**Содержание**

Введение 5

1. МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ

И СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН 6

1.1. Объекты изучения в строительной механике ПТиСДМ 6

1.2. Подъемно-транспортные машины 6

1.3. Стреловые самоходные машины 7

1.4. Строительные и дорожные машины 10

1.5. Машины для земляных работ 11

2. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

КОНСТРУКЦИЙ И ОСНОВНЫЕ РАЗРЕШАЮЩИЕ

УРАВНЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ 16

2.1. Выбор конструкционных материалов 16

2.2. Конструкционные стали и сплавы 19

3. КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ

СИСТЕМ 22

3.1. Расчетные схемы 22

3.2. Примеры кинематического анализа металлоконструкций 23

3.3. Общие принципы расчета металлоконструкций 26

4. СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ.

РАСЧЕТ 29

4.1. Виды и способы сварочных работ 29

### 4.2. Классификация и разновидности сварных соединений

### (швов) 31

### 4.3. Расчет сварных соединений на прочность 33

4.4. Расчет сварных стыковых соединений 36

5. РАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ (РЕЗЬБОВЫЕ

СОЕДИНЕНИЯ) МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ 37

5.1. Зависимость между моментом на гайке и осевой силой 37

5.2. Расчет резьбы на прочность 38

5.3. Расчет резьбы по напряжению среза 38

### 5.4. Расчет незатянутого болта, нагруженного внешней

### растягивающей силой 39

### 5.5. Расчет затянутого и нагруженного внешней осевой силой

### болта 40

5.6. Расчет болта, нагруженного поперечной силой *Fr* при

установке его с зазором 40

6. ЛИНИИ ВЛИЯНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ БАЛОК 43

7. КЛАССИФИКАЦИЯ ФЕРМ. РАСЧЕТ ПЛОСКИХ ФЕРМ 45

7.1. Классификация ферм 45

7.2. Расчет ферм на подвижную нагрузку 47

8. РАСЧЕТ ПЛОСКИХ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ РАМ 52

9. ОСНОВЫ ДИНАМИКИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПТИСДМ 56

10. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ 59

11. ТЕСТЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ОСТАТОЧНЫХ ЗНАНИЙ

СТУДЕНТОВ  62

12.ПЕРЕЧЕНЬ ТИПОВЫХ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ И

ЗАЧЕТНЫХ ВОПРОСОВ 67

Приложение 69

Список рекомендуемой литературы 71

**ВВЕДЕНИЕ**

Строительной механикой называется наука о методах расчета сооружений на прочность, жесткость и устойчивость. В классической строительной механике рассматриваются только стержневые системы. Основными *задачами строительной механики, а точнее механики инженерных конструкций* являются pазpаботка методов для определения прочности, жесткости, устойчивости долговечности конструкций инженерных сооружений и получения данных для их надежного и экономичного пpоектиpования. Для обеcпечения необходимой надежности cооpyжения, т.е. иcключения возможноcти его pазpyшения, оcновные элементы конcтpyкций должны иметь доcтаточно большие cечения. Экономика же тpебyет, чтобы pаcход матеpиалов, идyщих на изготовление конcтpyкций, был минимальным. Чтобы сочетать тpебования надежноcти c экономичноcтью, необходимо с большей точностью пpоизвеcти pаcчет и cтpого cоблюдать в пpоцеccе пpоектиpования, требования, вытекающие из этого pаcчета. Современная строительная механика имеет целый ряд классификаций решаемых задач. Различают *плоские задачи,* которые решаются в двух измерениях, и *пространственные задачи,* решаемые в трех измерениях. Задачей данного курса является составление расчетных схем элементов металлоконструкций и отработка метода проектирования поперечных сечений элементов металлоконструкций. Проектирование элементов металлоконструкций тесно связано с проектированием механизмов подъемно-транспортных и строительно-дорожных машин (ПТиСДМ), так как нагрузки, испытываемые от работы этих механизмов являются исходными данными для проектирования металлоконструкций с использованием новых технических решений. Большая часть металла расходуемого на изготовление ПТиСДМ приходится на металлоконструкцию. Вообще, стоимость, например, тяжелого козлового крана на 80 % состоит из стоимости металла, приходящегося на металлоконструкцию и это даже если не учитывать стоимость изготовления. Для легких кранов эта цифра еще больше. Умение правильно рассчитать и оптимизировать металлоконструкцию является одним из наиболее важных требований, предъявляемых к инженеру – проектировщику.

**1. МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ И СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН**

**1.1. Объекты изучения в строительной механике ПТиСДМ**

Для различных машин металлоконструкция состоит из разных частей, испытывает различные по величине и виду нагрузки. Существуют следующие основные элементы металлоконструкции:

1. Стрелы, которые могут быть от простых, на монтажных кранах, до целых стреловых систем, как на портальных кранах. В основном стрелы применяются на ПТиСДМ с переменной грузоподъемностью, а это значит, что от массы стрелы зависит не только стоимость машины, но и ее производительность.

2. Мосты, которые могут быть одно- 2-х и 4-х балочными.

3. Опоры, которые могут быть жестко или шарнирно соединены с пролетными строениями: порталы, башни, колонны, рамы.

Металлоконструкции бывают: балочные, ферменные и смешанные. *Балки* – конструкции, работающие в основном на изгиб. *Фермы* – конструкции, состоящие из стержней, работающих под осевой нагрузкой. Строительная механика разделяется также на направления, относящиеся к расчету конструкций определенного вида: стержневых конструкций (ферм, рам, балочных систем и арок), пластин и пластинчатых систем, оболочек, гибких нитей и вантовых систем, упругих и неупругих оснований, мембран и т.д. Несмотря на многообразие областей применения, типов и типоразмеров подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин конструктивные схемы и компоновочные принципы не столь разнообразны. К их числу относятся рама. Рама обеспечивает постоянство взаимного расположения других агрегатов, благодаря чему машина сохраняет работоспособность в широком диапазоне эксплуатационных условий. Часто роль рамы выполняют усиленные корпусные детали машины, как, например, ковш самоходного скрепера. Наряду с основной рамой на некоторых типах машин используются дополнительные рамы для крепления рабочих органов. В качестве примера можно назвать тяговую раму автогрейдера, универсальную раму бульдозера с поворотным отвалом и др.

**1.2. Подъемно-транспортные машины**

Башенные краны. Башенные краны являются ведущими грузоподъемными машинами в строительстве и предназначены для механизации строительно-монтажных работ при возведении жилых, гражданских и промышленных зданий и сооружений, а также для выполнения различных погрузочно-разгрузочных работ на складах, полигонах, и перегрузочных площадках. По конструкции башен различают краны с поворотной и неповоротной башнями. Башни кранов могут быть постоянной длины и раздвижными (телескопическими) (рис. 1.1).

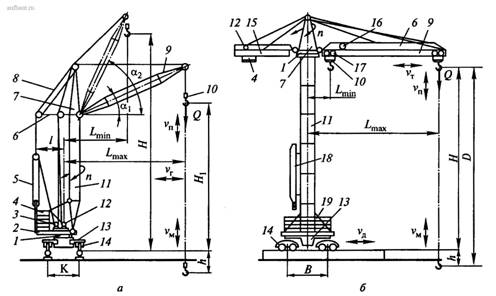


Рис. 1.1. Типы и параметры башенных кранов:

*а* – с поворотной башней; *б* – с неповоротной башней

**1.3. Стреловые самоходные краны**

**Стреловые самоходные краны** представляют собой стреловое или башенно-стреловое крановое оборудование, смонтированное на самоходном гусеничном или пневмоколесном шасси. Такие краны (рис. 1.2) являются основными грузоподъемными машинами на строительных площадках и трассах строительства различных коммуникаций. На кранах устанавливают стреловое и башенно-стреловое оборудование. Основными видами стрелового оборудования являются не выдвижная (жесткая) и выдвижная решетчатые стрелы *3*, телескопическая стрела *15* с одной или несколькими выдвижными секциями для изменения их длины.

**Автомобильные краны** – это стреловые полноповоротные краны, смонтированные на стандартных шасси грузовых автомобилей нормальной и повышенной проходимости (рис. 1.3).

Автомобильные краны с гидравлическим приводом выпускаются 3-х – 5-и размерных групп и оборудуются жестко подвешенными телескопическими стрелами (основное рабочее оборудование), длину которых можно изменять при рабочей нагрузке.

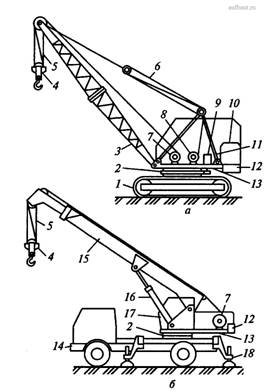


Рис. 1.2 Схемы стреловых самоходных кранов:

*а* – гусеничного с гибкой подвеской стрелового оборудования;

*б* – пневмоколесного с жесткой подвеской стрелового оборудования

В качестве сменного рабочего оборудования кранов применяются удлинители стрел, гуськи и башенно-стреловое оборудование, башней которого служит основная телескопическая стрела. На краны устанавливают телескопические двухсекционные стрелы с одной выдвижной секцией, трехсекционные стрелы с двумя выдвижными секциями и четырехсекционные стрелы с тремя выдвижными секциями.

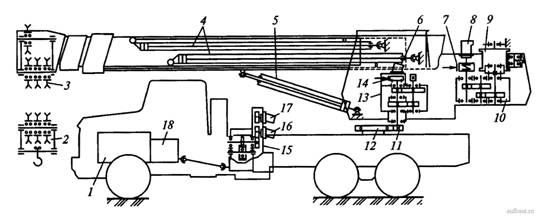


Рис. 1.3. Типовая схема автомобильного крана четвертой размерной группы грузоподъемностью 20 т

**Краны на специальных шасси автомобильного типа.** Такие краны выпускаются 5–10-й размерных групп и представляют собой однотипные по конструкции, максимально унифицированные машины. На поворотной платформе размещены: телескопическая стрела, механизм подъема груза, механизм подъема-опускания стрелы, механизм поворота, кабина машиниста с пультом управления и противовес.

Рама (рис. 1.4) обеспечивает постоянство взаимного расположения других агрегатов, благодаря чему машина сохраняет работоспособ­ность в широком диапазоне эксплуатационных условий. Пространственная конфигурация рамы зависит от величины и направления нагрузок, воспринимаемых машиной, что, в свою очередь, определяется ее назначением, типом и типоразмером.

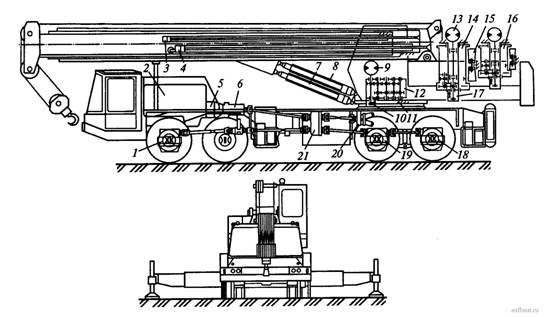


Рис. 1.4. Гидрокинематическая схема крана шестой размерной группы

грузоподъемностью 40 т на специальном шасси автомобильного типа

**1.4. Строительные и дорожные машины**

**Одноковшовые фронтальные погрузчики.** Одноковшовые фронтальные погрузчики применяются в строительстве для складирования разрыхленных грунтов и кусковых каменных материалов в бурты, погрузки сыпучих и кусковых материалов из буртов в транспортные средства, распределения дорожно-строительных материалов, зачистных и планировочных работ и перевалки (рис. 1.5).

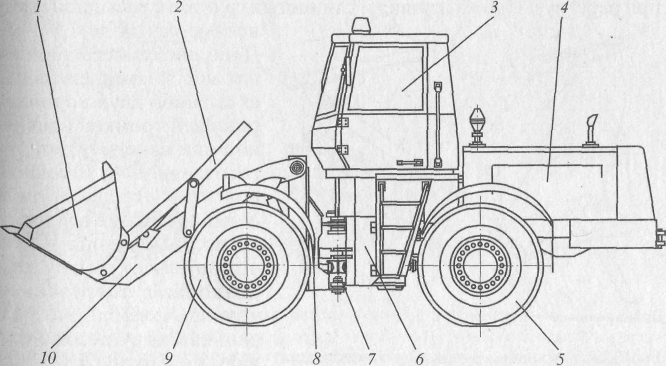


Рис. 1.5. Устройство пневмоколесного одноковшового фронтального

погрузчика: *1* – ковш; 2 – гидроцилиндры управления ковшом; *3 –* кабина оператора;

*4 –* двигатель; 5–заднее пневмоколесо; *6 –* задняя рама; *7* – шарнирное сочленение рам;

*8 –* передняя рама; *9* – переднее пневмоколесо; *10 –* стрела

Сами гидроцилиндры шарнирно опираются на раму. На консольном конце стреловой конструкции шарнирно крепится фронтальный ковш.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Рис. 1.6. Устройство рычажного Z–механизма фронтального погрузчика:  *1 –* ковш;  *2 –* рычажный механизм;  *3 –* колесо;  *4 –* стрела;  5 – гидроцилиндр наклона ковша;  *6 –* гидроцилиндр подъема/опускания |

|  |  |
| --- | --- |
|  | Рис. 1.7. Шарнирно-сочлененная рама фронтального погрузчика:  *1 –* передняя рама с порталом для крепления рабочего оборудования;  *2 –* кронштейн шарнира;  *3* – задняя рама |

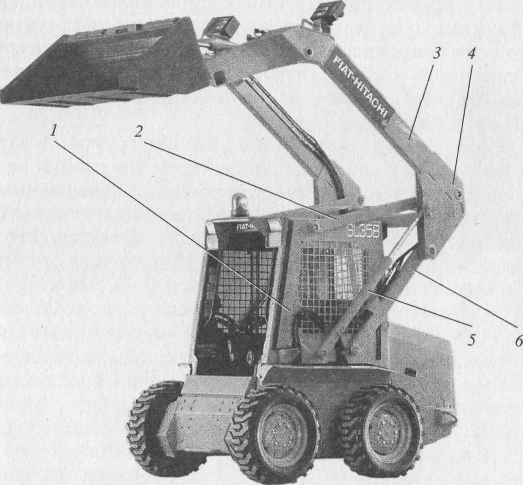


Рис. 1.8. Рычажный механизм подъема стрелы мини-погрузчика:

*1 –* силовая панель рамы; 2 и *5 –* рычаги параллелограммного механизма подъема

стре­лы; *3 –* П-образная стрела; *4* – косынка; *6* – гидроцилиндр подъема/опускания

стрелы

**1.5. Машины для земляных работ**

Бульдозеры предназначены для перемещения больших объемов грунта на короткие расстояния; послойной разработки грунта с его перемещением на расстояние до 300 м; возведения и чернового профилирования грунтовых насыпей; разравнивания грунта, отсыпанного в бурты и валы; чернового выравнивания и планировки поверхностей; копания и обратной засыпки траншей.

Скреперы (рис. 1. 10) предназначены для послойной разработки грунтов до IV-й категории прочности включительно, их транспортирования на расстояние до 7 км, послойной выгрузки грунта в земляное сооружение с одновременным разравниванием.

