваторы поперечного и радиального копания. Эти экскаваторы используются на однотипных работах большого объема, сосредоточенных в одном месте или на большом протяжении.

Экскаваторы продольного копания представлены группой *фрезерных, траншейных* и *землеройных* машин. Последние два вида относятся к строительным.

5.2.3.2. Цепной экскаватор

Многоковшовый цепной экскаватор (рис. 5.9) зачерпывает горную массу ковшами 1, укрепленными на бесконечной цепи,двигающейся по ковшовой раме 2 и приводимой в движение приводной звездочкой 3. Двигаясь по забою снизу-вверх,

ковши заполняются горной породой и транспортируют ее по приемному желобу 4 к приводной звездочке, где они опрокидываются. Порода высыпается в бункер или на приемные промежуточные конвейеры, откуда она через погрузочные устройства поступает в вагоны или на магистральный конвейер.

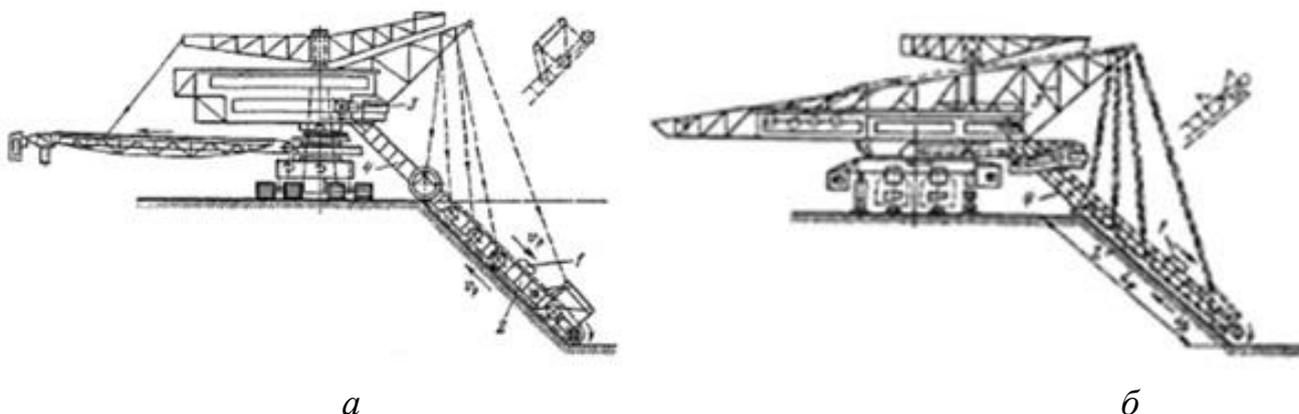


Рис. 5.9. Конструктивные схемы многоковшовых экскаваторов:

a – с гусеничным ходовым оборудованием;

б – с рельсовым ходовым оборудованием

Исполнительный орган при отделении стружки от массива движется в горизонтальной и вертикальной плоскостях (рис. 5.9, *a*). Основные рабочие движения – прямолинейное движение ковша в плоскости рисунка, определяемое скоростью резания V_p , и поперечная подача ковшовой рамы V_k (в плоскости перпендикулярной к плоскости рисунка т. е. транспортная скорость экскаватора, если он работает поперечным черпанием).

Ценные экскаваторы поперечного черпания различают:

- *по взаимному расположению экскаватора и забоя* – экскаваторы нижнего черпания (забой расположен ниже уровня передвижения экскаватора) и экскаваторы верхнего черпания (забой выше уровня передвижения экскаватора); у современных моделей экскаваторов рабочее оборудование легко перестраивается с верхнего черпания на нижнее и наоборот поворотом звеньев ковшовой рамы; разработка забоя верхним черпанием менее энергоемка, однако для верхнего

черпания в большинстве случаев более рационально применять роторные экскаваторы;

- *по конструкции рабочего оборудования*, с жестко направленной ковшовой цепью; со свободно провисающей нижней ветвью ковшовой цепи и комбинированные;

- *по способу подачи рабочего оборудования в забой* – веерного или параллельного черпания. Современные экскаваторы в зависимости от конструктивного исполнения ковшовой рамы и машины в целом могут работать тем и другим способом. При параллельном черпании снимается стружка одинаковой толщины t по всей длине забоя (ковшовой рамы), а при веерном черпании – стружка треугольного поперечного сечения с максимальной толщиной у конца ковшовой рамы и минимальной – вблизи экскаватора;

- *по конструкции разгрузочных устройств* – с центральным разгрузочным бункером и непосредственной погрузкой на транспорт (см. рис. 5.9, б) и с консольными ленточными разгрузочными конвейерами (см. рис. 5.9, а). Разгрузочные консоли устанавливаются в основном на гусеничных машинах. У экскаваторов с рельсовым ходом подвижный состав, как правило, пропускают под корпусом машины через портал, на котором установлены бункеры и погрузочные устройства.

Экскаваторы называют *однопортальными*, если под ними проходит один железнодорожный транспортный путь, и *двухпортальными* – если два пути.

Одной из существенных особенностей работы крупных многоковшовых экскаваторов (при условии отгрузки горной массы на железнодорожный транспорт) является то, что во время работы по специальной рельсовой колее движется сам экскаватор, а не загружаемый им железнодорожный состав;

- *по способу связи рабочего оборудования с ходовой тележкой* – неповоротные и поворотные. У первых рабочее оборудование жестко связано в горизонтальной плоскости с корпусом и ходовой частью, в связи с чем движение экскаватора строго ориентировано относительно плоскости ковшовой рамы. У вторых – верхняя

платформа с рабочим оборудованием может поворачиваться относительно ходового оборудования горизонтальной плоскости на некоторый угол или 360° .

Современные цепные экскаваторы – поворотные; по ходовому оборудованию – с рельсовым, гусеничным, рельсогоусеничным и шагающим (с внутренним опорным башмаком) ходом. В настоящее время цепные экскаваторы изготавливают на гусеничном или, реже, на рельсовом ходу.

5.2.3.3. Роторные экскаваторы

Роторный экскаватор (рис. 5.10) представляет собой самоходную машину непрерывного действия, экскавирующую горную породу ковшами, укрепленными на роторном колесе 1, и предназначенную для одновременной разработки и транспортирования вскрышных пород или полезного ископаемого.

