

# ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Общие сведения .....	5
2. Основные показатели крана .....	8
3. Режим работы крана.....	13
4. Основные случаи нагружения.....	16
5. Расчетные нагрузки и их основные расчетные сочетания для металлических конструкций кранов (первое предельное состояние) .....	19
5.1. Первое сочетание расчетных нагрузок для I и II случаев нагружения.....	20
5.2. Второе сочетание расчетных нагрузок для I и II случаев нагружения.....	27
5.3. Третье сочетание расчетных нагрузок для I и II случаев нагружения.....	35
5.4. Четвертое сочетание расчетных нагрузок для III случая нагружения.....	39
6. Силовой расчет моста на действие максимальных нагрузок .....	40
6.1. Расчет при первом и втором сочетании нагрузок.....	41
6.2. Расчет концевой балки по третьему сочетанию нагрузок .....	48
7. Конструирование металлоконструкции крановых мостов.....	50
7.1. Главные (пролетные) балки.....	52
7.2. Концевые балки. Соединение главных и концевых балок.....	58
8. Расчет статической прочности металлоконструкции моста .....	61
8.1. Проверка прочности в сечениях балок моста .....	61
8.2. Определение нормальных напряжений .....	64
8.3. Определение касательных напряжений.....	65
9. Расчет прочности сварных соединений .....	70
9.1. Расчет стыковых соединений.....	70

9.2. Соединения с угловыми швами.....	74
10. Проверка общей устойчивости балок моста (потеря устойчивости в изгибно-крутильной форме).....	85
11. Проверка местной устойчивости элементов балок.....	91
12. Расчеты по второму предельному состоянию (расчеты на жесткость) .....	108
12.1. Расчет максимального прогиба от вертикальных нагрузок .....	108
12.2. Расчет максимального прогиба от горизонтальных нагрузок при пуске или торможении крана .....	109
12.3. Расчет времени затухания колебаний моста.....	110
12.4. Расчет строительного подъема .....	111
13. Расчет элементов стальных конструкций на сопротивление усталости (на долговечность).....	112
13.1. Исходные положения.....	112
13.2. Расчет в многоцикловой области .....	114
13.3. Расчет в малоцикловой области .....	125
Библиографический список.....	127
Приложение А. Основные характеристики железнодорожных рельсов .....	128
Приложение Б. Пример расчета на сопротивление усталости пролетной балки мостового крана.....	130

# 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Задачей расчета металлических конструкций кранов является обеспечение предъявляемых к ним требований надежности при заданных эксплуатационных условиях в течение установленного срока эксплуатации. При этом проектирование, изготовление, установка и использование крана в целом и металлоконструкции должны соответствовать требованиям нормативно-технической и эксплуатационной документации. Нормативно-технической документацией являются стандарты, строительные нормы и правила или технические условия на краны, элементы их механизмов, металлоконструкции и материалы. К эксплуатационной документации относятся правила эксплуатации изделий и кранов. В расчетах крановых металлоконструкций и их элементов должны учитываться требования следующих нормативных документов: ГОСТ 25546 «Краны грузоподъемные. Режимы работы» [1]; ГОСТ 25835 «Краны грузоподъемные. Классификация механизмов по режимам работы» [2]; Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов [3].

В практике краностроения применяются два метода расчета МК: по методу допускаемых напряжений и методу предельных состояний.

Расчет по *методу допускаемых напряжений* базируется на установленных практикой коэффициентах запаса прочности. Расчет по методу предельных состояний — на статическом изучении действительной нагруженности конструкций при эксплуатации и статистическом изучении однородности материала. *Метод предельных состояний* (введен с 01.07.1984 г.) позволяет более эффективно использовать применяемый материал, а, значит, уменьшить массу конструкции. В настоящее время он разработан для строительных башенных кранов, мостовых и козловых кранов [3], а также — для мостовых перегружателей до 50 т.

В расчетах рассматривают предельные состояния металлоконструкции крана в целом и ее отдельных элементов. Предельными являются состояния, обусловленные требованиями безопасности или недопущения снижения работоспособности (эффективности использования) металлоконструкции, при которых практически невозможна или технически нецелесообразна ее дальнейшая эксплуатация. Наступление предельного состояния соответствует временному

или постоянному отказу крана в целом или его элементов (в том числе элементов металлоконструкции). Отказы могут наступить внезапно или постепенно. Рассматривают две группы предельных состояний: первая — по исчерпанию металлоконструкцией или ее отдельным элементом несущей способности; вторая — по достижению условий, нарушающих нормальную эксплуатацию.