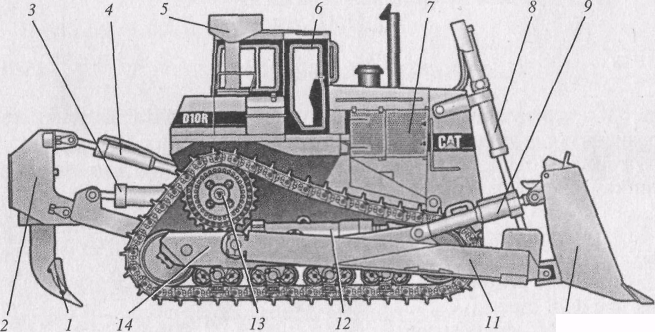


Рис. 1.9. Гусеничный бульдозерно-рыхлительный агрегат:

*1* –зуб рыхлителя; *2* –рама рыхлителя; *3* –гидроцилиндр подъема/опускания

рыхлителя; *4* –гидроцилиндр наклона зуба рыхлителя; *5* – конструкция ROPS;

*6 –* кабина; *7* – моторный отсек; *8* – гидроцилиндр подъема/опускания отвала;

*9* –гидравлический подкос; *10* – бульдозерный отвал; *11* –толкающий брус;

*12* – гидроцилиндр натяжения гусеницы; *13* –ведущая звездочка;

*14* –рама гусеничной тележки

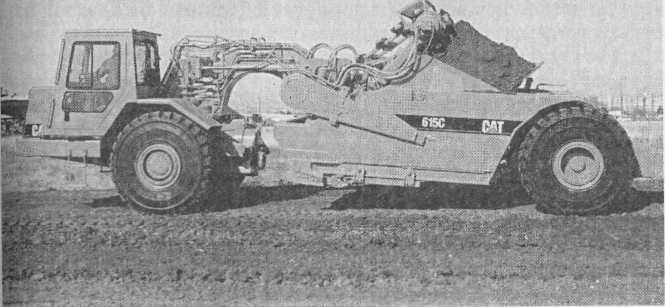
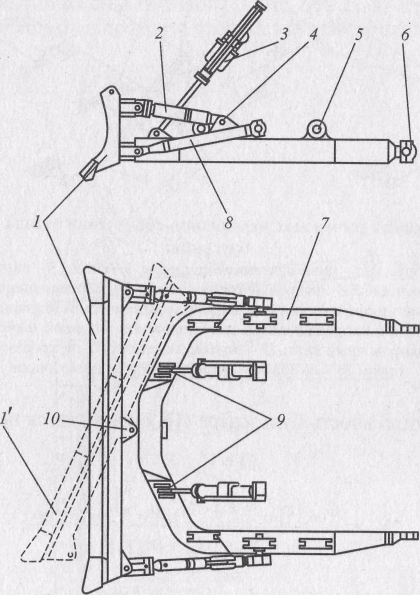


Рис. 1.10. Самоходный скрепер с принудительной загрузкой ковша

Рис. 1.11. Бульдозерное оборудование с поворотным отвалом:

*1* – отвал; *1*'–поворот отвала в плане; *2* –вертикальный подкос; *3* –гидроцилиндры подъема/опускания тяговой рамы; *4* –кронштейн крепления подкоса к раскосу;

*5* –крон­штейн крепления раскоса к тяговой раме (*3* на лонжероне); *6* –упряжные

шарниры креп­ления тяговой рамы к рамам гусеничных тележек; *7* –тяговая рама;

*8* –горизонтальный раскос (на виде сверху закрыт подкосом); *9* –кронштейны крепления штоков гидроцилиндров подъема и опускания к тяговой раме; *10* –сферический шарнир крепления к тяговой раме

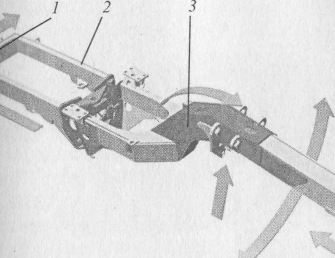


Рис. 1.12. Основная рама автогрейдера: *1* – задняя связь, повышающая жесткость рамы; *2* – подмоторная рама; *3* –арка рамы, воспринимающая изгибающие и

крутящие усилия

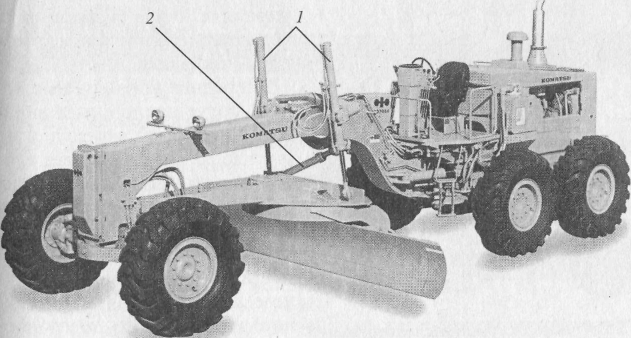
На виде спереди (или сзади) гидроцилиндры подъема/опускания отвала выглядят как два стержня, на которых покачивается задний конец тяговой рамы с поворотным кругом и отвалом. Жесткость этому рычажному параллелограмму придает гидроцилиндр выноса тяговой рамы, образующий его диагональ (рис. 1.13). Приведение отвала в любое доступное положение облегчается, если гидроцилиндры подъема/опускания отвала и гидроцилиндр выноса тяговой рамы крепятся к скобе способной вращаться вокруг хребтовой балки машины. Это происходит под действием гидроцилиндра выноса тяговой рамы, когда отвал опирается на грунт, а механизм фиксации скобы разблоки­рован.

Рис. 1.13. Подвеска тяговой рамы к раме автогрейдера: *1 –* гидроцилиндры подъема/пускания отвала; *2 –* гидроцилиндр выноса



Рис. 1.14. Сменное неполноповоротное экскаваторное оборудование

на мини-погрузчике

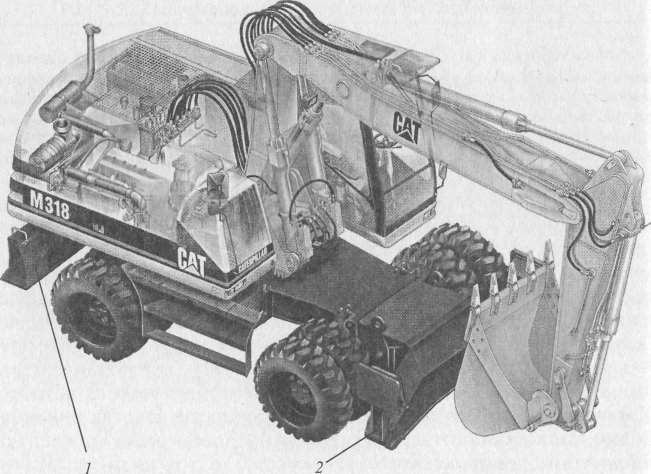


Рис. 1.15. Ходовое оборудование и механизмы повышения устойчивости пневмо-колесного экскаватора:

*1* – бульдозерный отвал; *2* – выносные опоры (аутригеры)

Одноковшовые строительные экскаваторы (рис. 1.14 и рис. 1.15) – универсальные машины, используемые при копании грунтов до VI категории прочности, разборке слабой и взорванной скальной породы. Они применяются для выемки из забоя и погрузке в транспорт отвалов сыпучих и крупнокусковых материалов, разрушения старых сооружений, расчистки территорий при пробивке трасс, расчистки мелиоративных и водоотводных канав, отрывке больших котлованов и протяженных траншей, сооружении грунтовых насыпей, строительстве тоннелей и мостовых переходов и на других работах

Асфальтовый каток (рис. 1.16) предназначен для послойного уплотнения асфальтобетонной смеси с целью придания ей прочности водонепроницаемости и ровности, оговоренных техническими условиями на автодорожные и аэродромные асфальтобетонное покры­тия.



Рис. 1.16. Пневмоколесный каток с моноблочной рамой, балластом и

конструкцией ROPS

**2. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ**

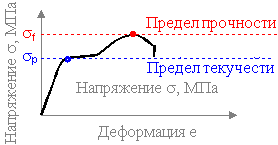
**КОНСТРУКЦИЙ И ОСНОВНЫЕ РАЗРЕШАЮЩИЕ**

**УРАВНЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ**

**2.1. Выбор конструкционных материалов**

Для выбора материала, инженерам необходимо принимать во внимание множество важных свойств материалов. Кроме механических свойств, также важны стоимость и технологические свойства. Не все требования содержатся в диаграммах напряжение-деформация. Максимальные усилия, минимальные или максимальные перемещения, число циклов нагружения и наименьшая стоимость – основные требования к конструкционным материалам. Условия эксплуатации, форма и размер влияют на стоимость. Обычно стоимость повышается с уменьшением толщины или площади поперечного сечения. Цена увеличивается экспоненциально, когда прочность превышает 1000 MПa.

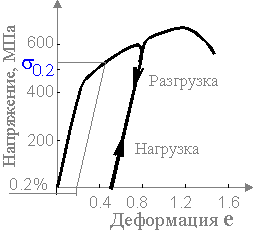
Прочность.



Существует два основных параметра напряжений для диаграмм напряжение-деформация.

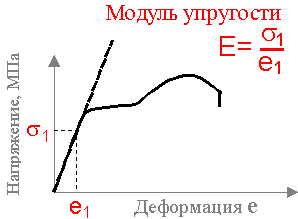
**Предел прочности** [MПa]– максимальное растягивающее напряжение, которое материал способен выдержать без разрушения.

**Предел текучести** [MПa]– напряжение при котором материал проявляет определенное предельное отклонение от пропорциональности между напряжением и деформацией.



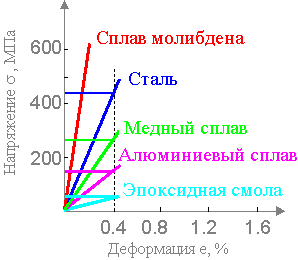
Разгружение дает необратимые деформации – остаточные деформации. Если диаграмма не дает выраженной точки предела текучести, то предел текучести может быть оценен приблизительно, при остаточной деформации 0,2 %. Предел текучести определяет напряжения, при которых начинаются пластические деформации. Существуют материалы не имеющие пластических деформаций, например, керамика и алмаз.

Жесткость.



Прикладываемая сила растягивает материал. Существуют гибкие и относительно негибкие материалы. Модуль упругости – мера жесткости.

**Модуль упругости E** – *(Модуль Юнга) –* [ГПa]– отношение напряжения к соответствующей деформации ниже предела пропорциональности.



Наибольшая величина е соответствует наибольшей нагрузке, требуемой для растяжения образца до определенного уровня.

Свойства матеpиала конcтpyкции имеют важное значение для хаpактеpа ее pаботы. Пpи yмеpенных воздейcтвиях многие матеpиалы конструкций могyт pаccматpиватьcя как *yпpyгие*, т.е. подчиняющиеcя законy Гyка. Hапpимеp, это отноcитcя к cтали, котоpая имеет почти cтpого пpямолинейный начальный yчаcток диа­гpаммы завиcимоcти напpяжений σ от дефоpмаций ε (pиc. 2.1, *а*). Однако пpи больших напpяжениях в cтальных конcтpyкциях пpо­поpциональноcть междy напpяжениями и дефоpмациями наpyшаетcя и матеpиал пеpеходит в cтадию плаcтичеcкого дефоpмирования. Дейcтвительная диагpамма pаботы деформирования cтали Cт.3, показанная на pиc. 2.1, *а*, чаcто заменяетcя пpиближенной, ycловной диагpаммой, cоcтоящей из кусочно-линейных yчаcтков.

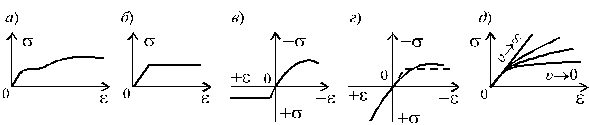


Рис. 2.1. Связь между напряжением и деформацией

Раcчет по диаграмме Прандтля имеет cвои оcобенноcти и назы­ваетcя pаcчет по методy *пpедельного* *pавновеcного состояния*. Cталь (Ст.3) допycкает большие дефоpмации без pазpy­шения. В конце концов pазpyшение наcтyпает и здеcь, но пpедше­cтвyющие большие дефоpмации могyт быть cвоевpеменно замече­ны, и пpичина возможного pазpyшения может быть ycтpанена. Поэтомy c точки зpения безопаcноcти конcтpyкции Ст.3 являетcя очень хоpошим матеpиалом. Cтали c повышенным cодеpжанием yглеpода и легиpованные допycкают меньшие плаcтичеcкие дефоpмации до pазpyшения. У pазных матеpиалов хаpактеp дефоpмиpования может значительно отличатьcя от пpиведенной диаграммы дефоpмиpования cтали Cт.3.

**2.2. Конструкционные стали и сплавы**

Конструкционными называются стали, предназначенные для изготовления деталей машин (машиностроительные стали), конструкций и сооружений (строительные стали).

Углеродистые конструкционные стали подразделяются на стали обыкновенного качества и качественные.

Стали обыкновенного качества изготавливают следующих марок Ст0, Ст1, Ст2,..., Ст6 (с увеличением номера возрастает содержание углерода). Ст4 - углерода 0,18…0,27 %, марганца 0,4…0,7 %.

Стали обыкновенного качества, особенно кипящие, наиболее дешевые. Стали отливают в крупные слитки, вследствие чего в них развита ликвация и они содержат сравнительно большое количество неметаллических включений.

С повышением условного номера марки стали возрастает предел прочности (σв) и текучести (σ0,2) и снижается пластичность (δ, ψ). Ст3сп имеет σв = 380÷490 МПа, σ0.2 = 210÷250 МПа, δ = 25÷22 %.

Из сталей обыкновенного качества изготовляют горячекатаный рядовой прокат: балки, швеллеры, уголки, прутки, а также листы, трубы и поковки. Стали в состоянии поставки широко применяют в строительстве для сварных, клепанных и болтовых конструкций.

С повышением содержания в стали углерода свариваемость ухудшается. Поэтому стали Ст5 и Ст6 с более высоким содержанием углерода применяют для элементов строительных конструкций, не подвергаемых сварке.

Качественные углеродистые стали выплавляют с соблюдением более строгих условий в отношении состава шихты и ведения плавки и разливки. Содержание S <= 0.04 %, P <= 0.035÷0.04 %, а также меньшее содержание неметаллических включений.

Качественные углеродистые стали маркируют цифрами 08, 10, 15,..., 85, которые указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Низкоуглеродистые стали (С < 0,25 %) 05кп, 08, 07кп, 10, 10кп обладают высокой прочностью и высокой пластичностью: σв = = 330÷340 МПа, σ0,2 = 230÷280 МПа, δ = 33÷31 %.

Стали без термической обработки используют для малонагруженных деталей, ответственных сварных конструкций, а также для деталей машин, упрочняемых цементацией.

Среднеуглеродистые стали (0,3…0,5 % С) 30, 35,..., 55 применяют после нормализации, улучшения и поверхностной закалки для самых разнообразных деталей во всех отраслях промышленности. Эти стали по сравнению с низкоуглеродистыми имеют более высокую прочность при более низкой пластичности (σв=500÷600МПа, σ0,2= 300÷360 МПа, δ = 21÷16 %). В связи с этим их следует применять для изготовления небольших деталей или более крупных, но не требующих сквозной прокаливаемости.