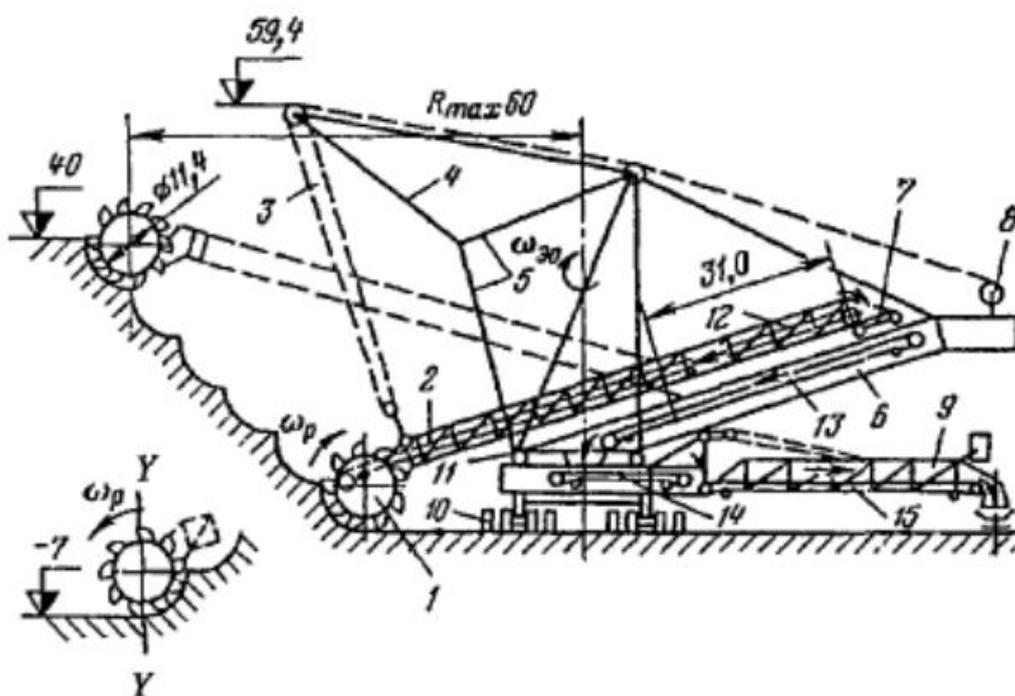


Рис. 5.10. Конструктивная схема роторного экскаватора с выдвижной стрелой ЭРГ-1600-40/10.31 (НКМЗ): 1 – ротор; 2 – выдвижная стрела; 3 – подвеска стрелы; 4 – пилон; 5 – надстройка; 6 – стрела противовеса; 7 – выдвижная тележка; 8 – лебедка подъема стрелы; 9 – отвальная консоль; 10 – гусеничная тележка; 11 – поворотная платформа; 12 – конвейер роторной стрелы; 13 – конвейер стрелы противовеса; 14 – перегрузочный конвейер; 15 – отвальный конвейер

В отличие от цепного экскаватора транспортирование породы после разгрузки ее из ковшей ротора осуществляется ленточным конвейером 12, расположенным на стреле 2. Исполнительный орган – роторное колесо (ротор) – осуществляет движение в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Основные рабочие движения – вращательное ротора в вертикальной плоскости и поворотное стрелы с ротором платформе в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси $Y-Y$. Траектория перемещения ковша определяется скоростями резания ω_p и подачи $\omega_{з.о.}$

Роторные экскаваторы радиального и поперечного копания различают по технологическим признакам:

- по теоретической производительности в взрыхленной массе – малые (до 630 м³/ч); средние (до 2500 м³/ч); мощные (до 10 000 м³/ч).
- по величине расчетного коэффициента сопротивления копанию (и назначению) – с нормальным (до 0,7 МПа вскрышные экскаваторы); с повышенным (до 1,4 МПа) и высоким (до 2,1 МПа) добычные экскаваторы);
- по способу отработки забоя – верхнего черпания (с глубиной копания ниже горизонта установки машины не более 1/2 диаметра ротора); верхнего и нижнего черпания;
- по способу подачи рабочего органа на забой при отработке блока – с выдвигными и невыдвигными стрелами.

Современные роторные экскаваторы, как правило, делают с невыдвигными стрелами, что на 20–25 % снижает их массу по сравнению с экскаваторами, имеющими выдвигные стрелы. Отсутствие выдвигной стрелы на мощных отечественных экскаваторах компенсируется маневренностью машины на шагающе – рельсовом ходовом устройстве.

Рабочее оборудование роторных экскаваторов включает в себя рабочий орган – ротор с ковшами, приемно – питающее устройство ротора и стрелу.

Ротор. Рабочие органы роторного типа могут быть разделены:

- по способу разгрузки ковшей на гравитационные (рис. 5.11, *a*) и инерционные (рис. 5.11, *б*, *в*); по конструкции роторные колеса с гравитационной разгрузкой бывают камерные, бескамерные и комбинированные;

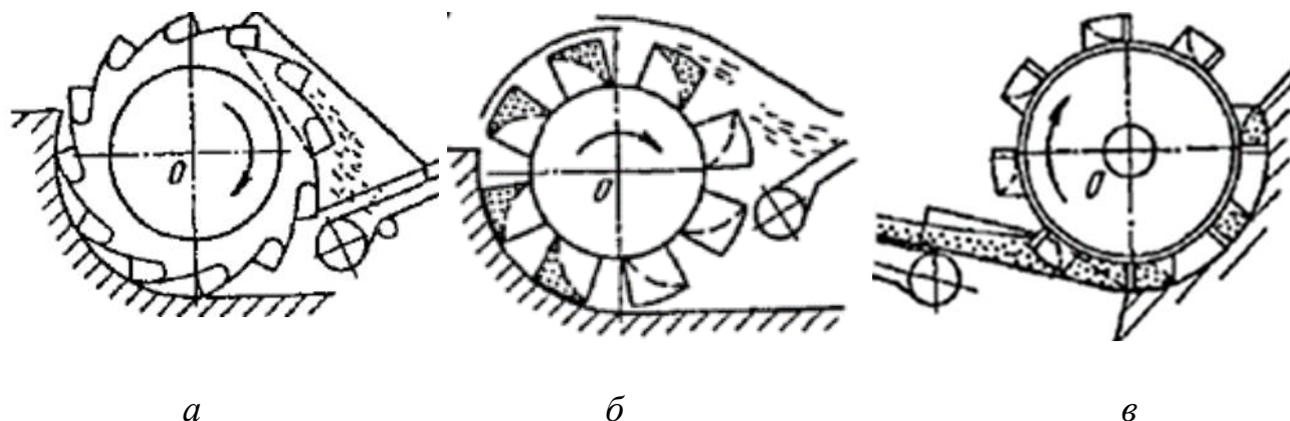


Рис. 5.11. Схемы прямой разгрузки ротора: *a* – гравитационная торцовая; *б* – инерционная с подъемом материала через ротор; *в* – то же, без подъема материала.

- по расположению оси вращения ротора относительно оси барабана приемного конвейера: с параллельным расположением, под углом в горизонтальной и (или) вертикальной плоскостях;

- по расположению приемной части конвейера относительно ротора: с боковым расположением, в торце ротора, внутри ротора;

- по конструкции приемно – питающего устройства при бескамерном и камерном роторе: с неподвижным лотком, с вращающимся конусом, с барабанным или роликовым питателем, с тарельчатым питателем, комбинированные;

- по типу привода – с нерегулируемым и регулируемым приводом;

- по креплению привода к стреле: с жестким креплением и с подвеской на упруго – демпфирующем устройстве.

Гравитационная разгрузка частиц породы из ковша, когда он поднимается в верхнее положение на колесе, осуществляется через открытую нижнюю полость свободным потоком под действием веса разгружаемого материала.

Инерционная разгрузка породы из ковша обеспечивается при высокой скорости движения под действием центробежных сил, выбрасывающих породу из ковша через его переднюю открытую часть по касательной в месте разгрузки.

Ковши. Конструкция ковша роторного экскаватора должна обеспечивать:

- осуществление процессов резания и заполнения ковша с возможно меньшими энергозатратами, исключение залипания его режущего периметра и внутренней полости; полную разгрузку породы в пределах разгрузочного сектора;
- ограничение величины кусков, образующихся в результате отделения стружки;
- снижение неравномерности внешней нагрузки, возникающей в результате периодического входа и выхода режущих элементов из контакта с забоем и исключение просыпей при черпании.

В ковше различают две основные части: *режущую*, отделяющую стружку от массива, и *корпусную*, транспортирующую породу к месту разгрузки.