Предельные состояния первой группы (1-е предельное состояние) характеризуются:

- *разрушением элемента или соединения*, которое может быть вязким, хрупким или усталостным (проводят расчеты на прочность и сопротивление усталости);

- *достижением состояния*, при котором дальнейшее увеличение нагрузок *приводит к потере устойчивости формы* конструкции или элемента (проводят расчеты на устойчивость).

Предельные состояния второй группы (2-е предельное состояние) характеризуются:

- *возникновением деформаций и перемещений* элементов металлоконструкции крана, *препятствующих их нормальной эксплуатации* (выполняют расчеты деформаций);

- *действием колебаний, нарушающих нормальную работу* крана в целом или его отдельных элементов (выполняют расчеты частот, амплитуд и времени затухания колебаний).

По предельному состоянию первой группы расчет ведут:

- *по эквивалентной нагрузке* (условная нагрузка рабочего состояния с постоянной асимметрией цикла, эквивалентная по интенсивности накопления усталостных повреждений действительной нагрузке) на циклическую прочность кранов тяжелого и весьма тяжелого режимов работы (6К-8К групп по [1]);

- *по максимальным нагрузкам* (предельные нагрузки рабочего и нерабочего состояний в наиболее тяжелых условиях эксплуатации) на прочность и устойчивость для кранов легкого (1К-3К групп по [1]) и среднего (4К, 5К группы по [1]) режимов работы. Для кранов среднего режима работы расчет на циклическую прочность может быть выполнен как поверочный.

Общий порядок расчета несущих конструкций крана:

- составление конструктивной схемы;
- определение внешних нагрузок и их сочетаний;

- выбор расчетных схем;
- силовой расчет (определение внутренних усилий в элементах металлоконструкции);
- выбор материала и определение расчетных сопротивлений;
- подбор поперечных сечений конструкции в целом и назначение размеров их элементов;
- проверка элементов конструкции по 1-му предельному состоянию;
- расчет соединений элементов;
- проверка предельных состояний конструкции в целом.

## 2. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРАНА

Расчет металлоконструкции любого крана начинается с определения основных показателей. В число основных показателей, необходимых для расчета мостового крана общего назначения, входят (рис. 2.1): номинальная грузоподъемность  $Q_n$ , пролет  $L_n$ , высота  $H_n$  подъема груза, база  $A_k$  крана, коlea  $L_T$  грузовой тележки, база  $A_T$  грузовой тележки, скорость  $v_n$  подъема груза, скорость  $v_k$  передвижения крана, скорость  $v_T$  передвижения грузовой тележки, масса  $M_k$  крана (полная), масса  $M_T$  грузовой тележки в сборе.

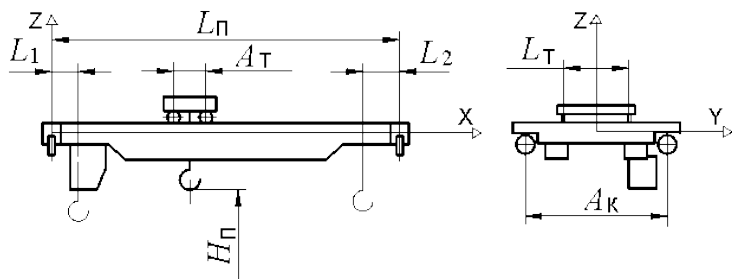


Рис. 2.1. Схема мостового крана

Грузоподъемность  $Q_n$  должна превышать максимальный вес  $G_{гр}$  перемещаемого краном груза. Численное значение грузоподъемности крана необходимо выбирать из ряда номинальных грузоподъемностей: 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50, регламентируемого государственным стандартом ГОСТ 1575. Технологическое назначение и условия использования кранов (режимы работы) указаны в ГОСТ 25546 [1]. Общие технические требования к мостовым электрическим кранам регламентированы ГОСТ 27584. Требования (технические характеристики) к однобалочным опорным кранам регламентированы ГОСТ 22045. Требования (технические характеристики) к однобалочным подвесным кранам регламентированы ГОСТ 7890.