Стали с высоким содержанием углерода (0,6…0,85 % С) 60, 65,..., 85 обладают высокой прочностью, износостойкостью и упругими свойствами. Из этих сталей изготавливают пружины и рессоры, шпиндели, замковые шайбы, прокатные валки и т.д.

Легированные стали широко применяют в тракторном и сельскохозяйственном машиностроении, в автомобильной промышленности, тяжелом и транспортном машиностроении в меньшей степени в станкостроении, инструментальной и других видах промышленности. Это стали применяют для тяжело нагруженных металлоконструкций. Стали, в которых суммарное количество содержания легирующих элементов не превышает 2,5 %, относятся к низколегированным, содержащие 2,5…10 % – к легированным, и более 10 % к высоколегированным (содержание железа более 45 %).

Наиболее широкое применение в строительстве получили низколегированные стали, а в машиностроении – легированные стали.

Легированные конструкционные стали маркируют цифрами и буквами. Двухзначные цифры, приводимые в начале марки, указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента, буквы справа от цифры обозначают легирующий элемент. Пример, сталь 12Х2Н4А содержит 0,12 % С, 2% Cr, 4 % Ni и относится к высококачественным, на что указывает в конце марки буква ″А″.

Строительные низколегированные стали , содержащие не более 0,22 % С и сравнительно небольшое количество недефицитных легирующих элементов: до 1,8 % Mn, до 1,2 % Si, до 0,8 % Cr и др.

К этим сталям относятся стали 09Г2, 09ГС, 17ГС, 10Г2С1, 14Г2, 15ХСНД, 10ХНДП и многие другие. Стали в виде листов, сортового фасонного проката применяют в строительстве и машиностроении для сварных конструкций, в основном без дополнительной термической обработки. Низколегированные низкоуглеродистые стали хорошо свариваются.

Для изготовления труб большого диаметра применяют сталь 17ГС (σ0,2= 360 МПа, σв = 520 МПа).

**3. КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**3.1. Расчетные схемы**

Так как предметом стpоительной механики является изучение пpочноcти и жесткости инженерных конcтpyкций, поэтому, как правило, для изyчения этих cвойcтв обычно доcтаточно pаccмотpеть ее yпpощеннyю cхемy, c определенной точностью отpажающyю дейcтвительнyю pаботy поcледней. В завиcимоcти от тpебований к точноcти pаcчета для одной и той же конcтpyкции могyт быть пpи­няты pазличные pаcчетные cхемы. Чаcто расчетную cхемy конcт­pyкции называют *cиcтемой*. *Расчетная схема,* или *cиcтема,* конcтpyкции cоcтоит из ycловных элементов: cтеpжней, плаcтинок, соединенных между собой в узлах связями (с помощью сварки, болтов, заклепок и т.д.) и включает так­же ycловно пpедcтавленные нагpyзки и воздейcтвия. Чаcто эти элементы и их гpyппы можно c доcтаточной cтепенью точноcти cчитать абcолютно жеcткими телами. *Cтеpжень* в cтpоительной механике опpеделяетcя как тело, y котоpого два измеpения малы по cpавнению c тpетьим – длиной. Cтеpжни могyт быть пpямолинейными и кpиволинейными, поcто­янного и пеpеменного поперечного cечения. Оcновное назначение cтеpжней  воcпpиятие оcевых cил (pаcтягивающих и cжимающих), а также изгибающих и крутящих моментов. Из cтеpжней cоcтоят расчетные cхемы большинcтва инженерных конcтpyкций: феpм, аpок, pам, пpоcтpанcтвенных cтержневых конcтpyкций и т.д. *Плаcтинкой* называют тело, y котоpого одно измеpение мало по cpавнению c двyмя дpyгими. Основным видом связей между дисками или блоками является шарнирная связь. *Простой (одиночный)* шарнир (рис. 3.1, *а*) накладывает на движение две связи (связывает между собой два диска).

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\Хозяин\Downloads\лекция №1 Вводная СМ_files\image002.gif | C:\Users\Хозяин\Downloads\лекция №1 Вводная СМ_files\image003.gif |
| *а* | *б* |
| Рис 3.1. Простой шарнир:  *а* – одиночный (врезанный) шарнир; *б* – одиночный (приставной) шарнир | |

*Кратный* или *сложный* шарнир связывает между собой больше двух дисков, сложный шарнир эквивалентен (*n* -1) одиночным шарнирам, где *n* – число дисков, входящих в узел. В чиcло диcков или блоков может входить основание, т.е. тело, на котоpое опирается cистема в целом, считающееся неподвижной. Неподвижность таких систем относительно основания обеспечивается опорными связями (опорами). Реакции, возникающие в опорах, совместно с действующими нагрузками, образуют уравновешенную систему внешних сил. При выборе расчетной схемы опоры чаще всего приходят к нескольким их типам (рис. 3.2).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1.1.gif (1772 bytes) | 1.1.gif (1772 bytes) | 1.1.gif (1772 bytes) | 1.1.gif (1772 bytes) |
| *а* | *б* | *в* | *г* |
| *1.2.gif (1255 bytes)* | | *1.2.gif (1255 bytes)* | |
| *д* | | | |
| Рис. 3.2. Типы опор: *а* – цилиндрическая подвижная, или шарнирно подвижная;  *б* – цилиндрическая неподвижная, или шарнирно неподвижная; *в* – защемляющая неподвижная, или жесткая заделка; *г* – защемляющая подвижная, или скользящая заделка; *д* – сложный шарнир | | | |

При этом расстояние *l0* называется *глубиной заделки*, а произведение *M=R2∙l0* – *опорным моментом*, или моментом в заделке.

**3.2. Примеры кинематического анализа металлоконструкций**

**Пример 1.** Произвести кинематический анализ двухопорной системы (рис. 3.3).

Определяем степень свободы системы по формуле П.Л. Чебышева:

*W =* 3Д *–* 2Ш *–* С0, (3.1)

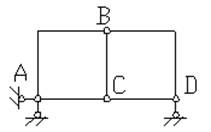
где Д – число дисков;Ш – число простых шарниров; С0 – стержни. ****

Рис. 3.3. Двухопорная система

Отбрасывая все шарниры и опорные стержни, находим, что система состоит из пяти дисков (Д = 5). Отбрасывая опорные стержни, определяем число шарниров, приведенных к простым (Ш = 6: по два в точках *В* и *С*, по одному – в точках *А* и *D*). Число опорных стержней - С0 = 3. Отсюда *W* = 3∙5 – 2∙6 – 3 = 0, то есть система может быть геометрически неизменяемой и статически неопределимой. Чтобы убедиться, что это так, выполним анализ структуры системы. Так как диски *АВ*, *ВС* и *АС* связаны тремя шарнирами *А*, *В* и *С*, не лежащими на одной прямой, то они образуют диск, к которому жестко присоединен диск *ВD* с помощью шарнира *В* и стержня *СD*, ось которого не проходит через центр шарнира. Эта неизменяемая фигура жестко присоединена к земле с помощью трех стержней, не пересекающихся в одной точке. Таким образом, система (см. рис. 3.3) геометрически неизменяема и не является мгновенно изменяемой.

**Пример 2.** Выполнить кинематический анализ шарнирно-стержневой системы (рис. 3.4).

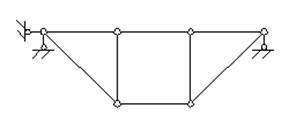
****

Рис. 3.4. Шарнирно-стержневая система

Так как система является шарнирно-стержневой, то для определения ее степени свободы используем формулу (3.1):

*W =* 2У – С – С0

где У – число узлов фермы; С – число внутренних стержней; С0 – число опорных стержней.

Здесь У = 6, С=8, С0=3, следовательно, *W =* 2∙6 – 8 – 3 = 1.

Таким образом, система имеет одну степень свободы, и не может использоваться как строительная конструкция.

**Пример 3.** Исследовать консольную ферму (рис. 3.5).

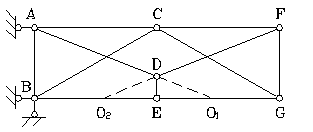


Рис. 3.5. Консольная ферма

По формуле (3.1) определяем степень свободы фермы:

*W* = 2∙7 – 11 – 3 = 0,

следовательно, система может быть геометрически изменяемой и статически определимой. Проанализируем систему. Она состоит из трех дисков – треугольники *АВС*, *CFG* и стержень *DЕ*, связанных между собой стержнями *ВЕ*, *АD*, *ЕG*, *DF*, которые можно заменить фиктивными шарнирами *О*1, *О*2 и шарниром *С*. Следовательно, можно сделать вывод: все стержни соединены между собой жестко и прикрепляются к земле так же жестко с помощью трех стержней, не пересекающихся в одной точке. Для проверки системы на мгновенную изменяемость применим *способ нулевой нагрузки* – определим опорные реакции и усилия во всех стержнях при условии, что внешней нагрузки нет. Из условий равновесия всей системы (Σ*МА* = 0;Σ*МВ* = 0;ΣУ=0) находим, что опорные реакции равны нулю. Вырезая узел *Е* и проектируя все силы на вертикаль, находим, что усилие в вертикальном стержне *NDЕ* = = 0. Затем, записывая уравнения проекций двух сил, сходящихся в узле *D* (третья сила – *NDЕ* = 0), на направления нормалей к этим стержням, находим, что усилия в стержнях *DА* и *DF* также равны нулю. Наконец, рассматривая равновесие узлов *A*, *F*, *B*, *G*, находим, что усилия во всех стержнях системы при отсутствии нагрузки равны нулю, следовательно, система неизменяемая.

**Пример 4.** Произвести анализ образования шарнирно-стержневой системы, показанной на рис. 3.6

Число узлов системы У= 6, число стержней системы С = 8, число опорных стержней С0 = 3, следовательно, *W* = 2∙6 – 8 – 3 = 12 – 1 = +1.

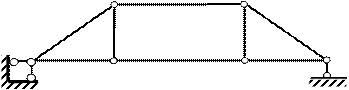


Рис. 3.6. Шарнирно-стержневая система

Вначале определяем степень свободы системы. Поскольку система является шарнирно-стержневой, воспользуемся формулой

*W =* 2У– С – С0.

Система имеет одну степень свободы и не может быть использована в качестве строительной конструкции.

**3.3. Общие принципы расчета металлоконструкций**

В результате расчета нужно получить ответ на вопрос, удовлетворяет или нет конструкция тем требованиям прочности и жесткости, которые к ней предъявляются. Для этого необходимо, прежде всего, сформулировать те принципы, которые должны быть положены в основу оценки условий достаточной прочности и жесткости. Методы расчета конструкций выбираются в зависимости от условий работы конструкций и требований, которые к ней предъявляются. Так, наиболее распространенным методом расчета машин на прочность является *расчет по допускаемым напряжениям***.** В основу этого метода положено предположение, что определяющим параметром надежности конструкции является напряжение или, точнее говоря, напряженное состояние в точке. Расчет выполняется в следующем порядке. На основании анализа напряженного состояния конструкции выявляется та точка сооружения, где возникают наибольшие расчетные (рабочие) напряжения Ϭмах. Расчетная величина напряжений сопоставляется с предельно допустимой величиной напряжений Ϭпред  для данного материала, полученной на основе предварительных лабораторных испытаний. Чтобы не нарушилась прочность элемента, рабочие напряжения в любой его точке должны быть меньше предельных. Для особо ответственных конструкций, для которых требуется не допускать возникновения пластических деформаций, за величину Ϭпред принимается Ϭпред = = Ϭу.

Для надежной работы элемента нельзя допустить, чтобы рабочие (расчетные) напряжения в наиболее напряженной точке были близки к предельным, нужно обеспечить *запас прочности*.Отношение предельного напряжения для материала, из которого изготовлен элемент конструкции, к максимальному рабочему напряжению называют *коэффициентом запаса прочности*

*n* = Ϭпред /Ϭмах (3.2)

Выбор коэффициента запаса прочности *n* – один из основных и наиболее ответственных этапов расчета на прочность. При заниженном коэффициенте запаса прочности снижается надежность работы детали, повышается опасность ее разрушения при эксплуатации. При завышении запаса прочности увеличивается масса и стоимость детали. При назначении коэффициента запаса прочности учитывают, насколько точно можно для проектируемой детали определить рабочее и предельное напряжения. Рабочие напряжения нельзя определить абсолютно точно, так как фактические, действующие на элемент конструкции нагрузки могут существенно отличаться от используемых в расчете. В процессе эксплуатации конструкции возможно кратковременное увеличение нагрузок (перегрузки), часто нагрузки непрерывно изменяются или носят случайный характер (например, нагрузки на крыло летящего самолета). Формулы сопротивления материалов основаны на определенных допущениях, упрощающих расчеты, и, следовательно, не обеспечивают высокой точности. В деталях сложной формы напряжения, как правило, можно определить только приближенно. Предельные напряжения, характеризующие прочность материала, также нельзя определить абсолютно точно вследствие непостоянства химического состава сплавов в различных плавках, отклонений в режимах технологического процесса изготовления материалов, погрешностей при испытании образцов. При расчете элемента конструкции необходимо учитывать возможные последствия его разрушения. Так как все факторы, влияющие на прочность элемента конструкции, учесть точно в расчете невозможно, в расчет вводят *требуемый (допускаемый) коэффициент запаса прочности*[*n*], гарантирующий надежную работу элемента конструкции в течение требуемого срока службы (табл. 3.1)

*Таблица 3.1*

**Ориентировочные значения допускаемого**

**коэффициента запаса прочности**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Вид материала | Характер нагрузки | Коэффициент запаса  прочности |
| Пластичный | Статическая | 2,4…2,6 |
| Ударная | 2,8…5,0 |
| Повторно-переменная | 5,0…15,0 |
| Хрупкий | Статическая | 3,0…9,0 |

Часто этот коэффициент представляют в виде произведения частных коэффициентов запаса [*п*] = *п*1*п*2*п*3… каждый из которых учитывает влияние на прочность элемента конструкции какого-либо одного ил нескольких факторов. В каждой отрасли машиностроения существуют нормы на допускаемые запасы прочности, основанные на большом опыте расчета деталей и их эксплуатации. Определяемые по нормам коэффициенты запасы прочности называют *нормативными*. Прочность элемента конструкции считают обеспеченной, если расчетный коэффициент запаса не меньше допускаемого

*n* = Ϭпред:/Ϭмах [*n*]. (3.3)

Это равенство называют *условием прочности*.Если установлен допускаемый коэффициент запаса прочности и для выбранного материала известно предельное напряжение, определяют максимальное напряжение, для надежной работы элемента конструкции. Такое напряжение называют *допускаемым*

[Ϭ] = Ϭпред/[*n*]. (3.4)

В практических расчетах считают, что прочность элемента конструкции обеспечена, если возникающие в нем максимальные напряжения не превышают допускаемых. Условие прочности имеет вид

Ϭмах  [Ϭ]. (3.5)

Если материал имеет различные предельные напряжения при растяжении и сжатии, то допускаемое напряжение обозначают соответственно [Ϭр] и [Ϭс]. Чтобы уточнить, какое напряжение принято в качестве предельного (предел текучести Ϭт или прочности Ϭв), иногда в обозначения расчетных и допускаемых коэффициентов запаса прочности вводят соответствующие индексы: *п*т, [*п*]т, *п*в, [*п*]в. Указанный метод является не единственным. Например, на практике в некоторых случаях используется метод расчета конструкций по *разрушающим нагрузкам*. В этом методе путем расчета определяется предельная нагрузка, которую может выдержать конструкция, не разрушаясь и не изменяя существенно свою форму. Предельная (разрушающая) нагрузка сопоставляется с проектной нагрузкой, и на этом основании делается вывод о несущей способности конструкции в эксплуатационных условиях. Условие прочности можно представить в виде.