Ковши, в свою очередь, различаются:

- *по конструкции и наличию днища* – с жестким днищем, гибким днищем и без днищ (при инерционном способе разгрузки). Жесткое днище может быть сплошным или прутковым, гибкое – цепным или кольчужным;
- *по форме режущего пояса* (kozyрька) – арочные, прямоугольные и трапециевидные. Режущая кромка пояса по армировке режущим инструментом может быть с зубьями и без зубьев;
- по наклону боковой режущей кромки к радиусу ротора – с радиальной, боковой и наклонной (ковши косога резания) режущими кромками.

Корпус ковша может быть: со сплошным днищем для экскавации пород, не восстанавливающих свою связность после экскавации (песчаные и супесчаные породы, угли, скальные прослойки с малой влажностью); с цепной задней стенкой для супесчаных пород, легких суглинков и влажных углей; каркасный со сплошным цепным днищем для экскавации тяжелых и липких пород при любых климатических условиях.

Ковши всех средних и крупных отечественных роторных экскаваторов снабжены цепными днищами. В верхнем положении ковша на роторе цепи провисают внутрь, стряхивая с себя породу. Хорошие результаты по снижению кусковатости отделяемой горной породы и уменьшению динамики при работе машин достигаются установкой промежуточных режущих поясов между ковшами, которые представляют собой режущую кромку от стандартного ковша без корпуса.

Важным условием для работы ковша является соотношение его габаритов: длина L_k , ширина B_k и высота h_k . На практике оптимальные значения соотношения $h_k/B_k = 0,75 \dots 0,8$ и $h_k/L_k = 0,52 \dots 0,59$.

5.2.3.4. Фрезерный экскаватор

Фрезерная экскавационная машина продольного копания (рис. 5.12) отделяет породу от массива послойно – полосовым способом за счет вращения барабанного рабочего органа 1 роторного или шнекового типа, оснащенного по периметру режущими зубками или скребками, а также подает ее на приемный конвейер 2 с помощью башмака 6 при непрерывном горизонтальном движении.

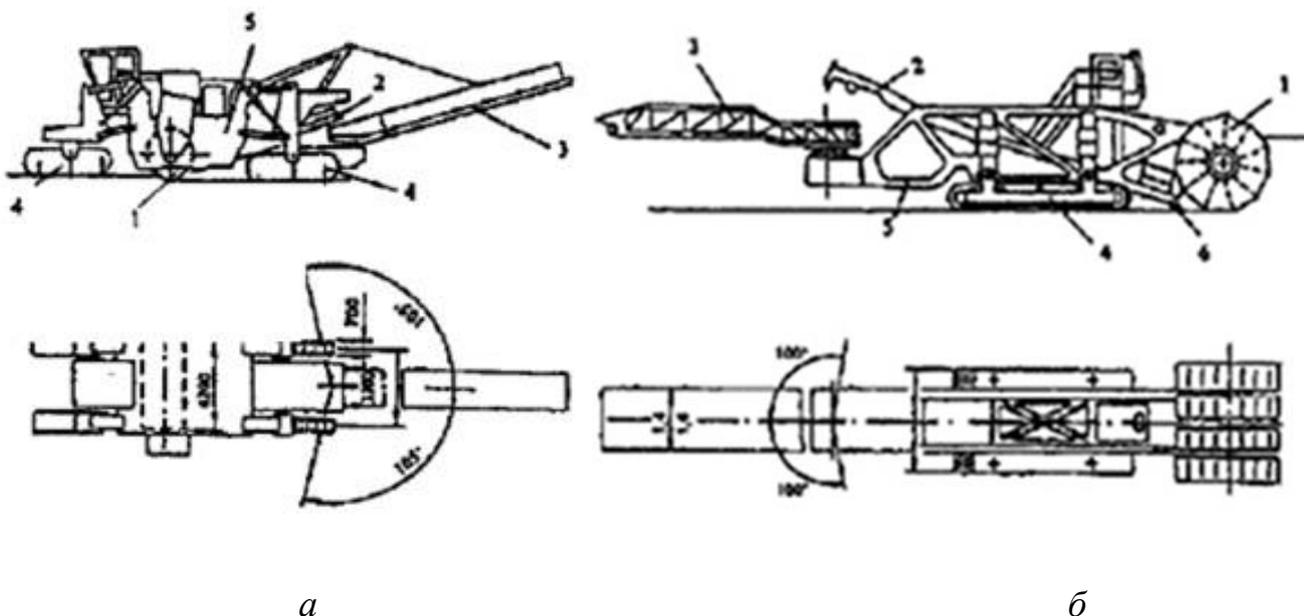


Рис. 5.12. Конструктивная схема экскаватора продольного черпания фрезерного типа СМ: а — комбайн фирмы «Виртген»; б — комбайн фирмы «Крупп» машины

Рабочий орган закрепляется на раме машины 5 между ходовыми тележками 4 (рис. 5.12, а) или консольно перед машиной (рис. 5.12, б). Погрузку породы в транспортное средство осуществляет поворотный разгрузочный конвейер 3.

5.2.4. Основные современные производители экскаваторов

Говоря о компаниях, являющихся лидерами на рынке экскаваторов, стоит выделить такие бренды, как *Komatsu*, *Volvo*, *JCB*, *Caterpillar*, *Case*, *Daewoo*, *Hitachi*, *Liebherr*, *Hyundai Robex*, *Orenstein & Koppel*, *New Holland Kobelco*, *Doosan Infracore*. Бесспорно, наиболее крупным мировым производителем экскаваторов на сегодня является компания *Caterpillar*, главный офис которой располагается в США. Сегодня модельный ряд техники, созданной специалистами данной компании, включает в себя:

- всевозможные модификации гидравлических экскаваторов (начиная с мини-экскаваторов, обладающих весом менее тонны, средних, тяжелых и заканчивая крупнейшим на планете 980-тонным гидравлическим экскаватором модели 6090S, объем ковша которого равен 59 куб. метрам);
- электрические модели тросовых экскаваторов с рабочим оборудованием типа «прямая лопата», комплектуемые ковшами объемом от 6,9 до 61,2 куб. метра;
- драглайны, оснащаемые ковшами от 32 до 132,5 куб. метра.

Под маркой *Komatsu* на рынок поставляются высокопроизводительные гусеничные экскаваторы разных размеров, колесные экскаваторы-погрузчики, оборудованные суперсовременными гидравлическими системами, мощными силовыми установками с турбонаддувом и объемными ковшами. Шведский производитель *Volvo* утверждает, что машины именно этой марки отличаются максимальной эффективностью. Пути достижения последней компанией были выбраны традиционные: увеличение размеров рабочей зоны, использование дизельных моторов с повышенным крутящим моментом и уменьшенной токсичностью отработанных газов, автоматизация выбора режимов разработки грунта.

Одноковшовые экскаваторы сравнительно недавно появились в ассортименте британской компании *JCB*. Однако, несмотря на пока довольно короткую историю производства подобной техники, компании удалось занять свою нишу в соответствующем сегменте рынка. Продукция *JCB* является ярчайшим примером сотрудничества японских и европейских поставщиков. Экскаваторы, выпускаемые под данным брендом, оборудуются двигателями *Isuzu* и гидравлическим оборудованием от *Sumitomo*.

