

## 9 ЛЕКЦИЯ

Основы проектирования металлоконструкции. Анализ процессов неустановившегося движения. Предохранительные устройства ГПМ.

### Основы проектирования металлоконструкции

В металлоконструкциях грузоподъёмных машин применяют:

- балочные несущие элементы (нагрузка прикладывается на пролёте и консолях – работают главным образом на изгиб) непосредственно из прокатного профиля или с усилением шпренгелем (дополнительная стержневая система), коробчатой формы;
- ферменные (нагрузка передается через узлы, и стержни работают на растяжение и сжатие) решетчатые трёх- или четырёхгранные;
- комбинированные.

В инженерной практике при рассмотрении устройств допускают упрощения, в которых сохраняется физическая сущность нагружения и результат расчёта имеет приемлемую точность. Так, нагрузку в ферменной конструкции, рассредоточенную по длине стержня или действующую между узлами, распределяют между последними пропорционально отношению плеч; пространственную металлоконструкцию расчленяют на отдельные части и каждую из них рассматривают под действием сил в соответствующих плоскостях; при определении усилий в стержнях фермы сварные или заклёпочные соединения последних в узлах считают шарнирами, а конструкцию в целом – геометрически неизменяемой. Расчёт ведут на статическую прочность по наибольшим напряжениям при варианте работы “с подхватом груза” – то есть предусматривают неблагоприятную возможность начальной выборки каната входлостую и возникающую инерционно-ударную составляющую, вводя для веса груза коэффициент динамичности  $\psi \geq 1$  : Для режимов М1...М4; М5; М6,М7 и М8,М9 соответственно 1,2; 1,3; 1,4 (по ранее действующим положениям режимы Л лёгкий, С средний, Т тяжёлый и ВТ весьма тяжёлый).

Опорные реакции и усилия в элементах находят методами теоретической механики.

Расчёт на прочность стержней выполняют на растяжение или сжатие, балок и колонн – на изгиб или совместное действие нагрузок, при конструировании необходимо обеспечить центральность приложения нагрузки, закладывая симметричность сечения (спаренные профили).

Материал несущих элементов – обычно сталь Ст3, при необходимости снижения веса применяют малолегированные стали.

Значения допускаемых напряжений (сталь Ст3) назначают с учётом вида деформации и режима работы :

растяжение и изгиб, режим М1...М4; М5  $[\sigma] = 160 \text{ Н/мм}^2$ , при более тяжёлых режимах  $[\sigma] = 140 \text{ Н/мм}^2$ ;

срез  $[\tau] = 0,6 [\sigma]$ ;

сжатие – вводят к допускаемым напряжениям растяжения (или площади сечения) понижающий коэффициент  $\varphi \leq 1$  (не путать с коэффициентом динамичности  $\psi \geq 1$ ), зависящий от гибкости

$$\lambda = \mu \cdot l / r_{\min} \leq [\lambda] = 120$$

где  $\mu$  – учитывает способ заделки (для стержней – 1, консольная балка – 2);

$l$  – длина стержня, мм;

$r_{\min} = \sqrt{I_{\min}/A}$  – минимальный радиус инерции, мм;

$I_{\min}$  – наименьший момент инерции сечения, мм<sup>4</sup>;

$A$  – площадь сечения, мм<sup>2</sup>;

Расчёт выполняют методом последовательных приближений – по гибкости не выше допускаемой и длине находят  $r_{\min}$ , принимают сечение и производят проверку на прочность по силе сжатия  $F_{сж}$ , Н:

$$\sigma_{сж} = F_{сж} / (\varphi \cdot A) \leq [\sigma] \text{ Н/мм}^2$$

При необходимости вводят коррективы – меняют сечение, ставят в конфигурацию фермы дополнительные стержни... .

При совместном действии изгибающего момента  $M_{и}$ , Н·мм и растягивающей силы  $F_{р}$ , Н или сжатия  $F_{сж}$ , Н размеры сечения предварительно находят из расчёта на изгиб, определяя осевой момент сопротивления  $W_{предв}$ , мм<sup>3</sup>:

$$W_{предв} = M_{и} / [\sigma]$$

Принимают несколько больший профиль и по действительной площади сечения  $A$  и моменту сопротивления  $W$  производят проверку на прочность по суммарному напряжению:

$$\sigma = \sigma_{и} + \sigma_{р} = M_{и} / W + F_{р} / A \leq [\sigma] \text{ Н/мм}^2$$

$$\sigma = \sigma_{и} + \sigma_{сж} = M_{и} / W + F_{сж} / (\varphi \cdot A) \leq [\sigma] \text{ Н/мм}^2$$

При более сложном нагружении расчёт ведут по приведённой нагрузке или эквивалентным напряжениям.