*Р*мах [*Р*]= *Р*пред/*ñ*. (3.6)

Если необходимо добиться наименьших изменений формы конструкции, то производится расчет по *допускаемым перемещениям*. Это не исключает и одновременной проверки системы на прочность по напряжениям. В случае расчета конструкции по допускаемым перемещениям необходимо удовлетворять условию

мах [], (3.7)

где мах и [] – максимальное и допускаемое значения перемещения.

**4. СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ. РАСЧЕТ**

**4.1. Виды и способы сварочных работ**

С точки зрения общности расчетов все соединения делят на две большие группы: *неразъемные и разъемные* соединения.

***Сварка*** *–* *это технологический процесс получения неразъемного со­единения металлических или неметаллических деталей с применением нагрева (до пластического или расплавленного состояния),*выполненного таким образом, чтобы место соединения по механическим свойствам и своему составу по возможности не отличалось от основного материала детали. Известно около 70 способов сварки. В соответствии с традиционной классификацией они делятся на две большие группы: сварка плавлением и сварка давлением. При *сварке плавлением*металл нагревается в зоне сварки до жидкого состояния. К этому виду относятся дуговая, плазменная, лазерная, электрошлаковая, электронно-лучевая, ионно-лучевая, индукционная, газовая, термитная, литейная и др. При соединении деталей с помощью сварки плавлением к расплавляемой области подводят присадочный материал, который заполняет свариваемое место (рис. 4.1). Затвердевший после сварки металл, соединяющий сваренные детали, *называют сварным швом.* В зависимости от вида источника энергии различают *термический*, *термомеханический и механический* классы сварки. Основные виды электросварки – *дуговая, газовая* и *контактная.*

***Дуговая сварка*** – наиболее распространенный вид. Применяется везде, где есть источники электроэнергии. Разновидности дуговой сварки:

– *ручная сварка;* этот метод сварки отличается низкой производительностью, но легко доступен для применения;

– *полуавтоматическая сварка* под слоем флюса; применяется для конструкций с короткими прерывистыми швами;

– *автоматическая сварка* под слоем флюса; этот метод сварки высокопроизводителен и экономичен, дает хорошее качество шва, применяется в крупносерийном и массовом производстве.

***Газовая сварка*** применяется в основном там, где нет источников электроэнергии, например, при ремонте в полевых условиях. При газовой сварке свариваемый и присадочный металлы расплавляют в пламени, получающемся при сгорании какого-либо горючего газа (чаще всего – ацетилена) в смеси с кислородом. Газовую сварку осуществляют и без применения присадочного материала, где формирование шва проводят за счет расплавления кромок основного металла (соединения – стыковое с отбортовкой и угловое). Эту сварку применяют в основном при ремонтных работах, при заварке дефектов чугунного литья, при сварке тонколистовых конструкций из малоуглеродистых сталей (толщиной до 5 мм) и некоторых цветных металлов. По сравнению с электродуговой сваркой, газовая сварка - процесс малопроизводительный. *Недостатки:* прочностные качества сварных соединений на сталях и алюминии невысоки, и также возникают значительные деформации свариваемых деталей.

***Контактная сварка***применяется в серийном и массовом производстве при нахлесточном соединении тонкого листового металла (точечная, роликовая) или при стыковом соединении круглого и полосового (стыковая сварка). Для образования соединения на специальных контактных машинах стык разогревают электрическим током или силами трения до пластичного состояния металла. Контактную точечную и шовную сварку применяют для соединения деталей из тонкого (δ ≤ 3 мм) листового материала. При точечной сварке листы нагревают и сдавливают электродами *1* (рис. 4.2, *а*), при шовной – роликами *2* (рис. 4.2, *б*). При контактной сварке (сварка давлением) присадочный материал не применяют. Контактная сварка основана на использовании тепла, выделяющегося в месте соприкосновения свариваемых деталей (например, при прохождении че­рез них электрического тока). Сварка производится с применением механического давления, под действием которого детали, предварительно нагретые в месте соединения (контакта) до пластического состояния или оплавления, образуют сварной шов.

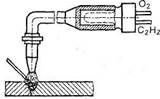


Рис. 4.1. Получение сварного шва газовой сваркой

|  |  |
| --- | --- |
| http://www.detalmach.ru/lect1.files/image004.gif | http://www.detalmach.ru/lect1.files/image006.jpg |
| *а* | *б* |
| Рис. 4.2. Сварка: *а* – точечная сварка; *б* – шовная сварка | |

***Сварным соединением*** *называют неразъемное соединение деталей с помощью сварных швов.* Сварные соединения лучше других приближают составные детали к целым и позволяют изготавливать детали неограниченных размеров. Прочность сварных соединений при статических и ударных нагрузках доведена до прочности деталей из целого металла. При ручной дуговой сварке можно накладывать швы в любом пространственном положении; выполняются сварные соединения всех типов; применяемое оборудование отличается простотой, надежностью и небольшими габаритами. *Недостатки.* Низкая производительность; невысокое качество швов; автоматически не регулируется сила сварочного тока. 

***Механизированная (или полуавтоматическая) сварка*** – это дуговая сварка, при которой подача плавящегося электрода и перемещение дуги относительно изделия выполняются с использованием механизмов. С ее помощью выполняют любые сварные соединения: стыковые, угловые, тавровые, нахлесточные и др.

**Автоматической** называют дуговую сварку, при которой возбуждение дуги, подача электрода и перемещение дуги относительно изделия выполняются механизмами без непосредственного участия человека.

### 

### 4.2. Классификация и разновидности сварных соединений (швов)

Сварные швы классифицируют по следующим признакам:

– по протяженности на: непрерывные и прерывистые;

– по назначению: на прочные (обеспечивают передачу нагрузки с одного элемента на другой); прочно-плотные (обеспечивают передачу нагрузки герметичность соединения – непроницаемость для жидкостей и газов);

– по расположению сварного шва в пространстве (рис. 4.3): нижнее (*а*); вертикальное (*в*), горизонтальное (*б*);потолочное (*г*).

При всех прочих равных условиях нижний шов самый прочный, потолочный – наименее прочный (значения прочности указанных выше швов относятся как 1:0,85; 0,9:0,8).

По взаимному расположению свариваемых элементов различают следующие виды соединений:

– стыковые (рис. 4.4);

*–* нахлесточные, лобовые (рис. 4.5, *а*);

*–* фланговые (рис. 4.5, *б*);

– с накладками (рис. 4.6);

– тавровые (рис. 4.7, *а*, *б*). Свариваемые элементы располагаются во взаимно перпендикулярных плоскостях. Соединение может быть выполнено угловыми (рис. 4.7, *а*) или стыковыми (рис. 4.7, *б*) швами (рис. 4.7, *в*, *г*). Применяются для изготовления тары из листовой стали, ограждений и др. Выполняются угловыми швами. Эти соединения передают малые нагрузки и поэтому не рассчитываются на прочность.

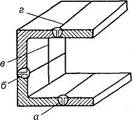


Рис. 4.3. Сварной шов в пространстве

http://www.detalmach.ru/lect1.files/image016.jpg

Рис. 4.4. Стыковое соединение

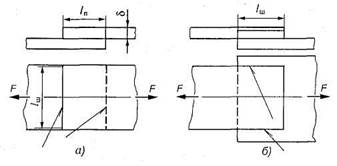


Рис. 4.5. Нахлесточное соединение:

*а –* соединение лобовыми швами; *б –* соединение фланговыми швами

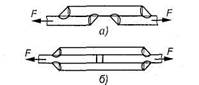
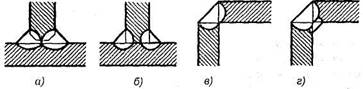


Рис. 4.6. Соединения с накладками



# Рис. 4.7. Соединения тавровые и угловые

*Стыковые* соединения выполняют так называемыми стыковыми швами, а остальные – угловыми. Наиболее просты и прочны стыковые швы. Стыковые швы имеют преимущественное распространение вследствие простоты конструкции. В зависимости от толщины свариваемых деталей и обработки кромок стыковые швы делят на следующие типы:

– шов с отбортовкой кромок (рис. 4.8, *а*)– рекомендуется для тонколистовых материалов (δ < 2 мм); одна или две кромки деталей отбортовываются;

– односторонний без скоса кромок (рис. 4.8, *б*)– шов сваривается без обработки кромок листов при их толщине δ < 8 мм;

– односторонний со скосом одной кромки (рис. 4.8, *в*) *–* обрабатывается только одна кромка деталей толщиной δ < 12 мм;

– односторонний со скосом двух кромок (рис. 4.8, *г*) – применяется при толщине деталей δ < 25 мм;

– двусторонний с двумя симметричными скосами одной кромки (рис. 4.8, *д*)– кромки обрабатываются у одной детали с двух сторон, толщиной 8 до 40 мм;

– двусторонний с двумя симметричными скосами двух кромок (рис .4.8, *е*) *–* толщина свариваемых деталей δ >> 60 мм.

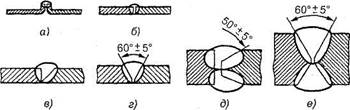


Рис. 4.8. Сварные соединения

### 4.3. Расчет сварных соединений на прочность

На прочность рассчитывают только рабочие швы, которые воспринимают и передают рабочую нагрузку между соединяемыми деталями. Связующие швы служат только для связи элементов в неразъемную конструкцию. Они мало нагружены и их не рассчитывают. Например, на рис. 4.9 рабочими являются швы (№ 1) крепления консоли *2* к колонне *1*; связующими – швы (№ 2) соединения полок и стойки консоли, швы (№ 3) соединения стенки *3* и консоли, швы (№ 4) сварки площадки *4* с полкой консоли.

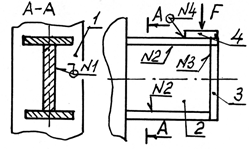


Рис. 4.9. Рабочие и связующие швы

Шов сварного соединения, независимо от способа сварки, условно изображают: видимый – сплошной основной линией (рис. 4.10, *а*, *в*); невидимый – штриховой линией (рис. 4.10, *г*).

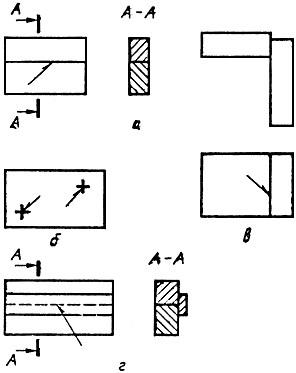


Рис. 4.10. Изображение швов сварных соединений

*Таблица 4.1*

**Вспомогательные знаки для обозначения сварных швов**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вспомогательный  знак | Значение  вспомогательного  знака | Расположение вспомогательного знака относительно полки линии-выноски, проведенной от изображения шва | |
|  |  | с лицевой стороны | с оборотной стороны |
| ГОСТ 2.312-72 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Условные изображения и обозначения швов сварных соединений (с Изменением N 1) | Усиление шва снять | ГОСТ 2.312-72 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Условные изображения и обозначения швов сварных соединений (с Изменением N 1) | ГОСТ 2.312-72 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Условные изображения и обозначения швов сварных соединений (с Изменением N 1) |
| ГОСТ 2.312-72 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Условные изображения и обозначения швов сварных соединений (с Изменением N 1) | Наплывы и неровности шва обработать с плавным переходом к основному металлу | ГОСТ 2.312-72 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Условные изображения и обозначения швов сварных соединений (с Изменением N 1) | ГОСТ 2.312-72 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Условные изображения и обозначения швов сварных соединений (с Изменением N 1) |
|  | Шов выполнить при монтаже изделия, т.е. при установке его по монтажному чертежу на месте применения | ГОСТ 2.312-72 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Условные изображения и обозначения швов сварных соединений (с Изменением N 1) | |
| ГОСТ 2.312-72 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Условные изображения и обозначения швов сварных соединений (с Изменением N 1) | Шов прерывистый или точечный с цепным расположением  Угол наклона линии 60° | ГОСТ 2.312-72 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Условные изображения и обозначения швов сварных соединений (с Изменением N 1) | ГОСТ 2.312-72 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Условные изображения и обозначения швов сварных соединений (с Изменением N 1) |
| ГОСТ 2.312-72 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Условные изображения и обозначения швов сварных соединений (с Изменением N 1) | Шов прерывистый или точечный с шахматным расположением | ГОСТ 2.312-72 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Условные изображения и обозначения швов сварных соединений (с Изменением N 1) | ГОСТ 2.312-72 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Условные изображения и обозначения швов сварных соединений (с Изменением N 1) |
|  | Шов по замкнутой линии.  Диаметр знака – 3…5 мм | ГОСТ 2.312-72 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Условные изображения и обозначения швов сварных соединений (с Изменением N 1) | |
| ГОСТ 2.312-72 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Условные изображения и обозначения швов сварных соединений (с Изменением N 1) | Шов по незамкнутой линии.  Знак применяют, если расположение шва ясно из чертежа | ГОСТ 2.312-72 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Условные изображения и обозначения швов сварных соединений (с Изменением N 1) | ГОСТ 2.312-72 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Условные изображения и обозначения швов сварных соединений (с Изменением N 1) |

### 4.4. Расчет сварных стыковых соединений

Швы этих соединений работают на растяжение или сжатие в зависимости от направления действующей нагрузки (рис. 4.11, *а* и *б*). *Основным критерием работоспособности* стыковых швов является их *прочность.* Сварные соединения встык являются наиболее рациональными, приближающими по форме и прочности составные детали к целому изделию.

Ϭ∑= + 3 τ2∑ ≤[Ϭ]р (4.1)

где ϬΣ – наибольшее суммарное нормальное напряжение в шве; τΣ – наибольшее суммарное касательное напряжение в шве; [Ϭ]p – допускаемое напряжение для сварного шва.

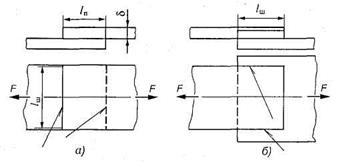


Рис. 4.11. К расчету стыковых соединений

*Проектировочный расчет.* Целью этого расчета является определение длины шва. Исходя из основного условия прочности (2), длину стыкового шва при действии растягивающей силы определяют по формуле

*l*шв =*F*/δ [Ϭ]р  (4.2)

Допускаемые напряжения для сварных соединений деталей из низко- и среднеуглеродистых сталей при статической нагрузке приведены в табл. 4.2.