Конструкторам компании *Daewoo*, преуспевшей в различных отраслях, удалось добиться серьезных преимуществ перед предприятиями-конкурентами по ряду направлений. Экскаваторы от этого производителя обладают повышенной скоростью вращения платформы, увеличенным вылетом стрелы. Параметры рабочей зоны подобраны таким образом, чтобы машина могла с должной эффективностью выполнять возложенные на нее функции в стесненных условиях, что характерно для населенных пунктов.

Линейка оборудования *Hitachi* включает в себя малые, средние и большие экскаваторы на гусеничном и колесном ходу, а также модели, которые проектировались специально для разработки скальных и других тяжелых грунтов, производства работ в труднодоступных местах, при выполнении демонтажных и дноуглубительных работ. Новинки модельного ряда экскаваторной техники *Hitachi* комплектуются двигателями с сажевым фильтром, оснащенные инновационными системами рециркуляции отработанных газов. Все это обеспечивает максимальную чистоту выхлопных газов, отвечающую самым высоким мировым стандартам.

Известный немецкий производитель спецтехники *Liebherr* осуществляет выпуск гидравлических экскаваторов, сочетающих в себе самые последние достижения инженерной мысли. Среди отличительных особенностей данной техники можно выделить гидрообъемный привод у гусеничных моделей, автоматическую КПП с переключением передач под нагрузкой у пневмоколесных экскаваторов, 4 стандартных режима работы для максимальной эффективности разработки грунта в любых условиях.

Украинское Акционерное общество по производству экскаваторов АТЕК вышло на российский рынок с гусеничными экскаваторами, не сильно отличающимися от российских. Экскаваторы оснащаются ковшами общего назначения с объемом от 0,75 до 1,3 м³. На этих машинах используются четырехтактные четырехцилиндровые двигатели с непосредственным впрыском топлива и турбокомпрессором. В зависимости от объема ковша максимальная глубина копания экскаваторов доходит до 6,5 м, а максимальная зона досягаемости на уровне стоянки – до 9,45 м.

Основой гидравлической системы является сдвоенный аксиально-поршневой насос с регулируемой производительностью, который обеспечивает как независимое, так и комбинированное осуществление рабочих операций с максимальной производительностью. Помимо оборудования стандартной комплектации машины по желанию заказчика могут оснащаться дополнительным навесным оборудованием: грейфер, гидромолот, профильные ковши, крюковая подвеска и зубрыхлитель. Экскаваторы АТЕК дополнительно могут комплектоваться двигателями фирмы *Perkins*, гидроаппаратурой *Mannesmann Reksrot*, гусеничным ходом *Intertrak* и рукавами высокого давления *Semperit*.

Что касается отечественных производителей, то здесь можно выделить такие компании, занимающиеся выпуском экскаваторов, как ЗАО «Тверской экскаватор» и АО «ТЯЖЭКС». Многие модели тверских экскаваторов оснащены отвалами, применяемыми для выравнивания участка и засыпания траншей. При покупке экскаватора клиент может заказать такие сменные рабочие органы, как гидронулцы, бревнозахват, 5-челюстной грейфер, гидравлический молот, фрезерная головка и т.д.

Акционерное общество открытого типа «ТЯЖЭКС» – основной в России производитель и поставщик тяжелой землеройной техники – экскаваторов V и VI размерных групп (шесть модификаций) с различным сменным рабочим оборудованием. В зависимости от комплектации экскаваторы могут быть оборудованы прямой или обратной лопатой и другим сменным оборудованием –

бурильное оборудование, рыхлитель, гидромолот. Все экскаваторы оснащаются двигателями ярославского завода.

Гидропривод – двухпоточный, с автоматическим суммированием потоков для одновременного осуществления любого одного движения рабочего оборудования и с автоматическим разделением потоков для одновременного осуществления любых двух движений рабочего оборудования и поворота платформы.

Экскаваторы имеют комфортабельную кабину, обеспечивающую тепло- и звукоизоляцию, с регулируемым по вертикали и горизонтали сиденьем. Подвеска сиденья обеспечивает необходимый комфорт оператору.

Также одним из самых динамично развивающихся машиностроительных предприятий в России является машиностроительная компания КРАНЭКС, г. Иваново. Отличительной особенностью всех выпускаемых ею моделей экскаваторов новой серии ЕК является оснащение полным комплектом гидрооборудования фирм *Mannesmann Rexroth AG* и *Parker Hydraulics* (Германия). Компания активно сотрудничает с японской фирмой *Komatsu* и имеет совместное раскройно-заготовительное производство.

Все это позволяет говорить об экскаваторах КРАНЭКС как о наиболее качественной и надежной отечественной дорожно-строительной технике. Среди других преимуществ экскаваторов новой серии ЕК потребители отмечают современную, прочную и удобную в эксплуатации конструкцию машины, низкое удельное давление на опорную поверхность (модель ЕК-270LC), необходимое для работ на слабонесущих грунтах, а также широкий перечень сменного оборудования: ковши различных форм и емкостей, гидромолот, шнековый бур, рыхлитель, грейфер и др.

5.3. Траншеекопатели

Траншеекопатели – это землеройная спецмашина самоходного типа с непрерывным действием, имеющая в качестве рабочего органа многоковшовый или скребковый инструмент. В работе оставляет за собой выкопанную траншею конкретного профиля с одновременной транспортировкой из нее отработанного

грунта. Траншеекопатели стоят особняком среди рядов прочей спецтехники. Это происходит благодаря их специальному назначению и особенностям конструкции, позволяющим выполнять задачи, непосильные для других строительных и дорожно-строительных аппаратов.

5.3.1. Область применения, особенности конструкций и виды траншеекопателей

Назначение траншеекопателей – подготовка ям, котлованов и траншей определенных размеров и формы для строительства различных объектов жилого, производственного либо дорожно-транспортного комплекса. Они используются на строительстве следующих объектов:

- подземных коммуникаций различного назначения путем открытого рытья траншей;
- трубопроводов для транспортировки воды, газа, нефти и т.п.;
- централизованных систем отопления;
- канализационных систем;
- кабельных линий связи либо электроснабжения;
- ленточных фундаментов большой протяженности для установки различных зданий и сооружений;
- для создания ровных контуров будущих котлованов и других строительных выемок;
- снятие дорожного полотна;
- благоустройство территории: создание дренажной системы, пересадка деревьев.

Особенности: Траншеекопатели, в отличие от одноковшовых экскаваторов, способны разрабатывать грунт абсолютно любого типа, даже мёрзлый и каменистый.

Независимо от вида землеройного оборудования и особенностей самой машины, все траншейные экскаваторы сохраняют одинаковый набор основных частей:

- базовый тягач пневмоколесного либо гусеничного типа, который обеспечивает равномерное поступательное передвижение всего агрегата;
- рабочее оборудование роторного или цепного типа, закрепленное на машине навесным либо полуприцепным способом;
- отвальное устройство, ссыпаящее грунт в отвал либо транспортные средства для последующего вывоза;
- дополнительное подъёмно-спусковое устройство для управления подъёмом и установкой в рабочее положение навесного оборудования.

Виды траншеекопателей

Наиболее распространены классификации траншейных экскаваторов по виду самого тягача (колёсный или гусеничный) и по типу рабочего оборудования, где различают роторные и цепные машины.

1. Цепные

Цепные траншеекопатели (ЭТЦ) (рис. 5.13, а) имеют рабочее оборудование в виде одно-либо двухрядной бесконечной (спаянной в кольцо) цепи. Она, огибая наклонную раму, несет на себе ряды ковшей или скребков определенной ширины.