Ручная сварка несущих элементов – электродами не ниже Э42.

При разработке поворотных устройств ориентируются на аналогичные, хорошо себя зарекомендовавшие конструкции. С учётом малого числа поворотов подшипники качения выбирают по статической грузоподъёмности  $C_0$ , Н, подшипники скольжения считают по удельному давлению  $p \leq [p] \text{ Н/мм}^2$ .

### Анализ процессов неустановившегося движения

Работа ГПМ носит ярко выраженный циклический характер с разгоном механизмов от неподвижного состояния до установившейся скорости и торможения от установившейся скорости до полной остановки.

***В период разгона двигатель (а при торможении – тормоз) преодолевает как статическое нагружение, так и инерцию вращающихся и поступательно движущихся масс.***

Согласно принципа Даламбера уравнение приведённых к ведущему валу вращающихся моментов при разгоне будет:

$$M_{разг} = \pm M_{ст}^{разг} + M_{дин}^{разг} \quad (1)$$

Знак «+» или «-» зависит от протекающего процесса. Если действие статического нагружения не способствует развитию процесса, то в начальном

уравнении имеем «+». Например, если груз поднимаем, то вес груза не способствует разгону и в уравнении будет «+». При опускании вес груза способствует разгону и будет «-». Аналогично разбираются и другие механизмы.

При торможении:

$$M_{\text{торм}} = \pm M_{\text{ст}}^{\text{торм}} + M_{\text{дин}}^{\text{торм}} \quad (2)$$

При опускании груз не способствует торможению, соответственно в уравнении будет «+».

С достаточной для инженерной практики точностью можно принять, что момент разгона  $M_{\text{разг}}$ , тормозной момент  $M_{\text{торм}}$ , статический момент сопротивления  $M_{\text{ст}}$  – величины постоянные. Тогда динамический момент  $M_{\text{дин}}$  от инерции масс также величина постоянная и имеет место равноускоренное при разгоне и равнозамедленное при торможении движение:

$$M_{\text{дин}} = J \frac{\omega}{t}$$

где  $J$  – приведённый момент инерции вращающихся и поступательно движущихся масс,  $\text{кгм}^2$ ;

$\frac{\omega}{t}$  – угловое ускорение,  $\text{с}^{-2}$ ;

$\omega$  – угловая скорость установившегося движения,  $\text{с}^{-1}$ ;

$t$  – время разгона или торможения,  $\text{с}$ .

**В механизмах ГПМ за приведённый вал принимают вал двигателя**, ему присваивают индекс «1» и на этом валу, как правило, устанавливают и тормоз.

С учётом вращающихся и поступательно движущихся масс:

$$J_{\text{пр1}} = J_{\text{пр вр1}} + J_{\text{пр пост1}}$$

Приведение моментов инерции и масс производят на основе закона сохранения энергии. Присваивая следующим валам от ведущего индекса 2, 3..., получим для вращающихся масс:

$$\frac{J_{\text{пр вр1}} \omega_1^2}{2} = \frac{J_1 \omega_1^2}{2} + \frac{J_2 \omega_2^2}{2} \xi_{12} + \frac{J_3 \omega_3^2}{2} \xi_{13} = \sum \frac{J_j \omega_j^2}{2} \xi_{1j}$$

где  $J_j$  – момент инерции вала «j»,  $\text{кгм}^2$ ;

$\omega_j$  – угловая скорость вала «j»,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\xi_{1j}$  – фактор потерь от вала 1 до рассматриваемого вала «j».

**Если трение способствует протеканию процесса, то  $\xi_{1j} = \eta_{1j}$ ,**

**если не способствует, то  $\xi_{1j} = 1/\eta_{1j}$ ;**

$\eta_{1j}$  – КПД кинематической цепи от вала 1 до вала «j».

Преобразуем последнее уравнение:

$$J_{\text{пр вр1}} = J_1 + \frac{J_2 \xi_{12}}{\left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2} + \frac{J_3 \xi_{13}}{\left(\frac{\omega_1}{\omega_3}\right)^2} + \dots = J_1 + \frac{J_2 \xi_{12}}{i_{12}^2} + \frac{J_3 \xi_{13}}{i_{13}^2} + \dots$$

где  $i_{1j}$  – передаточное отношение от вала 1 до вала «j».

**Как вытекает из формулы, с удалением от вала 1 значение моментов инерции резко падает** и в механизмах ГПМ (кроме механизма поворота крана) принимают:

$$J_{\text{пр вр1}} = \delta J_1$$

где  $\delta$  – учитывает влияние вращающихся масс на остальных валах, в зависимости от механизма 1,1...1,25.