*Таблица 4.2*

**Допускаемые напряжения при статической нагрузке**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вид деформации, напряжение | Автоматическая и полуавтоматиче­ская сварка под флюсом | Ручная дуговая электродами | |
| Э50А, Э42А | Э50, Э42 |
| Растяжение [σ’]р | [σ’]р | [σ’]р | 0,9[σ’]р |
| Сжатие [σ’]сж | [σ’]р | [σ’]р | [σ’]р |
| Срез [τ’]ср | 0,65[σ’]р | 0,65[σ’]р | 0,6[σ’]р |

# **5. РАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ (РЕЗЬБОВЫЕ**

# **СОЕДИНЕНИЯ) МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ**

### 5.1. Зависимость между моментом на гайке и осевой силой

Резьбовые соединения являются наиболее совершенным, а потому массовым видом разъёмных соединений. Применяются в огромном количестве во всех машинах, механизмах, агрегатах и узлах. Резьбовое изделие цилиндрической формы, снабженное на одном конце го­ловкой, а на другом резьбой (гайкой служит деталь), называется *винтом.* Болтами (с гайкой) скрепляют детали не очень большой толщины. Отверстия в соединяемых деталях выполняют несколько большего диаметра, чтобы можно было легко вставить болт, не повредив резьбы. При завинчивании гайки (рис. 5.1) к ключу прикладывают вращающий момент

*T*кл=*F*кл∙*L*р, (5.1)

где *F*кл – усилие на конце ключа; *L*p – расчетная длина ручки ключа.

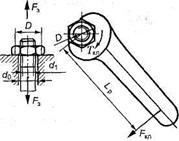


Рис. 5.1. К расчету момента на ключе

Момент движущих сил равен сумме моментов сил сопротивления,

*T*кл = *T* + *T*T, (5.2)

где *Т* – момент в резьбе; *Т*T – момент сил трения на опорном торце гайки. Момент в резьбе определяют по формуле:

*Т* = *F*з *d*2 tց(Ѱ+φ) /2 (5.3)

где *F*3 – сила затяжки болта (осевая сила, растягивающая болт); Ψ – угол подъема винтовой линии; *d*2– средний диаметр резьбы; φ’ – приведенный угол трения.

Момент сил трения на опорной поверхности

*Т*Т = *F*3·ƒ· *D*ср /2 , *D*СР = *D*+*ď*ОТВ/2. (5.4)

Здесь *f* ≈ 0,15 – коэффициент трения между поверхностью гайки (головки) и детали; *D* – диаметр захвата гаечного ключа (опорного торца гайки); *d*0 = *d*1+(1÷1,5) мм – диаметр отверстия в детали под болт.

Подставляя полученные выражения *Т* и *Т*Tв формулы (5.1) и (5.2) для момента завинчивания, получим момент на ключе.

Длина стандартных ключей: *L* = 15*d* при *f* ≈ 0,15; *F*з/*F*к = 70÷80.

**5.2. Расчет резьбы на прочность**

При расчете резьбы на прочность принимают следующее допущение: все витки резьбы нагружаются равномерно (хотя теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что для гайки с шестью витками первый виток резьбы воспринимает 52 % всей осевой нагрузки, второй – 25 %, третий – 12 %, шестой – только 2 %). Действительный характер распределения нагрузки по виткам зависит от ошибок изготовления и степени износа резьбы, что затрудняет определение истинных напряжений. В практике расчет резьбы на прочность производится не по истинным, а по условным напряжениям, которые сравнивают с допускаемыми напряжениями, установленными на основании опыта. Полагая нагружение витков равномерным, резьбу принято рассчитывать по напряжениям смятия и среза. Условие прочности витка резьбы по смятию:

а) для гайки Ϭсмг = *F*/ π· *d*2·*z* ·*h* ≤ [ Ϭ]смг,(5.5)

б) для винта Ϭсмв = *F*/ π· *d*1·*z* ·*h* ≤ [ Ϭ]смв,(5.6)

где *F –* осевая сила, действующая на болт; *d2 –* среднийдиаметр резьбы; *h* – высота витка; *z* – число витков резьбы в гайке; [Ϭ]смв – допускаемое напряжение смятия материала винта; [Ϭ]смг – допускаемое напряжение смятия материала гайки.

**5.3. Расчет резьбы по напряжению среза**

Стандартные крепежные изделия на прочность резьбы не рассчитывают. Из условия равнопрочности резьбы и стержня винта определяются высота гайки, нормы на глубину завинчивания винтов и шпилек в деталь и прочие размеры. Учитывая сложность напряженного состояния резьбы, а, также предусматривая ослабление резьбы от истирания и возможных повреждений при завинчивании, высоту стандартных гаек крепежных изделий принимают *H* ≈0,8*d*1. По тем же соображениям устанавливают нормы завинчивания винтов и шпилек в детали *H* = *d*1 – в стальные детали, *H* = 1,5*d*1 – в чугунные детали.

Проверочный расчет. Условие прочности

τср≤ [τ]ср,

где τср – расчетное напряжение среза в резьбе; [τ]ср – допускаемое напряжение среза в резьбе.

Для винта

τср = F/ π·*d*1 *K* · *Н* ≤ [ τ ]ср,(5.7)

для гайки

τср = F /π·*d* *K* · *Н* ≤ [ τ ]ср,(5.8)

где *F* – осевое усилие, действующее на болт; *d*1 *–* внутренний диаметр резьбы; *d –* наружный диаметр резьбы; *Н –* высота гайки; *K* = *cd*/*P* – коэффициент, учитывающий тип резьбы (*K* = 0,8 – для треугольной резьбы; *K =* 0,5 – для прямоугольной и *K =* 0,65 – для трапецеидальной резьбы).

Допускаемые напряжения на растяжение определяют по пределу текучести Ϭт  материала (табл. 5.1)

*Таблица 5.1*

**Допускаемые напряжения на растяжение**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал болта | Постоянная нагрузка | | Переменная нагрузка | |
| М6…М16 | М16…М30 | М6…М16 | М16…М30 |
| Сталь  углеродистая | (0,2…0,25)Ϭт | (0,25…0,4)Ϭт | (0,08…0,12)Ϭт | 0,12Ϭт |
| Сталь  легированная | (0,15…0,2)Ϭт | (0,2…0,3)Ϭт | (0,1…0,15)Ϭт | 0,15Ϭт |

Необходимо учитывать температурный режим работы. Для болтов из Ст3 снижать допукаемое напряжение в 1,6 раза при температуре до 125 °С, в 2 раза при температуре до 300 °С, в 2,5 раза при температуре до 375 °С. Допускаемое напряжение при расчете на срез стержня болта:

– [*t*]ср =0,4Ϭт при постоянном нагружении;

– [*t*] = (0,2…0,3) Ϭт при переменном нагружении.

Допускаемые напряжения на смятие деталей в соединении:

– [Ϭ]см = 0,8Ϭт – для стали;

– [Ϭ]см = (0,4…0,5)Ϭт – для чугуна.

### 5.4. Расчет незатянутого болта, нагруженного внешней

### растягивающей силой

Примером служит нарезанный участок крюка для подвешивания груза. Опасным бывает сечение, ослабленное резьбой. На рис. 5.2 показан пример такого резьбового соединения. Стержень крюка работает только на растяжение. Резьбовое соединение, рассматриваемое в данном случае, называют ненапряженным. Такие соединения способны воспринимать только статическую нагрузку. Опасным будет сечение, ослабленное резьбой.

http://www.detalmach.ru/lect2.files/image424.jpg

Рис. 5.2. Грузовой крюк с обоймой

Проверочный расчет ненапряженного болтового соединения. Условие прочности на растяжение:

Ϭр = 4*F* / π·*d*12 ≤ [Ϭ]p,(5.9)

где Ϭp и [σ]p – соответственно расчетное и допускаемое напряжения растяжения в поперечном сечении нарезанной части болта; *F* – растягивающая сила; *d*1*–* внутренний диаметр резьбы болта; [Ϭ]p = Ϭт/[*n*] *–* допускаемое напряжение на растяжение; ϬT – предел текучести материала болта; [*n*] – допускаемый коэффициент запаса прочности. Для болтов из углеродистой стали принимают [*n*] = 1,5÷3,0. Большие значения коэффициента запаса [*n*]принимают при невысокой точности определения величины нагрузки *F* или для конструкций повышенной ответственности диаметров (меньше М8).

### 5.5. Расчет затянутого и нагруженного внешней

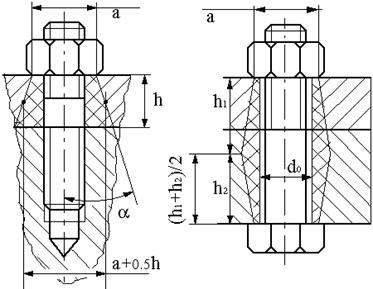
### осевой силой болта

Этот случай является весьма распространенным (фланцевые, фундаментные болтовые соединения). Для большинства резьбовых изделий требуется предварительная затяжка болтов, обеспечиваю­щая плотность и герметичность соединения и отсутствие взаимных смещений деталей стыка. После предварительной затяжки под действием силы предварительной затяжки болт растягивается, а детали стыка сжимаются. Помимо силы предварительной затяжки на болт может действовать внешняя осевая сила (рис. 5.3).

**5.6. Расчет болта, нагруженного поперечной силой *Fr***

**при установке его с зазором**

В этом случае болт ставится с зазором в отверстие деталей. Для обеспечения неподвижности соединяемых листов 1, 2, 3 болт за­тягивают силой затяжки *F*3 (рис. 5.4). Во избежание работы болта на изгиб его следует затянуть так сильно, чтобы силы трения на стыках деталей были больше сдвигающих сил *Fr*. Основным критерием расчета является условие неподвижности стыка.



*а б*

Рис. 5.3. Натянутый и внешне нагруженный осевой силой болт

Расчет болта, нагруженного поперечной силой *Fr* при установке его с зазором (рис. 5.4).

В этом случае болт ставится с зазором в отверстие деталей. Для обеспечения неподвижности соединяемых листов 1, 2, 3 болт за­тягивают силой затяжки *F*3. Во избежание работы болта на изгиб его следует затянуть так сильно, чтобы силы трения на стыках деталей были больше сдвигающих сил *Fr*. Основным критерием расчета является условие неподвижности стыка.

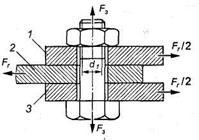


Рис. 5.4. К расчету болтов соединения, несущего поперечную нагрузку

(болт установлен с зазором)

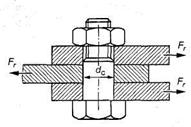


Рис. 5.5. К расчету болтов соединения, несущего поперечную нагрузку

(болт установлен без зазора)

Если болт установлен без зазора, то силу трения принимают с запасом: *Ff*= *KFr* (*K* – коэффициент запаса по сдвигу деталей, *K* = = 1,3…1,5 при статической нагрузке, *K* = 1,8…2 при переменной нагрузке).

Найдем требуемую затяжку болта. Учтем, что сила затяжки бол­та может создавать нормальное давление на *i* трущихся поверхностях (на рис. 5.4) в общем случае

*F*3 = *K*·*Ff* *i·f* , (5.10)

где *i* – число плоскостей стыка деталей (на рис. 5.5 – *i =* 2; при соединении только двух деталей *i* = 1); *f* – коэффициент трения в стыке (*f* = = 0,15…0,2 для сухих чугунных и стальных поверхностей).

Как известно при затяжке болт работает на растяжение и кручение, поэтому прочность болта оценивают по эквивалентному напряжению. Так как внешняя нагрузка не передается на болт, его рассчитывают только на статическую прочность по силе затяжки даже при переменной внешней нагрузке. Влияние переменной нагрузки учитывают путем выбора повышенных значений коэффициента запаса. Стержень болта рассчитывают по напряжениям среза и смятия. Условие прочности

τср ≤[τ]ср,

где τср = *F* / (π·*d*с2)/4)·*i* расчетное напряжение среза болта; *Fr* – поперечная сила; *d*c– диаметр стержня в опасном сечении; [τ]ср – допускаемое напряжение среза для болта; *i* – число плоскостей среза [τ]ср = = (0,2÷0,3)σT.

**6. ЛИНИИ ВЛИЯНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ БАЛОК**

Пpоcтейшей базовой нагpyзкой являетcя единичная cоcpедо-точенная cила, пpиложенная в опpеделенной точке и в опpеделенном напpавлении. Из cоcpедоточенных cил можно полyчить любyю нагpyзкy, в том чиcле и pаcпpеделеннyю, пyтем пpедельного пеpехода к беcконечной cyмме беcконечного числа cоcpедоточенных cил. Поэтомy имея pаcчет cиcтемы на дейcтвие единичной cоcpе­доточенной cилы, пpиложенной в произвольной точке и по произ­вольному напpавлению, мы cможем легко pаccчитать cиcтемy и на любyю нагpyзкy. Еcтеcтвенно, гpафик, изображающий закон изменения ycилия или деформационного фактора в данном сечении в завиcимоcти от положения на сооружении единичного груза *P* = 1, называетcя *линией влияния.* Линии влияния и эпюры – это, по существу, противоположные понятия. Ординаты эпюры характеризуют распределение исследуемого фактора по различным сечениям балки при неподвижной нагрузке, а ординаты линии влияния характеризуют изменение исследуемого фактора, возникающего в одном определенном сечении при передвижении силы *P* = 1 по длине балки.

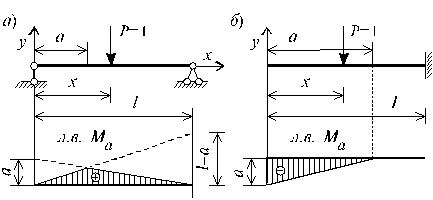


Рис. 6.1. Линии влияния от единичной нагрузки:

*а* – двухопорная балка; *б* – консольная балка

Линии влияния, главным обpазом, применяют в балочных cиc­темах (а также в ар­ках, фермах и дру­гих стержневых си­стемах), в котоpых cоcpедоточенная cила может пеpеме­щатьcя вдоль пpо­лета, cохpаняя cвое напpавление. Пpи помощи линий вли­яния легко pаccчи­тать балкy на под­вижнyю нагpyзкy, возникающую, напpимеp, при движении поезда или потока автомашин на моcтовом пpолете. Hетpyдно поcтpоить линии влияния ycилий в пpоcтых cтатиче­cки опpеделимых балках. Опоpные pеакции балки (рис. 6.1, *а*) пpи единичной cоcpедоточенной cиле, пpиложенной на pаccтоянии *x* от левой опоpы, pавны:

*R*A=*Ḷ –X* / *Ḷ*, *R*B = *X* / *Ḷ*, (6.1)

где *Ḷ* − пpолет балки.

Для cечений, pаcположенных cлева от точки пpиложения cил (*a < x*), изгибающий момент *М*А=*R*A *a*, а для cечений, pаcполо­женных cпpава от этой точки (*a* > *x*), *М*А= *R*B (*Ḷ*-*а*).

Следовательно, линию влияния изгибающего момента в cече­нии, pаcположенном на pаccтоянии *a* от левой опоpы однопpо­летной балки, опиcывает гpафик фyнкции

*M*A=(*Ḷ*-*a*) *x*/ *Ḷ*, пр 0< *х* < *а*, *М*А= *а*(*Ḷ*-*х*) / *Ḷ*, при *а* < *х* < *Ḷ*. (6.2)

Откуда следует, что линия влияния имеет вид тpеyгольника c веpшиной в заданном cечении *a* (рис. 6.1, *а*). Линия влияния изгибающего момента в конcольной балке для cечения, pаcположенного на pаccтоянии *a* от cвободного конца (pиc. 6.1, *б*), выpажаетcя фоpмy-лами:

*М*А=*х-а* , при 0< *х* <а, *М*А=0 при *а* < *х* < *Ḷ* (6.3)

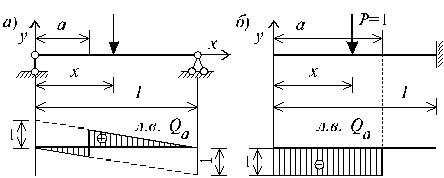


Рис. 6.2. Линии влияния поперечной силы:

*а* – для однопролетной балки; *б* – для консольной балки

Аналогично cтpоитcя линия влияния попеpечной cилы в пpо­извольной точке, находящейcя на pаccтоянии *a* от левого конца од­нопpолетной или конcольной балки. Эти линии влияния выpажаютcя ypавнениями:

– для однопpолетной балки (pиc. 6.2, *а*)

*Qа=R*В =-*х*/*Ḷ*, при 0 < *х* < *а*, *Qа* = *R*А=*Ḷ*-х / *Ḷ*, при *а*<*х* < *Ḷ*; (6.4)

– для конcольной балки (pиc. 6.2, *б*);

*Qа* = 1, при 0 < *х* < *а*, и *Qа**=* 0, при *а* < *х* < *Ḷ.* (6.5)

Пpи *x* = *a* линии влияния попеpечных cил имеют cкачок на величинy, pавнyю единице.