Крепление цепи может быть:

- свободное, с провисанием на поддерживающих и направляющих роликах;
- жесткое на баровом рабочем органе машины.

При этом каждый из копающих ковшей оснащен режущим элементом и специальными откосообразователями, с помощью которых можно настраивать машину на рытье траншеи прямоугольного либо трапециевидного профиля.

В работе малогабаритного траншеекопателя цепи движутся поступательно сразу в двух направлениях: вокруг рамы или бара для отделения и транспортировки грунта, а также в сторону тягача для отрывания кусков грунта определенной глубины. С помощью цепного экскаватора можно получить глубину траншеи более 8-ми метров, а ширину – от 0,14 м и выше.

2. Роторные

Траншеекопатели с рабочим органом роторного типа (ЭТР) разрабатывают грунт с помощью нескольких или одного жесткого колеса (ротора), на котором и

размещены ковшовые резакИ или зубья. Копка траншеи проходит при вращении этого колеса вокруг рамы на роликовых элементах с постепенным увеличением толщины снимаемой стружки от нуля до максИмума.

ПреИмущество использования роторного траншеёкопателя – возможность разработки пнистых грунтов благодаря превращению ротора в диско-фрезерный элемент при замене ковшей зубьями.

Роторная машина (рис. 5.13, в) может прокапывать траншеи глубиной до 3-х и шириной от 0,8 до 2,5 метров. Она имеет более высокий КПД и большую производительность работы, чем цепная, но рытье более глубоких траншей для неё проблематично, т.к. влечет за собой сильное увеличение массы и габаритов навесного оборудования.

Траншеёкопатели производятся на базе колёсных (рис. 5.13, а) или гусеничных (рис. 5.13, б, в) спецмашин. При этом тягачи на гусеничной основе дают такие преИмущества, как:

- большую проходимость и сцепление с грунтом;
- более высокую мощность, при этом мощностные возможности рекордсменов достигают 1500 л.с.;
- возможность как наклонного, так и вертикального расположения рамы с режущими элементами. Вертикально расположенная рама расширяет область применения экскаватора, позволяя копать траншеи на холмистой местности и склонах.
- смещение рамы относительно тягача для копки траншеи вдоль дороги, по правую либо левую сторону от неё.

Все модели траншеёкопателей относятся к одной из трёх возможных категорий: *малогабаритным*, *компактным* или *тяжёлым*.

Малогабаритные устройства (рис. 5.13, г) спроектированы и разработаны для использования в небольших проектах по прокладке различных кабелей, водопроводов, газопроводов и других инженерных коммуникаций. Такие технические средства способны создавать траншеи, глубина которых достигает 120 сантиметров.



а



б



в



г



д



е

Рис. 5.13. Виды траншеекопателей: *а* – цепной траншеекопатель на базе колесного трактора; *б* – гусеничный траншеекопатель; *в* – роторный траншеекопатель; *г* – малогабаритный траншеекопатель; *д* – специальный траншеекопатель для работы на склонах; *е* – траншеекопатель-кабелеукладчик

Компактные траншеекопатели (рис. 5.13, а, б) в наибольшей степени находят применение в масштабных профессиональных проектах, реализуемых в городских условиях. Это оборудование, отличающееся высокой манёвренностью, принято использовать для прокладки всевозможных коммуникаций в сфере жилищно-коммунального хозяйства. К ним относятся не только газопроводы, водопроводы, но и телефонные кабели, а также электрические провода. Глубина разрабатываемых ими траншей, как правило, ограничена 2 метрами.

Производство *тяжёлых* траншеекопателей (рис. 5.13, в) нацелено на выпуск профессиональных технических средств, предназначенных для эффективной прокладки труб и других типов инженерных коммуникаций в тяжёлых рабочих и климатических условиях. Такие модели оснащаются самыми мощными двигателями, а в некоторых случаях и навесным оборудованием. Они способны разрабатывать траншеи глубиной до 240 сантиметров.

5.3.2. Навесной траншеекопатель

Если строительной компании не часто приходится прокладывать траншеи, и она не хочет вкладывать средства в траншеекопатель, который будет простаивать, можно использовать навесную установку. Навесные траншеекопательные и баровые установки отлично работают при укладке дренажных труб, электрических силовых кабелей, водопроводов и других подобных коммуникационных линий диаметром до 150 мм. Траншеекопатели и баровые установки являются одними из самых распространенных навесных орудий для погрузчиков с бортовым поворотом и гусеничных мини-погрузчиков. Для них предлагаются различные режущие цепи, предназначенные для разного типа грунтов и объемов работ.

Погрузчики с бортовым поворотом и гусеничные мини-погрузчики при довольно высокой мощности и производительности могут быть очень компактными и прокладывать траншеи в таких тесных местах, где было бы невозможно выполнить работу компактному самоходному траншеекопателю без сиденья для оператора или на сильно пересеченной и труднопроходимой местности. Гусеничные погрузчики обеспечивают ровное плавное движение при

выемке траншеи баровой установкой и к тому же отличаются низким удельным давлением на грунт, за счет этого меньше повреждают окружающую почву.

Однако считается, что навесные траншеекопатели, установленные на погрузчиках с бортовым поворотом и компактных гусеничных, не допускают никаких импровизаций. Оператор имеет лишь ограниченную возможность копать узкие траншеи по прямой линии. Кроме того, навесные траншеекопатели даже самых больших типоразмеров ограничены в возможностях: они могут прокладывать траншеи глубиной приблизительно до 1500 мм и шириной до 300 мм.

5.3.3. Особенности эксплуатации траншеекопателей

Чаще всего траншеекопатель навешивают на мини-погрузчики, экскаваторы-погрузчики или экскаваторы массой до 15 т. Важно правильно подобрать навесной траншеекопатель, наиболее подходящий для данных конкретных условий работы, а для этого следует проанализировать ряд вопросов.

Глубина и ширина траншеи, выбор агрегата и машины-носителя. Прежде всего, следует выяснить, какой глубины и ширины траншеи потребуются проложить. Большинство траншеекопателей достаточно универсальны, и все же убедитесь, приобретая или арендуя траншеекопатель, что с его помощью вы сможете проложить траншеи всех необходимых размеров – по глубине и ширине.

Если строительная площадка невелика и работать придется в условиях тесноты, лучше выбрать небольшой навесной траншеекопатель для компактной машины, например, погрузчика с бортовым поворотом. Даже небольшие погрузчики с бортовым поворотом могут прокладывать траншеи глубиной до 900 мм и шириной до 250 мм. К тому же, стоимость владения и эксплуатации у компактных агрегатов меньше. Если требуется траншея глубже или шире, или грунт будет тяжелый, можно выбрать траншеекопатель, предназначенный для колесного или гусеничного погрузчика большего типоразмера, с глубиной выемки приблизительно от 600 до 1500 мм и шириной траншеи от 150 до 300 мм, например, *Delta TR 1500*. У машины большего типоразмера выше производительность, она

массивнее и способна противостоять более высоким нагрузкам, более устойчива при работе. Но эксплуатация такого агрегата будет и стоить дороже. Учтите, при прокладке траншеи в сыпучем грунте нужно откапывать траншею глубже и шире заданных размеров, чтобы компенсировать осыпание грунта, возможно, для этого потребуется оборудование большего типоразмера.