Пролет  $L_n$  и высоту  $H_n$  подъема груза выбирают, в основном, исходя из размеров здания, в котором будет установлен кран, или исходя из размеров обслуживаемой площадки, если кран будет работать на улице, передвигаясь по специально построенной

эстакаде. По возможности, числовое значение пролета крана необходимо выбирать из стандартизованного ряда чисел: 4,5; 7,5; 10,5; 13,5; 16,5; 19,5; 22,5; 25,5; 28,5; 31,5; 34,5 (ГОСТ 1575), увязанных со стандартными значениями пролетов зданий.

*Базу крана  $A_k$*  (расстояние между ходовыми колесами у концевой балки или между осями балансирных тележек у многоколесных кранов), если колея грузовой тележки или конструкция крана не требуют больших значений (в обоснованных случаях), принимают равной  $(1/6 \dots 1/5)L_{п}$ . Для мостовых кранов малой и средней грузоподъемности численное значение базы крана регламентировано госстандартами. Базу крана  $A_k$  также можно принять по рекомендациям, приведенным в работе [4].

*Колею грузовой тележки  $L_T$*  назначают после определения базы крана. Размер колеи грузовой тележки зависит от конструкции пролетного (мостового) строения крана. Рекомендуемые значения колеи тележек кранов грузоподъемностью от 5 до 50 т приведены в работе [4].

*База грузовой тележки* выбирается из условия размещения на ней необходимого оборудования, при этом для увеличения зоны обслуживания стремятся подходы крюка (расстояние от оси подвеса груза до оси ближайшего подкранового рельса при крайнем положении грузовой тележки)  $L_1$  и  $L_2$  (рис. 2.1) сделать минимальными.

*Скорости подъема груза, передвижения крана и тележки* (тали) выбираются, исходя из условий эксплуатации, и, как правило, должны примерно соответствовать значениям, приведенным в стандартах или технических требованиях (максимальное отклонение от нормативных значений — не более 15 %).

*Масса крана* в целом (при проектном расчете — ориентировочное значение [4]) и *масса тележки* [4] не должны превышать значений, регламентированных стандартами или техническими требованиями.

Ориентировочные массы элементов крана (пролетной балки; концевой балки; привода; кабины; колеса с буксами; грузовой тележки, в том числе подвески; люльки; одной нитки подтележечного рельса), необходимые для проектного расчета, можно определить, исходя из масс элементов уже существующих кранов, однотипных с проектируемым.

При проектном расчете собственный вес главных балок корбчатых двухбалочных мостов можно определить по рис. 2.2 [5]. Для режимов 1К — 3К вес уменьшить на 10 %, для режимов 6К — 8К — увеличить на 10 %.

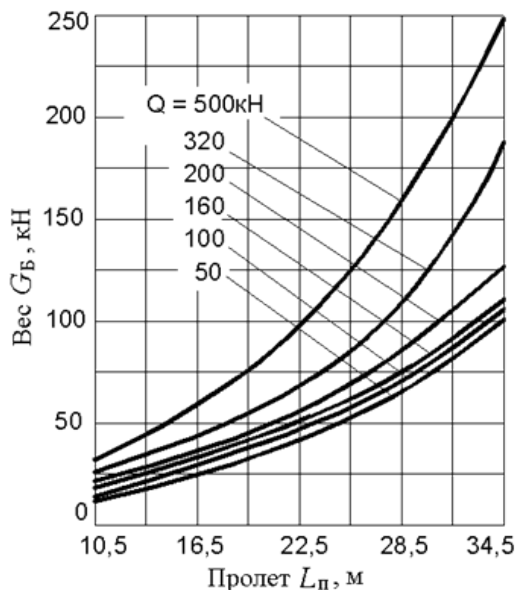


Рис. 2.2. Собственный вес половин металлических конструкций сварных коробчатых двухбалочных мостов (без концевых балок) кранов общего назначения из стали марки 09Г2С для режимов работы 4К, 5К

При использовании малоуглеродистых сталей весовые нагрузки, приведенные на рис. 2.2, следует увеличить на 10 %. Диаметр дорожки катания колеса и тип рельса, необходимые для определения масс, выбирают по стандартам и техническим условиям на колеса и рельсы, исходя из величины максимальной статической нагрузки на колесо. Предварительный выбор крановых колес и рельсов можно провести согласно табл. 2.1.