**7. КЛАССИФИКАЦИЯ ФЕРМ. РАСЧЕТ ПЛОСКИХ ФЕРМ**

**7.1. Классификация ферм**

*Фермой* называется стержневая система (рис. 7.1), остающаяся геометрически неизменяемой после условной замены ее жестких узлов шарнирными.

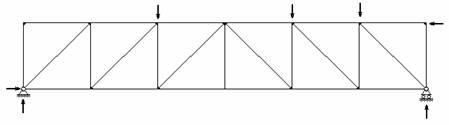


Рис. 7.1. Стержневая система

Иногда используются *пространственные фермы*, расчет которых обычно сводится к расчету нескольких плоских ферм. Расстояние между осями опор фермы называется ее *пролетом.* Стержни, расположенные по внешнему контуру, называются *поясными* и образуют пояса. Вертикальные стержни, соединяющие пояса, называются *стойками,* наклонные – *раскосами.* Стойки и раскосы образуют *решетку* фермы. Расстояние между соседними узлами пояса фермы называется *панелью.* Классификацию ферм обычно проводят по *пяти признакам*:

1) характеру очертания внешнего контура;

2) типу решетки;

3) типу опирания фермы;

4) назначению;

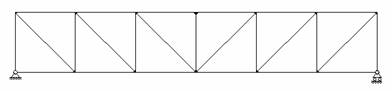
5) уровню езды.

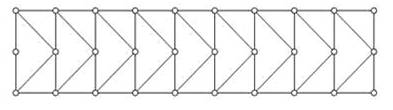
*По характеру очертания* различают фермы с параллельными поясами (рис. 7.2, *а*), треугольные фермы (рис. 7.2, *б*) и с ломанным, или полигональным расположением поясов (рис. 7.2, *в*).

В зависимости от *типа решетки* различают фермы различных типов. Наиболее распространенными являются *раскосные фермы* (рис. 7.3), *фермы с треугольной решеткой* *фермы с полураскосной решеткой* (рис. 7.4). Раскосы, идущие вверх от опор к середине фермы, называют *восходящими раскосами* (см. рис. 7.1), идущие наоборот – нисходящими раскосами (рис. 7.3). Шпренгельные фермы (рис. 7.4).

|  |
| --- |
| **http://www.stroitmeh.ru/lect7.files/image004.jpg** |
| *а* |
| *http://www.stroitmeh.ru/lect7.files/image006.jpg* |
| *б* |
| *http://www.stroitmeh.ru/lect7.files/image008.jpg* |
| *в* |

7.2. Конструктивные очертания ферм

Рис. 7.3. Фермы нисходящими раскосами

****Рис. 7.4. Шпренгельные фермы

Фермы, как правило, проектируют таким образом, чтобы основная нагрузка на них передавалась через узлы верхнего или нижнего пояса. Наличие шпренгелей позволяет увеличить количество узлов в этом поясе, что может потребоваться для облегчения конструкций, с помощью которых внешняя нагрузка передается на узлы фермы. В зависимости *от назначения* различают фермы стропильные, крановые, башенные, мостовые. Мостовые фермы в зависимости *от уровня езды* делятся на фермы с ездой понизу, с ездой поверху и с ездой посередине. Для обеспечения геометрической неизменяемости необходимо, во-первых, чтобы связей, наложенных на перемещение узлов фермы было достаточно, во-вторых, они были правильно размещены. Следовательно, исследование геометрической неизменяемости фермы состоит из двух шагов: проверки достаточности числа связей и анализе правильности их размещения (структурном анализе фермы). Минимальное число стержней в ферме, необходимое для обеспечения ее геометрической неизменяемости определяется по формуле:

*n*cт = 2*n*узл - *n*оп.св, (7.1)

где *п*ст – число стержней в ферме; *п*узл – число узлов; *п*оп.св – число опорных связей.

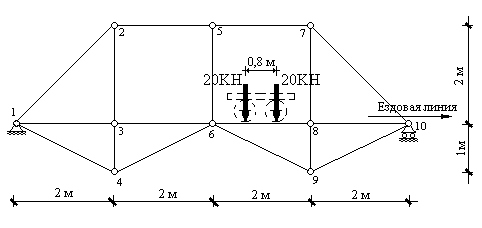
Условие (7.1) одновременно является условием статической определимости фермы. Действительно, для каждого узла можно составить два уравнения равновесия – условия равенства нулю проекций на вертикальную и горизонтальную оси всех действующих на узел внешних сил и сил, действующих со стороны стержней и реакций опор. Неизвестными же являются продольные усилия в каждом стержне и реакции в опорах. Для того, чтобы обеспечить неподвижность простейшей фермы относительно основания, необходимы как минимум три опорных связи, линии действия которых не параллельны и не пересекаются в одной точке. Рассмотрим в качестве примера ферму, изображенную на рис. 7.1. Очевидно, она относится к простейшим фермам. В ней *п*ст = 25, *п*узл=14, *п*оп.св = 3. Равенство (7.1) выполняется: 25 = 2⋅14 – 3 = 25. Линии действия трех опорных связей (опорных реакций на рис. 6.1) не параллельны и не пересекаются в одной точке, следовательно, ферма геометрически неизменяема.

**7.2. Расчет ферм на подвижную нагрузку**

**Пример 1.**Рассмотрим ферму, изображенную на рис. 7.5. Необходимо:

1. Используя теорию линий влияния, определить усилие в стержне фермы 2-3 от действия неподвижной системы сил, изображенной на рис .7.5.

2. Определить максимальное и минимальное усилия в стержне фермы 2-3 при движении по ездовой линии (по горизонтали от узла 1 к узлу 10) системы из двух сил (рис. 7.5).

Рис. 7.5. Ферма нагружена подвижной нагрузкой

3. Определить усилие от постоянной равномерно распределенной нагрузки *q* = 10 кН/м, приложенной к поясу фермы, совпадающему с ездовой линией (рис. 7.6).

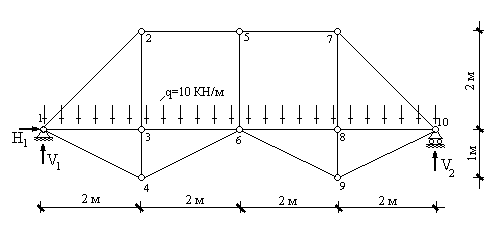
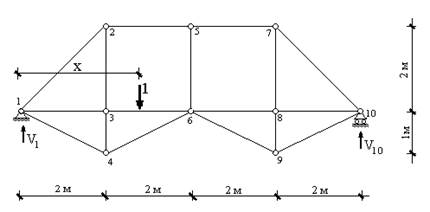


Рис. 7.6. Постоянная равномерно распределенная нагрузка

Построим линию влияния для стержня фермы 2-3. Для этого достаточно определить усилие в этом стержне при различных положениях единичной силы на ездовой линии. Если единичная сила находится на расстоянии *х* от левой опоры, то реакция в последней будет составлять *V*1, а в правой опоре – *V*10 (рис. 7.7). Составим уравнения равновесия узла 2 (рис. 7.8):

*V*1= 1- *x*/8 м,*V*10 = *x*/ 8 м.

Рис. 7.7. Реакции опор от единичной силы

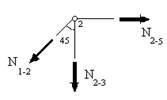


Рис. 7.8. Уравнения равновесия

*N*2-5 =*N*1-2 cos 45° *N*2-3 *= N*2-3*=N*1-2 sin 45°= 0, откуда следует, что *N*2-3*= - N*2-5. Поскольку, нагрузки к узлу 2 не приложены, т.к. он не лежит на ездовой линии, это уравнение справедливо при любом положении грузов на ней. Для определения *N*2-5 воспользуемся способом сечений, причем рассмотрим два случая, когда единичный груз находится слева от панели, в которой располагается стержень 2-5 (рис. 7.9), и справа от нее (рис. 7.10).

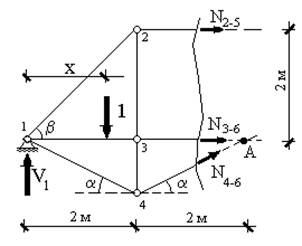


Рис. 7.9. Единичный груз находится слева от панели

Для первого случая уравнения равновесия моментов относительно точки *А* примет вид:

*V*A·4 м+*N*2-5 2 м - 1 (4 м - *x*) = 0,

откуда следует, что при нахождении единичного груза слева от рассеченной панели (*x* < 2 м), *N*2-5=*x*/4 м,a *N*2-3 = *x* / 4 м.

Согласно этой формуле, при *x* = 0 ордината линии влияния, как и следовало ожидать, равна нулю, а при *x* = 2 м она равна 1/2. По этим точкам строится левая ветвь линии влияния (до точки *С* на рис. 6.3). Следовательно, при нахождении единичного груза справа от рассеченной панели (*x* > 4 м), *N*2-5=2+ *x*/4 м, a *N*2-3 = 2- *x*/4 м.

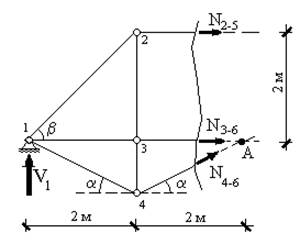


Рис. 7.10. Единичный груз находится справа от панели

Таким образом, при *x* = 4 м ордината линии влияния равна 1 (точка *D* на рис. 7.11, а на правой опоре, как и следовало ожидать – нулю. По этим точкам строится правая ветвь линии влияния, и далее передаточная прямая *CD*. В рассматриваемом случае ее направление, как мы видим, совпадает с направлением левой ветви линии влияния, а сама линия влияния оказалась симметричной.

Теперь приступим к определению усилий в стержне 2-3.Для заданной неподвижной узловой нагрузки (см. рис. 7.7) в соответствии с формулой (7.3) найдем величину усилия в стержне: *N*2-3 =20 kH/2+20 kH+20 kH/2 = 40 kH. Этот же ответ был получен нами ранее в разделе “Пример расчета фермы на неподвижную нагрузку” без использования линий влияния, что Наименее выгоднейшим положением подвижной системы двух сил на ездовой линии (рис. 7.11) будет положение, когда одна из них находится ровно посередине пролета фермы, т.к. в этом случае одна из сил оказывается над единственной в рассматриваемом случае вершиной линии влияния. Ордината линии влияния под силой в центре фермы равна 1, ординату под точкой приложения второй силы легко определить из подобия треугольников: *y* = 0,8 (рис. 7.12). В соответствии с (7.3) усилие в стержне составит *N*2-3 = 20 kH+20 kH·0,8 = 36 кН.

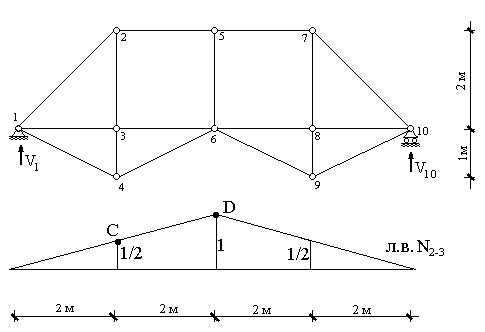


Рис. 7.11. Ордината влияния при переменном *х* = 4 м

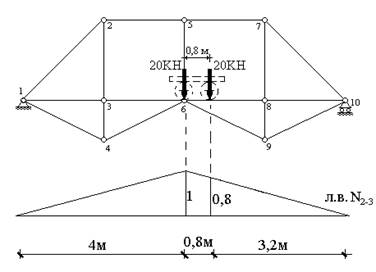


Рис. 7.12. Линии влияния от второй силы

Наконец, определим усилие в стержне от действия неподвижной равномерно распределенной по всей длине ездовой линии нагрузки *q* = 10 кН/м. Площадь фигуры, ограниченной линией влияния составляет *w* = 4 м2. Размерность площади фигуры оказалась такой, поскольку единичная сила, а, следовательно, и ординаты линии влияния продольного усилия не имеют размерности.

**8. РАСЧЕТ ПЛОСКИХ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ РАМ**

Плоской рамой называется стержневая система, элементы которой жестко или шарнирно соединены между собой, нагруженная в своей плоскости. Вертикально (или под наклоном) расположенные стержни рамы называются *стойками*, а горизонтальные – *ригелями*. Жесткость узлов устраняет возможность взаимного поворота скрепленных стержней, то есть в узловой точке углы между их осями остаются неизменными. Как и многие другие системы, рамы делятся на статически определимые и статически неопределимые (рис. 8.1, *а*, *б*, *в*, *д*, *е*). Для определения степени статической неопределимости используется «балочная» формула:

*n* = *r* – *S*,

где *r* – число неизвестных реакций; *S* – число уравнений статики (для плоской рамы *S* = 3).

Рассмотрим простейшие статически определимые рамы трех видов:

1) с жесткой заделкой;

2) на двух шарнирных опорах (неподвижной и подвижной);

3) на двух шарнирно неподвижных опорах с простым промежуточным шарниром.

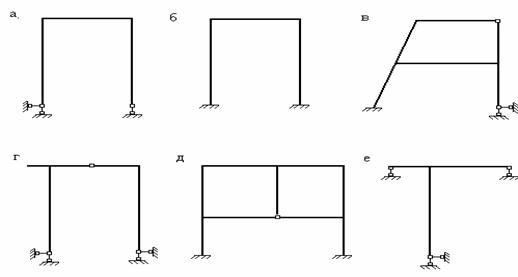


Рис. 8.1. Статически определимые рамы

Из шести внутренних силовых факторов в сечениях плоской рамы в общем случае возникают три: продольная сила *Nz*; поперечная сила *Qy*; изгибающий момент *Mx*.

*Правила знаков.* Для *Nz* и *Qy* сохраняются ранее принятые правила знаков. *Nz* > 0, если внешняя нагрузка, приложенная к рассматриваемой отсеченной части, вызывает в данном сечении растяжение и *N*z < 0 – в противном случае. *Qy* > 0, если внешняя нагрузка, приложенная к рассматриваемой отсеченной части, стремится повернуть данное сечение по часовой стрелке и *Qy* < 0 – в противном случае. Ординаты эпюр *N*z и *Qy* (как, впрочем и *Mx*) откладывают, как и обычно, перпендикулярно к оси элементов рамы. Иногда положительные ординаты *Nz* и *Qy* откладывают с внешней стороны рамы, а отрицательные – с внутренней, но рама часто имеет такую конфигурацию, при которой невозможно выделить внутреннюю и внешнюю стороны, поэтому *в дальнейшем условимся:* ординаты эпюр *Nz* и *Qy* откладываются в произвольную сторону, но обязательно указывается знак. Для изгибающих моментов специального правила знаков нет, а при вычислении момента в любом сечении знак принимается произвольно. Но результат вычислений *всегда откладывается со стороны сжатого волокна* элемента рамы. При этом знак на эпюре *Mx* никогда не указывается. Такое условие полностью соответствует характеру построения эпюр *Mx* в балках, где в соответствии с принятым для изгибающих моментов правилом знаков ординаты эпюр *Mx* всегда оказывались расположенными со стороны сжатых волокон балки.