Гусеничный или колесный ход? Тип ходовой части базовой машины для траншеекопателя выбирается в зависимости от вида и состояния поверхности грунта. Гусеничная ходовая обеспечивает машине возможность не проваливаться в слабый грунт, а также высокое тяговое усилие. Колесную ходовую рекомендуют выбирать, когда требуется высокий темп работ. В завершение оцените, сможет ли данная машина выполнить работу в течение отпущенного на нее времени?

Расход потока и давление в рабочем гидроконтуре. Энергоснабжение траншеекопателя определяется расходом потока и давлением в гидравлическом рабочем контуре. Следует выяснить эти параметры гидросистемы базовой машины. Обычно для работы небольших траншеекопателей, например, Delta TR 900, на мини-погрузчиках требуется расход от 30 до 75 л/мин и давление от 120 до 210 бар. Типичные требования по величине потока и давлению для колесных и гусеничных мини-погрузчиков средних и больших типоразмеров составляют 40-150 л/мин и от 140 до 290 бар.

Цепи и зубья. Компании – производители выпускают различные цепи и зубья траншеекопателей, предназначенные для различных грунтов. Поэтому, прежде всего, нужно выяснить характеристики грунта, с которым предстоит работать. От того, насколько правильно будет сделан выбор типа цепи и зубьев, зависит производительность агрегата.

Если характеристики грунта меняются или нужно изменить ширину траншеи, зубья на цепи можно легко и быстро заменить, они крепятся к цепи болтами или привариваются. Болтовые соединения позволяют быстрее менять инструмент, зато приваренные зубья не ослабнут во время работы, их не нужно подтягивать. Цепи могут быть «комбинированными» т.е. оснащаться одновременно зубьями разного типа. Можно изменять количество зубьев на цепи,

чтобы изменить величину давления каждого зуба на грунт. Цепи для самого твердого грунта оснащаются зубьями с самозатачивающимися наплавленными резцами из карбида вольфрама. Иногда такие резцы могут поворачиваться в процессе работы, чтобы изнашиваться равномерно.

Привод. Некоторые производители предлагают конструкции с непосредственным приводом траншеекопателя от гидромотора, у других привод осуществляется через редуктор. Использование редуктора для привода цепи траншеекопателя, предназначенной для тяжелых условий работы, – это надежный и экономичный способ увеличения мощности копания по разумной цене. При непосредственном приводе цепь движется быстрее, но срок службы ее за счет этого бывает короче, а такой важный параметр, как крутящий момент, – бывает меньше по сравнению с характеристиками агрегата с приводом через редуктор.

Зачистной башмак. В штатной комплектации или в качестве опции к траншеекопателю обычно предлагается зачистной башмак. Он предназначен для более тщательной очистки траншеи от осыпавшегося грунта и позволяет получить траншею с ровным и чистым дном. Грунт, собираемый плугом, подхватывается скребками баровой цепи и поднимается на поверхность.

Боковое смещение агрегата. Траншеекопатели могут комплектоваться кареткой бокового смещения, которая позволяет машине работать ближе к препятствиям наподобие стены дома. Смещение может осуществляться вручную или при помощи гидропривода. Если работа производится вблизи от препятствия, может понадобиться снять шнек, перемещающий грунт от края траншеи.

Приемы работы. Устанавливать траншеекопатель нужно таким образом, чтобы стрела лежала горизонтально на земле. Перед тем, как начать работу, необходимо расположить стрелу на расстоянии нескольких метров позади исходной точки предполагаемой траншеи. Для того, чтобы подобрать сбалансированные скорости хода и цепи, необходимо прогреть двигатель и вывести на режим средних или высоких оборотов и начать медленно продвигаться вперед, затем постепенно опустить носок стрелы в землю. Когда стрела траншеекопателя окажется в грунте с наклоном на нужный угол, опускайте

траншеекопатель до тех пор, пока расположенная слева опорная лыжа рамы траншеекопателя не окажется плотно прижата к грунту, иначе траншея может оказаться непрямолинейной и с неравномерной глубиной. Рекомендуется держать траншеекопатель под углом от 45 до 60°, при таких углах обеспечивается максимальная производительность. Глубина траншей может изменяться регулировкой угла наклона инструмента и изменением положения опорных салазок. Следует учитывать, что в ходе работы зубья затупляются и ширина траншеи уменьшается.

Движение цепи лучше начинать с небольшой скорости, постепенно доведя до 80% от максимальной. Это позволит понять, с какой скоростью можно работать и почувствовать нагрузку до того, как она сможет причинить ущерб агрегату. *Учтите:* работа при максимальной скорости движения цепи редко является оптимальной для обеспечения наивысшей производительности траншеекопателя. Заставляя машину работать на максимальной скорости, оператор рискует быстро затупить зубья. Основная цель оператора – работать при наименьшей скорости цепи, не снижая продуктивности. Зубья должны копать плавно и в то же время с высокой производительностью.

Понемногу подавайте машину задним ходом. Следует увеличивать скорость хода до тех пор, пока обороты двигателя не уменьшатся на 10% (200-300 об/мин). Далее нужно следить за тахометром и одновременно замедлять скорость работы цепи. Если двигатель увеличит число оборотов, необходимо снова увеличить скорость хода до тех пор, пока двигатель не замедлится. Это действие следует повторять каждый раз, когда количество оборотов двигателя возрастает.

В общем случае, скорость движения машины зависит от глубины траншеи, ширины, характеристик грунта и мощности машины-носителя. Если скорость движения будет слишком высокой, траншеекопатель может застрять в грунте.

Машину не следует выводить на полную мощность, если только грунт не настолько мягкий, что позволяет быстро без труда прокладывать траншею. Обычно рекомендуется, чтобы машина работала при 75% от полной мощности. Наибольшая

производительность достигается при работе траншеекопателя с крутящим моментом, величина которого составляет 90% от пикового значения.

Нельзя делать крутые повороты в процессе прокладки траншеи. Это потребует огромной мощности и создаст опасную нагрузку на стрелу. Если необходимо сделать у траншеи резкий поворот, необходимо прокопать траншею до места поворота, вынуть из траншеи стрелу и расположить под необходимым углом на достаточном расстоянии от проложенной траншеи, а затем начать прокладывать вторую траншею. Прокладывать ее рекомендуется на 30-50% глубже, чем указано в чертеже, до пересечения с первой траншеей, т. к. в месте пересечения двух траншей на дно насыпется много земли. Необходимо расширить место пересечения траншей (выкопать внутренний угол), чтобы поместился сгиб трубы, если укладывается труба достаточно большого диаметра.

Техобслуживание. Основное внимание следует обращать на рабочий инструмент – цепь. Рекомендуется обслуживать цепь дважды в день – очищать, проверять состояние зубьев, заменяя изношенные, и восстанавливать подвижность поворачивающихся резцов. Также следует измерять натяжение цепи: расположив стрелу горизонтально измерить расстояние от нижней поверхности стрелы до цепи. Расстояние должно соответствовать величине, указанной в инструкции по эксплуатации. Если цепь натянута слишком сильно, машина затрачивает больше мощности на ее вращение и нагрузки на стрелу возрастают, а если слабо – может выпасть из направляющих стрелы. В обоих случаях резко возрастает износ цепи, и подшипника концевой опоры. Регулярное обслуживание цепи позволяет поддерживать ее в оптимальном рабочем состоянии.