Масса  $m$  кг, поступательно движущаяся со скоростью  $v$ , м/с, обычно связана с последним звеном «п», тогда:

$$\frac{J_{\text{пр пост1}} \omega_1^2}{2} = \frac{mv_{\text{п}}^2}{2} \xi_{1\text{п}}$$

$$J_{\text{пр пост1}} = \frac{mv_{\text{п}}^2}{\omega_1^2} \xi_{1\text{п}}$$

Преобразуем:

$$M_{\text{дин}} = J_{\text{пр1}} \frac{\omega_1}{t} = \frac{1}{t} (J_{\text{пр вр1}} \omega_1 + J_{\text{пр пост1}} \omega_1) =$$

$$= \frac{1}{t} \left( \delta J_1 \omega_1 + \frac{mv_{\text{п}}^2}{\omega_1^2} \xi_{1\text{п}} \omega_1 \right) = \frac{1}{t} \left( \delta J_1 \frac{\pi n_1}{30} + \frac{mv_{\text{п}}^2}{\frac{\pi n_1}{30}} \xi_{1\text{п}} \right) =$$

$$= \frac{1}{t} \left( \frac{\delta J_1 n_1}{9,55} + \frac{9,55 mv_{\text{п}}^2}{n_1} \xi_{1\text{п}} \right)$$

( Иногда вместо момента инерции  $J = mr^2$ , кгм<sup>2</sup>, применяют маховой момент  $GD^2$ , кгс·м<sup>2</sup>, тогда  $GD^2 \approx 4J$  )

Определяя динамические моменты из уравнений 1 и 2 для соответствующих процессов неустановившегося движения, по последнему выражению можем найти время процесса и далее величину ускорения или замедления и пройденное расстояние.

### **Предохранительные устройства ГПМ**

**Для обеспечения безопасности** при выполнении работ с грузами предусматривают:

- указатели грузоподъёмности, наклона крана, высоты подъёма, вылета стрелы, положения тележки с канатной тягой;
- ограничители грузоподъёмности, выключающие механизм при попытке подъёма груза с превышающей её массой;
- конечные выключатели при подходе груза, стрелы, тележки и самого крана к крайним положениям;
- ограничители перекоса, которые отключают механизмы передвижения при недопустимом забеге одной из опор;
- ловители в шахтных подъёмниках, исключающие самопроизвольное опускание;
- противоугонные устройства для обеспечения неподвижности неработающего крана (фиксаторы, связывающие кран со стойкой; остановы, удерживающие колёса; рельсовые захваты за упоры на концах рельсового пути).

Приборы безопасности пломбируются после изготовления, ремонта, наладки ответственными специалистами в целях исключения доступа к ним посторонних лиц.

**Оградительные средства защиты** применяют для исключения доступа к находящимся в движении или под напряжением электрического тока частям ГПМ. Ограждают все виды передач (зубчатые, цепные и т. п.), соединительные муфты и барабаны, расположенные вблизи рабочего места крановщика или в проходах, валы механизма передвижения кранов и других систем (если последние расположены в местах, предназначенных для прохода обслуживающего персонала). Ограждению подлежат также открытые токоведущие части.

### ВНИМАНИЕ

Материал лекции прорабатывается и дополняется по источникам, приведённым в «Детали машин» (**программные вопросы по разделу «Подъёмно-транспортные машины»**) *для студентов очного обучения*. Не исключаются и другие источники, в том числе и ИНТЕРНЕТ, как добавление.

Проработка подтверждается представлением письменных ответов на вопросы 58,60,61 вышеупомянутых ... **программные вопросы по разделу** ...

Ответы рукописные, выполняются на листах формата А4 (по «зёбре» с шагом 1 см или листы в клетку) **аккуратно и разборчиво**, ориентация книжная. Все поля по 20 мм (можно писать с обеих сторон листа) . *На левом поле каждого листа вдоль по центру указывается группа, фамилия и дата написания (лист повернуть, чтобы поле оказалось вверху)*. Обязательно записывается вопрос, затем приводится ответ. Листы нумеруются, соединяются скрепкой и представляются на занятиях и консультации (во время карантина сдаются лаборанту, ауд. 310). Срок сдачи – конец следующей недели после лекции по расписанию.

Ответы следует сопровождать рукописными схемами и рисунками в карандаше, при необходимости можно заимствовать сложные фигуры из ИНТЕРНЕТА с рукописным добавлением позиций с наименованиями непосредственно на поле рисунка.

ВАША оценка будет складываться как суммарная, в том числе регулярность работы, полнота и качество ответов, тестирование, выполнение расчётов... . Успеха в учёбе!