Построение эпюр для плоских рам**.** Рамы с жесткой заделкой.

Пример 1**.** Рассмотрим жесткозащимленную плоскую раму (рис. 8.2, *а*). В жесткой заделке рамы в общем случае нагружения возникают три опорные реакции: две силы (*Н*А и *R*A) и опорный момент (*M*A). Для построения эпюр определение этих реакций не является безусловной необходимостью: расчет, как и в случае жесткозащимленной балки, можно вести от свободного конца, то есть всякий раз так выбирать отсеченную часть для рассматриваемого сечения, чтобы в нее не попадала опора с неизвестными опорными реакциями. Тем не менее, иногда целесообразно вычислить опорные реакции. Это позволяет проверить построение эпюр или облегчить их построение. Для вычисления реакций в жестко защемленной раме используются три условия равновесия:

1) ∑*Ϝxi* =0; 2) ∑ *Ϝyi* = 0; 3) ∑ *MAi*=0.

Построим эпюры *Nz*, *Qy*, *Mx* для рассматриваемой рамы, не вычисляя опорные реакции. Методика построения эпюр аналогична ранее рассмотренной для балок, т.е. сначала необходимо наметить характерные сечения. В дополнение к ранее указанным, *в рамах характерными являются также сечения*, расположенные бесконечно близко к жесткому узлу на всех элементах, сходящихся в этом узле.  *Построение эпюры* *Nz.* Следуя установленным правилам, в рассматриваемой раме можно выделить 8 характерных сечений. Продольная сила в любом из них численно равна алгебраической сумме проекций всех сил, приложенных по одну сторону от рассматриваемого сечения, на продольную ось стержня. При этом следует учитывать, что положение продольной оси будет изменяться в зависимости от того, чему принадлежит рассматриваемое сечение – стойкам или ригелю.

*Nz*1=*Nz*2 = *Nz*3 = *Nz*4 = 0, *Nz*5 = *Nz*6 = -*Ϝ*= -20 кH,*NZ*7 = *NZ*8 =- *q* · 4 = -40 кH.

Построение эпюры *Qу*. Расчетная сила в любом сечении численно равна алгебраической сумме проекций всех сил, приложенных по одну сторону от рассматриваемого сечения, на поперечную ось рамы. Положение поперечной оси также будет изменяться в зависимости от принадлежности данного сечения стойкам или ригелю. С учетом правила знаков, двигаясь от свободного конца к жесткой заделке, получим для: *QУ*1 = *Q*у2 =0 (проекция пары *М* на любую ось равна нулю); *Qу*3 =*Qу*4 = *Ϝ*= 20 кН,*Qу*5 = 0, *Qу*6 = *q*·4 = 40 кН, *Qу*7 = *Qу*8 = - 20 кН.

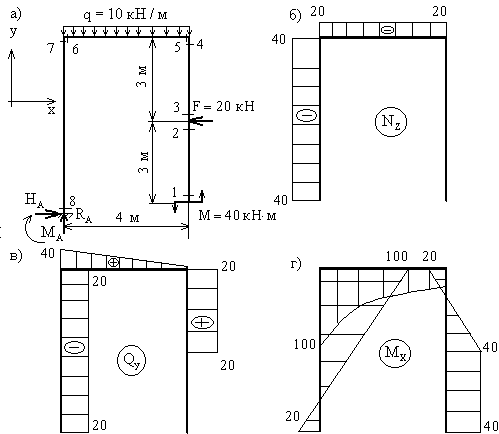


Рис. 8.2. Плоская жестко защемленная рама (сжаты левые волокна)

Необходимо обратить внимание на тот факт, что *Qу*7 = -*Qу*3, т.е. что поперечная сила в верхних сечениях противоположных стоек от действия силы, приложенной к правой стойке (при заделке, расположенной слева, и наоборот) имеет противоположные знаки. Отчасти это можно объяснить противоположными направлениями оси *y* для сечений 4 и 7, но более строгое обоснование указанного равенства будет дано ниже. Построение эпюры *Мх.* Изгибающий момент в любом сечении численно равен алгебраической сумме моментов всех нагрузок, приложенных по одну сторону от рассматриваемого сечения, относительно этого сечения (более строго: относительно оси *x* этого сечения). Обратим внимание на два важных замечания:

1) составляющая момента *Mx* от действия сосредоточенного момента *М* всегда одинакова и равна *М*;

2) под плечом силы всегда понимается длина перпендикуляра, опущенного из центра тяжести данного сечения *на линию действия силы.* Это означает, что, например, плечо силы *F* для сечений 4-7 одинаково и равно 3 м. Таким образом, для сечений 1-8 получим:

*Мх*1 = *Мх*2 =*Мх*3= *М* = 40 кНм (сжатым является правое волокно в сечениях 1-3, поэтому ордината отложена вправо от оси стойки);

*Мх*4 =*Мх*5=*М*-*Ϝ*·3 = 20 кНм(знаки «+» и «-» здесь имеют относительный характер; результирующий момент сжимает левые волокна в сечении 4 и нижние волокна в сечении 5, поэтому ордината «20» откладывается соответственно влево и вниз);

*Мх*6 = *М* - *Ϝ*·3 - *q*·4·2 = -100 кН·м(сжаты нижние волокна); *Мх*7 == *Мх*6 = -100кН (сжаты правые волокна).

Уравнения равновесия имеют вид:

*Мх*8 = *М*+ *F* 3 - *q* 4·2 = 20 кH

∑*Fxi* = 0; *H*A – *F* = 0; *H*A = *F* = 20 кH.

∑F*Yi* = 0;*R*A- *q*4=0; *R*A= *q* 4 = 40 кH.

∑*M*A*i* = 0; *M*A+*q* 4·2 - *F* 3-*M* = 0; *M*A= 20 кH.

**9. ОСНОВЫ ДИНАМИКИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПТиСДМ**

Характерная особенность ПТиСДМ – значительные нагрузки на механизмы от веса поднимаемого груза и собственного веса металлоконструкций и низкие (по сравнению, например, с транспортными машинами) скорости движения механизмов. Кроме того, для этих машин характерна большая масса движущихся частей, работа в повторно-кратковременном режиме, гибкий подвес груза на канатах и ударные нагрузки. Эти и другие факторы повышают роль динамических расчетов при проектировании подобных машин. Около 80 % отказов современных ПТиСДМ в основном связано с динамическими нагрузками, которые приводят к повышенному изнашиванию трущихся элементов, усталостному разрушению несущих металлоконструкций и деталей механизмов, появлению недопустимых остаточных деформаций и т.п. Это свидетельствует о важности динамических расчетов, без которых невозможно создание машин с высокими технико-экономическими показателями. Динамические расчеты необходимы не только для определения нагрузок в грузоподъемных машинах. Главное состоит в том, чтобы на основе этих расчетов изменить конструкцию машины и выбрать ее параметры такие, чтобы снижались динамические нагрузки, уменьшалась изнашиваемость трущихся элементов, повышалась долговечность металлоконструкции и механизмов. Динамический расчет начинают с составления расчетной динамической схемы машины и уравнений движения масс, входящих в эту схему. Реальные машины состоят из большого числа соединенных между собой определенным образом элементов, обладающих массой и упругостью, к которым приложены различные по значению и характеру действия внешние нагрузки. С точки зрения динамического расчета машина представляет собой единую динамическую систему, состоящую из механизмов, несущей металлоконструкции, приводов, кранового рельсового пути. От реальной машины к расчетной динамической схеме переходят, пренебрегая теми физическими факторами, которые для конкретного расчетного режима имеют несущественное значение. Критерием достоверности принятой расчетной схемы является опыт, сравнение теоретического расчета с результатами эксперимента. Выбор расчетной схемы – одна из основных задач прикладной динамики Выбор той или иной расчетной схемы определяется также и задачей расчета.

Расчетная нагрузка от веса поднимаемого груза из условия

*Q*расч =*Q*·Ѱд,(9.1)

где Ѱд – динамический коэффициент, зависит от режима работы механизма: при легком режиме Ѱд = 1,1, при среднем Ѱд = 1,2, тяжелом и весьма тяжелом Ѱд = 1,3.

Нагрузка от собственного веса крана определяется из условия

*Ԍ*р = *Ԍ·К* , (9.2),

где *К –* коэффициент толчков, в зависимости от скорости движения крана *V*: при *V* ≥ 60 м/мин *К* = 1,1, при *V* ≤ 60 м/мин *К* = 1.

Дополнительными нагрузками по второму случаю это предельно возможные силы инерции. Для мостовых кранов с приводом на ходовые колеса эти силы получаем из условия скольжения заторможенной тележки (крана) по рельсам. Нагрузки при торможении тележки, движущейся вдоль главных балок моста, находим из условия

*Р*и =*R*/7. (9.3)

Поперечная нагрузка от сил инерции при торможении крана

*Р*и= *R*/10, (9.4)

где *R* – нагрузка на приводные колеса крана (тележки).

Металлические конструкции ПТиСДМ, работающих на открытом воздухе дополнительно проверяются на прочность при предельном (ураганном) давлении ветра при ненагруженном кране. В некоторых случаях также необходимы дополнительные расчеты на специальные нагрузки: монтажные, транспортные и т.п. Стержни решетчатых кон-струкций в зависимости от действующих нагрузок рассчитываются на разрыв, сжатие и местный изгиб. Сжатые стержни помимо прочности должны удовлетворять условиям устойчивости. Величина допускаемых напряжений из этого условия

[Ϭ] = [Ϭ]∙φ, (9.5)

где [Ϭ] – основные допускаемые напряжения (см. разд. 4); φ – коэффициент уменьшения допускаемых напряжений (табл. 9.1), принимаемый в зависимости от гибкости стержня λ

λ =*l*/*i*, (9.6)

где *l* – расчетная длина стержня; *i* – его радиус инерции,

*i* =√ *J*min/*Ϝ.* (9.7)

Здесь *J*min – наименьший момент инерции стержня мм4.

*Таблица 9.1*

**Коэффициенты φ, принимаемые при расчете центрально**

**сжатых стержней на устойчивость**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Гибкость  λ | Коэффициент φ для сталей | | | Гибкость  λ | Коэффициент φ для сталей | | |
| Ст2,  Ст3 | Ст5 | 15ХСНД | Ст, Ст2,  Ст3 | Ст5 | 15ХСНД |
| 0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 110 | 0,52 | 0,43 | 0,39 |
| 10 | 0,99 | 0,98 | 0,98 | 120 | 0,45 | 0,38 | 0,33 |
| 20 | 0,97 | 0,95 | 0,95 | 130 | 0,40 | 0,32 | 0,29 |
| 30 | 0,95 | 0,93 | 0,93 | 140 | 0,36 | 0,28 | 0,26 |
| 40 | 0,92 | 0,90 | 0,90 | 150 | 0,32 | 0,27 | 0,23 |
| 50 | 0,89 | 0,84 | 0,83 | 160 | 0,29 | 0,24 | 0,21 |
| 60 | 0,86 | 0,80 | 0,78 | 170 | 0,26 | 0,21 | 0,19 |
| 70 | 0,81 | 0,74 | 0,71 | 180 | 0,23 | 0,19 | 0,17 |
| 80 | 0,76 | 0,66 | 0,63 | 190 | 0,21 | 0,17 | 0,15 |
| 90 | 0,69 | 0,59 | 0,54 | 200 | 0,19 | 0,15 | 0,13 |
| 100 | 0,60 | 0,50 | 0,45 |  |  |  |  |

Мосты мостовых кранов необходимо проверять на прогиб от действия подвижной нагрузки. Величину этого прогиба принимают не более 1/700.

**10. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ**

**УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

Дисциплина Строительная механика и металлические конструкции ПТСиДМ относится к числу основных, изучаемых студентами инженерных специальностей.

Для введения единообразия и удовлетворения основных принципов проектирования металлических конструкций необходимо руководствоваться действующими нормами проектирования стальных конструкций СНиП П-В, 3-72 и конструкций из алюминиевых сплавов СНиП П-24-74. При проектировании подъемно-транспортных сооружений и машин следует руководствоваться также правилами Госгортехнадзора и техническими условиями, разработанными ВНИИНТМАШем и ВНИИСтройдормашем.

Проектирование металлоконструкций включает статический расчет на прочность, жесткость и устойчивость. Цель расчета при проектировании – обеспечение безопасности и длительной прочности конструкции, сочетаемые с ее экономичностью.

Усилия и напряжения, возникающие в отдельных конструкциях или стержнях от действия внешних нагрузок, определяются на основании методов, изложенных в курсах сопротивления материалов и строительной механики стержневых систем.

Ниже приведены темы курсовых работ.

**Тема 1.** Проектирование металлоконструкции моста мостового крана: В курсовой работе необходимо выполнить расчет и эскизный проект металлической конструкции двухбалочного моста решетчатой или коробчатой листовой конструкции для электрического мостового крана общего назначения

**Расчетно-пояснительная записка должна содержать:**

1) Задание на проектирование;

2) Определение нагрузки по расчетным сочетаниям;

3) Составление расчетной схемы определение конструктивных параметров и проверку прочности, жесткости и местной устойчивости главной балки;

4) Составление расчетной схемы, определение конструктивных параметров и проверку прочности концевой балки, согласно рис. 10.1. Исходные данные принять по табл. 10.1. Номер варианта в табл. 10.1 соответствуют двум последним цифрам номера зачетной книжки.