5.4. Сравнительный анализ экскаватора и траншеекопателя

И траншеекопатели, и экскаваторы занимают определенные ниши в области землеройных работ. Экскаваторы в строительстве используются чаще траншеекопателей. Отчасти это объясняется традицией: строители просто привыкли копать траншеи экскаватором. В строительных компаниях используется множество экскаваторов для выполнения разных работ, и строители не видят

причин использовать какую-то специальную машину для выемки траншей. Однако в определенных условиях траншекопатели имеют преимущества перед экскаваторами.

Траншекопатели

Преимущества: Траншекопатель может обеспечить более высокую, чем экскаватор, производительность при выемке траншей большой протяженности, малой или средней глубины. Например, при прокладке протяженных магистральных трубопроводов, где глубина траншеи составляет около 1,8 м. При выемке грунта производительность траншекопателя может превысить данный показатель экскаватора в 6 раз. Вообще в строительстве применяют баровые машины различных модификаций, нарезающие 1–3 щели шириной 140–500 мм и глубиной от 1 до 6 м. Скорость нарезания в зависимости от числа щелей, условий резания и крепости разрабатываемого грунта или породы составляет от 2 до 1000 м/ч.

Гусеничные траншекопатели, оснащенные скальной цепью, или камнерезная баровая машина показывают великолепные результаты при копании траншей в тяжелых, плотных и скалистых грунтах благодаря способности высокопроизводительно резать и разрушать скальную породу, например известняк, развивая давление до 1,4 кг/см². Стенки траншей можно оставлять вертикальными, и в них проще укладывать трубы (рис. 5.14).

Высокая производительность имеет большое значение, поскольку, как правило, сроки прокладки трубопроводов или строительства каких-либо объектов весьма жесткие. Приведем такой пример: строительная компания прокладывала водопровод в горнодобывающей шахте. Чтобы выкопать траншею в скалистом грунте, строители использовали четыре экскаватора и один гусеничный траншекопатель. В данных условиях один траншекопатель показал производительность больше, чем все четыре экскаватора вместе! Кроме того, если у вас есть четыре экскаватора, вам нужно платить зарплату четырем операторам и все четыре машины заправлять топливом.



Рис. 5.14. Прокладывание траншеи с вертикальными стенками для укладки труб

Качество траншеи, вырытой траншеекопателем, часто бывает лучше, чем экскаватором: если траншеекопатель оборудован точным по размерам траншеи рабочим органом, машина может прокладывать траншею, ровно такую по размерам, как задана, с постоянной на всем протяжении шириной, чистыми прямыми боковыми стенками и плоским ровным дном. Когда необходимо уложить коммуникацию небольшой величины, например кабель или трубу малого диаметра, лучше использовать траншеекопатель, т. к. он сможет выкопать траншею меньшей ширины, чем экскаватор, уже готовую для укладки коммуникации. Траншеекопатели (как и экскаваторы) могут оснащаться электронными системами управления со спутниковой навигацией GPS/ ГЛОНАСС для проверки размеров (ширины и глубины) и трассы при выемке траншеи.

Если размеры баровой установки траншеекопателя подобраны правильно, она будет вынимать ровно столько грунта, сколько необходимо, т. е. меньше, чем

экскаватор. Это имеет большое значение, например, в ситуации, когда пространство для работы ограничено и мало места для укладки извлеченного грунта.

Траншеекопатель более компактен, чем экскаватор. Если работу необходимо выполнить в условиях тесноты, где даже небольшой экскаватор не сможет развернуться, с выемкой справится траншеекопатель.

Извлеченный траншеекопателем грунт равномерно измельчен (рис. 5.14), равномерно располагается по краю траншеи, и его можно снова использовать для обратной засыпки траншеи. Благодаря этому, как правило, нет необходимости специально завозить материал для обратной засыпки траншей и после траншеекопателя можно сразу выполнять следующие этапы работы. Идущий следом кран или трубоукладчик будет опускать трубопровод или кабель в траншею, затем бульдозер будет засыпать траншею и уплотнять в ней грунт.

Траншеекопатель меньше повреждает поверхностную почву и после окончания работы проще и дешевле будет привести в порядок газон или дорожку на аллее парка.

Недостатки: Недостатки траншеекопателей, как это часто бывает, являются продолжением их достоинств. Траншеекопатель – это узкоспециализированное «нишевое» оборудование, он может выполнять лишь одну работу: копать траншеи, причем, как отмечалось выше, ограниченной ширины, глубины и объема. Если траншеекопатель прокладывает траншею, которую необходимо крепить опалубкой, нужна еще бригада или машина, опускающая и устанавливающая опалубку. Если же используется экскаватор, он сам может опускать опалубку в траншею.

На несвязных и сыпучих грунтах производительность траншеекопателя невелика. При работе с тяжелыми каменистыми грунтами резцы и другие компоненты траншеекопателя быстро выходят из строя, а замена и ремонт обходятся недешево. Ввиду того, что извлекаемый грунт значительно измельчается, энергозатраты и расход топлива у траншеекопателя довольно велики. Траншеекопатели любят ровные поверхности, дно траншеи повторяет

линию поверхности земли, поэтому в некоторых случаях может понадобится дополнительно выровнять дно траншеи после завершения работы траншеекопателя.

Экскаваторы

Преимущества: Экскаватор – намного более универсальная машина, чем траншеекопатель. Он может сам выкопать траншею, опустить в нее опалубку, уложить трубы (рис. 5.15), снова закопать и уплотнить грунт в траншее. Экскаватор может работать на поверхностях любого типа, в том числе сильно пересеченных.



Рис. 5.15. Такую траншею траншеекопателем не выроешь – только экскаватором

Преимуществом компактного экскаватора является: наличие поворотной стрелы и нулевого или близкого к нулю вылета задней части надстройки, что позволяет экскаватору, в отличие от самоходных и навесных траншеекопателей, копать траншеи непосредственно возле стен и других подобных строений, вдоль обочин дорог. Еще одним преимуществом у некоторых моделей является возможность сдвигать гусеницы. Это позволяет компактным экскаваторам проезжать через ворота и даже двери помещений для прокладки траншей в помещениях и внутренних дворах. Резиновые гусеницы позволяют мини-

экскаваторам передвигаться по полам в крытых помещениях или по газонам, не повреждая их.

Недостатки: Ковш экскаватора часто не способен внедриться в скальный грунт высокой крепости. Это означает, что строителям приходится использовать гидромолоты, чтобы разбить такой грунт. Если используется гидромолот, траншея будет иметь в поперечном сечении трапецеидальную форму, потому что оператор сначала будет выкапывать узкую траншею с помощью гидромолота, а затем заменит гидромолот на ковш и будет расширять и углублять ее ковшом. В результате не только придется извлекать грунта больше, чем необходимо, но даже потом частично засыпать, чтобы привести размеры траншеи до заданных значений. Иногда строители используют две машины: одна, оснащенная гидромолотом, разбивает скалу, а вторая вслед за ней ковшом копает траншею. В любом случае это приводит к дополнительным затратам времени и использованию дополнительного оборудования на строительном объекте.

Экскаваторы часто извлекают большие комья и глыбы грунта, которые для обратной засыпки траншеи нужно предварительно измельчить. Поэтому часто приходится завозить материал для обратной засыпки траншей, а это дополнительные затраты времени и средств. А если производится выемка скалистого грунта, сложностей возникает еще больше. Чтобы использовать вынутый грунт для обратной засыпки траншеи, необходимо его вывезти, переработать в дробилке и затем возвращать назад на строительную площадку. В некоторых случаях затраты на засыпку даже превышают стоимость выемки траншеи.

В некоторых специфических условиях экскаватор применять неэффективно или невозможно и выгоднее использовать траншеекопатель. Например, если приходится копать скальный грунт. Современные экскаваторы с правильно подобранным ковшом-рыхлителем способны копать приблизительно 95% тяжелых и плотных каменистых и скальных грунтов, которые традиционно были «сферой деятельности» траншеекопателей. Остающиеся 5% почти сплошных скал придется разрабатывать траншеекопателем.

Если используется экскаватор, дно траншеи неизбежно будет неровным, «волнистым», стенки тоже неровные, местами шире, чем нужно.

Рекомендации:

Рекомендуется использовать экскаватор, а не траншеекопатель в следующих случаях:

- если ширина и глубина траншеи должны быть больше, чем может выкопать траншеекопатель (шириной более 300 мм и глубже 1500 мм), например, при укладке труб больших диаметров; экскаватор способен копать глубже, чем большинство траншеекопателей аналогичной размерности;
- при больших объемах работ и наличии достаточного пространства для работы мощного экскаватора;
- если стенки траншеи должны быть не вертикальными, а наклонными, чтобы обеспечить безопасность рабочих, находящихся в траншее;
- если необходимо извлечь грунт и вывезти его, траншеекопатель не сможет загрузить грунт в транспортные средства;
- когда при выемке траншей требуется поднимать и укладывать в них трубы или строительные конструкции, опалубку;
- когда требуется отрыть траншею, не повредив имеющиеся в земле коммуникации;
- когда требуется прорыть траншею с участками разной ширины.

5.5. Правила техники безопасности при эксплуатации землеройных машин

1. Запрещается работать с незатянутым креплением узлов и деталей землеройных машин.
2. При работе экскаватора не разрешается проводить какие-либо работы со стороны забоя.
3. В нерабочее время должна быть исключена возможность случайного запуска машины; пусковые устройства должны быть выключены и заперты.

4. Перед работой машины должны быть установлены опасные зоны, выставлены предупредительные надписи и ограждения.

5. Путь, по которому передвигаются землеройные машины, должен быть заранее выровнен, а на слабых грунтах укреплен инвентарными щитами.

6. Во время движения одноковшового экскаватора его стрелу необходимо установить строго по направлению хода, а ковш освободить от грунта, приподнять над землей на 0,5–0,7 м и закрепить от раскачивания.

7. Запрещается передвижение экскаватора с нагруженным ковшом.

8. При разработке слабых, пропитанных водой или болотистых грунтов во избежание осадки землеройных машин следует устраивать лежневые дороги из бревен, брусьев или щитов. По мере передвижения экскаватора освободившиеся материалы разрешается перекладывать вперед.

9. При работе рассмотренных землеройных машин работникам необходимо осуществлять следующие меры предосторожности: не находиться на бровке траншеи в опасной зоне действия стрелы с ковшом; следить за сигналом экскаваторщика; не подходить к краю траншеи во время работы землеройных машин в пределах призмы обрушения грунта.

5.6. Вопросы для самоконтроля

1. Какие машины относятся к землеройным? Как они подразделяются по режиму работы?

2. Что такое экскаватор?

3. Из каких операций состоит рабочий цикл одноковшового экскаватора?

4. В чем отличие рабочего цикла многоковшового экскаватора от одноковшового?

5. Какие сухопутные экскаваторы существуют?

6. Какие типы экскаваторов эксплуатируются на карьерах?

7. Какие виды силового оборудования используют на экскаваторах?

8. Какие виды приводов используют в экскаваторах для передачи движения от двигателя к рабочим механизмам?

9. Какие виды ходового оборудования используют на экскаваторах?
10. Как различают экскаваторы по эксплуатационному назначению?
11. Что такое экскаваторный забой?
12. Как различают механизмы экскаваторов по кинематическому признаку?
13. Что такое механическая прямая напорная лопата экскаватора? Её основное назначение?
14. Как различают основные типы прямой лопаты экскаваторов в зависимости от системы напорного механизма и конструкции стрелы?
15. Где находится седловой подшипник? В чем его основное назначение?
16. Что такое гидравлический экскаватор? Где применяется?
17. Из каких конструктивных элементов состоит гидравлическая обратная лопата?
18. В чем особенности экскаватора-драглайна?
19. Из каких конструктивных элементов состоит исполнительный механизм драглайна?
20. Какая стрела драглайна не используется в строительстве в настоящее время?
21. Где задействованы многоковшовые экскаваторы? Как они подразделяются?
22. Какие многоковшовые экскаваторы применяют на открытых разработках?
23. В чем отличие однопортальных экскаваторов от двухпортальных?
24. Что такое цепной экскаватор? Его назначение?
25. Что такое роторный экскаватор? Его назначение?
26. Что такое фрезерный экскаватор? Его назначение?
27. Какие многоковшовые экскаваторы относятся к строительным?
28. Какие отечественные производители выпускают экскаваторы в настоящее время в России?
29. Что такое траншеекопатель? Какие задачи в строительстве выполняет?
30. Какие виды траншеекопателей существуют?

31. В чем отличие цепного траншеекопателя от роторного?
32. Где применяют навесные траншеекопатели?
33. Для чего нужна каретка бокового смещения в траншеекопателе при выполнении строительных работ?
34. В чем особенности приемов работы траншеекопателями?
35. Как правильно осуществить выбор между траншеекопателем и экскаватором для использования в землеройных работах, в зависимости от целей механизации строительства?

Библиографический список

1. Добронравов С.С., Дронов В.Г. Строительные машины и основы автоматизации: Учебник для строит. Вузов. М.: Высш. шк. 2001. 575 с.
2. Волков Д.П., Крикун В.Я. Строительные машины: Учебник для студентов вузов, обуч. по спец. ПГС. 2-е изд. переработ. и дополн. М.: Изд-во АСВ. 2002. 373 с.
3. Добронравов С.С., Добронравов М.С. Строительные машины и оборудование. Справочник для строит. спец. ВУЗов и инж.-техн. Работников. 2-е изд. переработ. и дополн. М.: Высш. шк., 2006. 445 с.
4. Белецкий Б.Ф., Булгакова И.Г. Строительные машины и оборудование. Справочное пособие. Изд. второе, переработ. и дополн. Ростов н/Д: Феликс. 2005. 608 с.
5. Мыльников В.В., Кондрашкин О.Б. Металлические материалы, применяемые в строительном машиностроении: учеб. Пособие. Нижегор. гос. архитектур.- строит. ун-т. Н. Новгород: ННГАСУ. 2018. 148 с.
6. Беляков Ю.И., Левинзон А.Л., Резуник А.В. Земляные работы. М.: Стройиздат. 1983. 177 с.
7. Кудрявцев Е.М. Комплексная механизация, автоматизация и механовооруженность строительства: учебник для вузов. М.: Стройиздат. 1989. 246 с.

Мыльников Владимир Викторович
Кондрашкин Олег Борисович

СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ:
грузоподъемные и землеройные машины

Редактор:
А. А. Голодаева

Подписано в печать 30.09.2021г. Формат 60x90 1/16 Бумага газетная. Печать
трафаретная.

Уч. изд. л. 19,5. Усл. печ. л. 19,9. Тираж 300 экз. Заказ №

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
603950, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65.

Полиграфический центр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65
<http://www.nngasu.ru>, srec@nngasu.ru