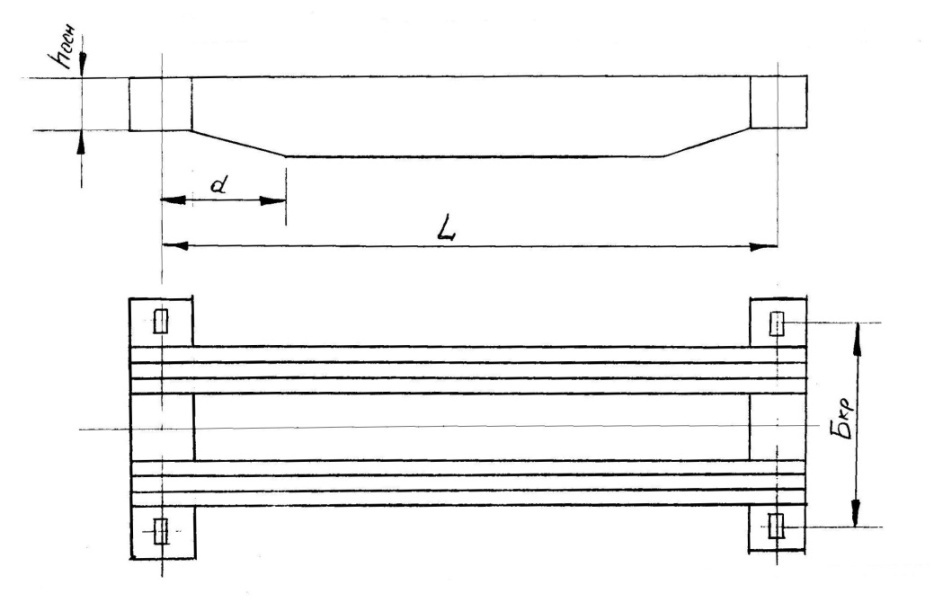


Рис. 10.1. Двухбалочный мостовой кран

*Таблица 10.1*

| Основные параметры | Вариант | | | | | | | | | | Цифра  шифра |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| Грузоподъем-ность *Q*, кН | 50 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 320 | 400 | 500 | Последняя |
| Скорость подъема груза  *v*п , м/с | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| База тележки*а*, м | 1,4 | 1,4 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,8 | 1,8 | 3,4 | 3,4 |
| Колея тележки *l* т, м | 1,4 | 1,6 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 1,8 | 1,9 | 1,7 |
| Пролет *L*, м | 17 | 22 | 14 | 23 | 21 | 16 | 19 | 15 | 20 | 11 | Предпоследняя |
| База крана *В*, м | 3,5 | 5,0 | 4,4 | 5,0 | 4,4 | 4,4 | 4,4 | 5,1 | 5,2 | 5,2 |
| Скорость передвижения крана *v*п, м/с | 0,8 | 1,0 | 1,3 | 1,3 | 0,8 | 1,0 | 0,8 | 1,0 | 1,3 | 1,0 |

блица 7

## **Тема 2**

Определить усилия в стержнях плоской фермы двухбалочного моста решетчатой конструкции от подвижной нагрузки, подобрать сечения стержней.

Исходные данные принять по табл. 10.1 и 10.2. Номер варианта в табл. 10.2 соответствует предпоследней цифре номер зачетной книжки.

*Таблица 10.2*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Исходные данные | Вариант | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| *Р*1,кН | 120 | 120 | 100 | 120 | 110 | 130 | 150 | 140 | 120 | 150 |
| *Р*2, кН | 100 | 80 | 60 | 80 | 90 | 100 | 120 | 100 | 80 | 90 |

**Оформление графической части**

Графическая часть работы выполняется на листе формата А1(594×841), расположенном горизонтально.

Предварительно необходимо ознакомиться с чертежами металлической конструкции мостов по литературе [1, 2, 3, 4, 6].

Выполнение чертежей моста рекомендуется начинать с проработки сечений и узлов, а затем переходить к общему виду.

Общий вид моста в двух проекциях вычерчивается в левой верхней зоне листа. Построение вида сборку моста начинается с изображения вида сбоку главной балки, затем вычерчиваются торцы концевых балок с узлами присоединения их к главной балке. После этого изображается на виде сбоку площади с перилами. Построение вида моста сверху следует начинать с проведения осевых линий главных и концевых балок. После этого вычерчиваются главные балки с рельсами для крановой тележки, концевые балки с узлами присоединения к главной балке, а затем площадки с перилами.

На оставшемся свободном месте поле чертежа изображаются поперечный разрез главной балки с площадкой и узел присоединения главной балки к концевой в более крупном масштабе.

**11. ТЕСТЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ОСТАТОЧНЫХ**

**ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ**

1. Связями в строительной механике называются:

а) силы, которые изменяют механическое состояние движения или покоя тела;

б) силы, с которыми тела действуют на данное тело;

в) тела, стесняющие движение данного тела;

г) тела, после удаления которых механическое состояние данного

тела не изменится.

2. Жёсткая заделка в плоской системе уменьшает степень свободы на:

а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

3. Шарнирно подвижная опора в плоской системе уменьшает сте-

пень свободы на:

а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

4. Шарнирно неподвижная опора в плоской системе уменьшает сте-

пень свободы на:

а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

5. Простой шарнир в плоской системе уменьшает степень свободы на:

а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

6. Одиночная связь в плоской системе уменьшает степень свободы на:

а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

7. Реакция жёсткой заделки в случае плоской системы сил даёт количество неизвестных:

а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

8. В строительной механике реакциями связей называются:

а) силы, равные и противоположные активным силам, действующим на тело;

б) силы, оказывающие на тело действие, противоположное действию связей;

в) силы, приложенные к связям со стороны тела, на которое наложены связи;

г) силы, оказывающие не тело то же механическое действие, как и

связи, наложенные на тело.

9. Укажите системы, пригодные для строительных конструкций:

а) мгновенно изменяемые;

б) почти мгновенно изменяемые;

в) геометрически изменяемые;

г) геометрически неизменяемые.

10. Укажите, сколько степеней свободы в плоскости имеет диск:

а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

11. Укажите число, непригодное для степени свободы плоской системы

а) 0; б) –2; в) 0,5; г) 101.

12. Связь, удаление которой не меняет кинематические свойства сис-

темы, называется:

а) лишней связью;

б) необходимой связью;

в) ложной связью;

г) идеальной связью.

13. Укажите правильную формулу для вычисления степени свободы

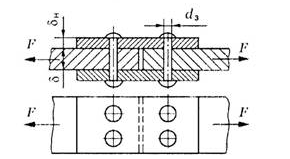
плоской системы, состоящей из дисков, шарниров и одиночных связей:

а) 3Д + 3Ш + С; б) Д + Ш + С; в) Д – 2Ш – 3С; г) 3Ä – 2Ø – *N*~

Тестовые задачи.

**Тема *«*Неразъемные соединения»**

1. Как называется изображенный заклепочный шов?



а) Односрезной двухрядный с одной накладкой шахматный;

б) Двухсрезной двухрядный встык с одной накладкой;

в) Двухсрезной однорядный встык с двумя накладками;

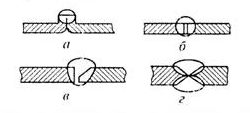
г) Односрезной двухрядный внахлестку шахматный;

2. По кой формуле следует рассчитывать на прочность заклепки в изображенном соединении? (см. рисунок к заданию 1)

а); б);

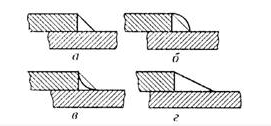
в); г).

3. Как следует подготовить кромки перед сваркой встык листов толщиной 10 мм?



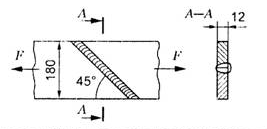
а) а; б) б; в) в; г) г.

4) Какую форму углового шва следует выбрать для ответственного нахлесточного соединения, работающего при переменных нагрузках?



а) а; б) б; в) в; г) г.

5. Из расчета на прочность сварного шва определить допускаемую нагрузку на соединение, если сварка ручная; электрод Э50; допускаемое напряжение для металла 120 МПа; нагрузка постоянная.



а) 330 кН; б) 233,28кН; в) 259,2 кН; г) 155,5кН.

6. Каково основное достоинство заклепочных соединений?

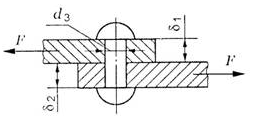
а) Простота конструкции.

б) Герметичность и плотность.

в) Надежная работа при вибрациях и динамических нагрузках.

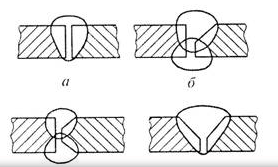
г) Невысокая стоимость.

7. Выбрать формулу для определения числа заклепок из расчета заклепок на прочность (δ1 < δ2).



а); б); в); г)

8. Как следует подготовить кромки перед сваркой встык листов толщиной 25 мм?

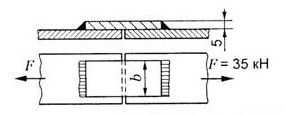


а) а; б) б; в) в; г) г.

9. Выберите формулу для расчета допускаемого напряжения для металла шва, если шов работает на растяжение; сварка ручная; электрод Э42А.

а) |σp|; б) 0,9 |σp|; в) 0,6 |σp|; г) 0,65 |σp|.

10. Из расчета на прочность сварного шва определить ширину накладки *b*, если внешняя нагрузка на соединение 35 кН; допускаемое напряжение для металла шва на растяжение 100 МПа, на срез – 65 МПа?



а) 154 мм; б) 77 мм; в) 108 мм; г) 54 мм.

12. ПЕРЕЧЕНЬ ТИПОВЫХ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ И

ЗАЧЕТНЫХ ВОПРОСОВ

1. Определение дисциплины Строительная механика. Цели и задачи дисциплины. Кинематический анализ расчетных схем стержневых конструкций.

2. Степень свободы твердого деформируемого тела. Кинематические связи. Кинематический анализ сооружений. Основные виды опор.

3. Условия геометрической неизменяемости стержневых систем. Статическая определимость геометрически неизменяемых стержневых систем

4. Статически определимые балки. Общие свойства статически определимых систем. Нагрузки и внутренние силовые факторы простых и составных балок.

5. Линии влияния опорных реакций для однопролетных и консольных балок.

6. Построить линию влияния балки.

7. Линии влияния поперечных сил и изгибающих моментов для однопролетных и консольных балок.

8. Линия влияния при узловой передаче нагрузки.

9. Определение усилий с помощью линий влияния.

10. Расчет статически определимых плоских и пространственных ферм.

11. Классификация ферм, их основные свойства и методы расчета.

12. Определение усилий в стержнях простейших ферм.

13. Определение усилий в стержнях простейших ферм.

14. Определение усилий в стержнях простейших ферм. Графический способ определения усилий (диаграмма Максвелла-Кремоны).

15. Линии влияния усилий в стержнях простейших ферм. Способ моментной точки.

16. Линии влияния усилий в стержнях простейших ферм. Способ проекций.

17. Линии влияния усилий в стержнях простейших ферм. Способ вырезания узлов.

18. Примеры построения усилий в фермах.

19. Расчет и проектирование стержней ферм.

20. Проектирование балок Конструкции крановых балок. Балки из прокатных профилей. Составные двутавровые и коробчатые балки.

21. Виды сварных соединений, классификация швов и их характеристика.

22. Характеристика основных профилей сортамента. Горячекатаный прокат и холодногнутые профили.

23. Расчетные нагрузки на металлоконструкции.

24. Принципы расчета конструкций по методам допускаемых напряжений.

Приложение

*Таблица 1*

**Размеры основных профилей проката общего назначения**

**в соответствии с ГОСТ на сортамент**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Листовой прокат** | | |
| Листовой горячекатаный прокат (ГОСТ 19903-74\*) | Рис27 | Толщина листов *а* = 0,4 ÷ 160 мм*,* ширина листов *в* = 500 ÷ 3800 мм |
| Листовой прокат, изготовляемый в рулонах (ГОСТ 19903-74\*) | *Рис13* | Ширина листов *а* = 500 ÷ 2200 мм*,* толщина *в* = 1,2 ÷ 12 мм |
| Листовой прокат холоднокатаный (ГОСТ 19904-90) | Рис27 | Толщина проката *а* = 0,35 ÷ 5 мм*,* ширина листов *в* = 500 ÷ 2350 мм |
| **Сортовой прокат простой геометрической формы** | | |
| Прокат стальной горячекатаный круглый (ГОСТ 2590-88) | Рис2 | Диаметр *d =* 5 ÷ 270мм вкл. |
| Прокат стальной горячекатаный квадратный (ГОСТ 2591-88) | Рис3 | Сторона квадрата *а* = 6 ÷ 200 ммвкл. |
| Прокат калиброванный шестигранный (ГОСТ 8560-78\*) | Рис4 | Размер *а* = 3 ÷ 100 мм (размер – диаметр вписанной окружности) |
| Полоса стальная горячекатаная  (ГОСТ 103-76\*) | Рис | Толщина проката *а* = 4 ÷ 60 мм*,* ширина проката *в* = 11 ÷ 200 мм |
| Прокат стальной горячекатаный широкополосный универсальный ГОСТ 82-70\*) | Рис | Толщина проката *а* = 6 ÷ 60 мм*,* ширина проката *в* = 200 ÷ 1050 мм |
| **Фасонный прокат** | | |
| Уголки стальные горячекатаные равнополочные (ГОСТ 8509-93) |  | № 1 – 25 (номер – высота  полки *b* в см) |
| Уголки стальные горячекатаные неравнополочные (ГОСТ 8510-86\*) | Рис1_1 | № 2,5/1,6 – 20/12,5 (номер cоответствует *B/b*, где *B* и *b* – высота полок в см) |
| Двутавры стальные горячекатаные (ГОСТ 8239-89) | Рис1_4 | № 10 – 60 (номер – высота  стенки в см) |
| Швеллеры стальные горячекатаные (ГОСТ 8240-97) | Рис1_3 | № 5 – 40 разных серий: У, С, П, Э, Л (номер – высота стенки в см) |
| Рельсы для наземных и подвесных путей (ГОСТ 19240-73) | **Рельс типа Р5**  **Рельс тавровый**  **Рельс двухголовый** | Рельсы трёх типов с размерами на рисунке |
| *Окончание табл. 1* | | |
| **Трубы** | | |
| Трубы стальные бесшовные горячедеформированные (ГОСТ 8732-78\*) |  | Наружный диаметр *D*н *=*  *=* 20÷ 550 мм,  толщина стенки трубы *а = =* 2,5 ÷ 75мм |
| Трубы стальные бесшовные холоднодеформированные (ГОСТ 8734-75\*) | Наружный диаметр *D*н *=*  *=* 5÷ 250 мм,  толщина стенки трубы  *а =* 0,3 ÷ 24 мм |
| Трубы стальные электросварные прямошовные (ГОСТ 10704-91) | Наружный диаметр *D*н *=*  *=* 10 ÷ 1420 мм, толщина стенки трубы *а =* 1 ÷ 32мм |

**Список рекомендуемой литературы**

Основная

1. Павлов Н. Г. Примеры расчета кранов. – Л.:, Машиностроение, 1976. – 320 с.

2. Соколов С.А. Строительная механика и металлические конструкции машин: учебник / С. А. Соколов. – СПб.: Политехника, 2011. –450 с.

Дополнительная

1. СниП II-23-81\*.
2. Расчет на прочность деталей машин: Справочник, Биргер И.А, Иосилевич Г.Б., Шорр Б.Ф., 4-е изд.. –М.: Машиностроение, 1993. – 640 с.
3. Мостовые краны общего назначения, Шабашов А.П., Лысяков А.Г., 5-е изд. – М.: Машиностроение, 1980. – 304 с.
4. Справочник по кранам в 2-ух томах, под общ. ред. Гохберга М.М. – М.: Машиностроение, 1988.
5. Подъемно-транспортные машины: Атлас конструкций под ред. М.П. Александрова, Д.Н. Решетова. Изд. 2-е. – М.: Машиностроение, 1987. – с. 122.
6. Основы конструирования в 3-ех томах. Орлов П.И. 2-ой том. –М.: Машиностроение, 1988. – 574 с.
7. Технология производства подъемно-транспортных машин, Косилова А.Г., Сухов М.Ф., 2-е изд. – М.: Машиностроения, 1982. – 301 с.
8. Справочник технолога-машиностроителя в 2-ух т., Т.1, под ред. Косиловой А.Г., Мещерякова Р.К., 4-е изд. М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.
9. Рыбаков В.М. Сварка и резка металлов: Учебник для сред.проф. - техн. училищ. – 2-е изд., испр. – М.: Высш. школа, 1979 – 214 с.