Типы, основные размеры и технические требования крановых ходовых колес регламентирует ГОСТ 28648 «Колеса крановые. Технические условия»

В качестве рельсов на кранах применяют следующие профили прокатной стали: специальные крановые рельсы типа КР ГОСТ 4121; железнодорожные рельсы типа Р43 ГОСТ 7173, типа Р50 ГОСТ Р 51685, узкой колеи по ГОСТ 6368; плоские рельсы, в основном, из квадратной заготовки по ГОСТ 2591.



Таблица 2.1

## Предварительный выбор крановых колес и рельсов

Максимальная статическая нагрузка Р, кН	Диаметр колеса по ГОСТ 28648, см	Рельс с выпуклой головкой		Ширина плоского рельса по ГОСТ 2591, см
		Тип рельса	Ширина головки рельса, см	
От 30 до 50 включ.	20; 25	P18 ГОСТ 6368	4	4,0; 4,5; 5,0
		P24 ГОСТ 6368	5,1	
		P38 ТУ 14-2-118-74	6,8	
От 50 до 100 включ.	32; 40	P38 ТУ 14-2-118-74	6,8	5,0; 5,5; 6,0
		P43 ГОСТ 7173	7	
		KP70 ГОСТ 4121	7	
От 100 до 200 включ.	40; 50	P38 ТУ 14-2-118-74	6,8	5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0
		P43 ГОСТ 7173	7,0	
		P50 ГОСТ 7174	7,2	
		KP70 ГОСТ 4121	7,0	
От 200 до 250 включ.	50; 56; 63	P43 ГОСТ 7173	7	6,0; 6,5; 7,0
		P50 ГОСТ 7174	7,2	
		KP70 ГОСТ 4121	7	
		KP80 ГОСТ 4121	8	
От 250 до 320 включ.	63; 71	P43 ГОСТ 7173	7	7,0; 7,5; 8,0
		P50 ГОСТ 7174	7,2	
		KP80 ГОСТ 4121	8	
		KP100 ГОСТ 4121	10	
От 320 до 500 включ.	71; 80	KP80 ГОСТ 4121	8	-
		KP100 ГОСТ 4121	10	
От 500 до 800 включ.	80; 90; 100	KP100 ГОСТ 4121	10	-
		KP120 ГОСТ 4121	12	
От 800 до 1000 включ.	90; 100	KP120 ГОСТ 4121	12	-
		KP140 ГОСТ 4121	14	
Св. 1000	100	KP140 ГОСТ 4121	70	-

Величина максимальной статической нагрузки на колесо определяется расчетом, когда тележка с номинальным грузом находится у опоры крана.

Ширина дорожки катания колеса определяется суммарной величиной ширины головки рельса и зазора между ребрами и рельсом. Величина зазора между ребрами и рельсом регламентируется ГОСТ 27584.

### 3. РЕЖИМ РАБОТЫ КРАНА

Одним из важнейших показателей крана является его режим работы. Режим работы является комплексной характеристикой, учитывающей изменение и длительность действия нагрузки на кран и его отдельные элементы, а также другие показатели, влияющие на работоспособность крана и его узлов.

Режим работы крана в целом устанавливается ГОСТ 25546 [1]. Группу режима работы крана определяют в зависимости от класса его использования (табл. 3.1) и класса нагружения (табл. 3.2).

Таблица 3.1

Класс использования крана

Класс использования	Общее число циклов работы крана за срок его службы	Качественная характеристика класса использования
по ГОСТ 25546		
C0	До $1,6 \times 10^4$	Нерегулярное использование
C1	Св. $1,6 \times 10^4$ до $3,2 \times 10^4$	
C2	Св. $3,2 \times 10^4$ до $6,3 \times 10^4$	
C3	Св. $6,3 \times 10^4$ до $1,25 \times 10^5$	
C4	Св. $1,25 \times 10^5$ до $2,5 \times 10^5$	Регулярное использование при малой интенсивности работы
C5	Св. $2,5 \times 10^5$ до $5 \times 10^5$	Регулярное использование при средней интенсивности работы
C6	Св. $5 \times 10^5$ до $1 \times 10^6$	Интенсивное использование
C7	Св. $1 \times 10^6$ до $2 \times 10^6$	Весьма интенсивное использование
C8	Св. $2 \times 10^6$ до $4 \times 10^6$	
C9	Св. $4 \times 10^6$	Особо интенсивное использование при длительных сроках эксплуатации

*Примечания:* 1. Цикл работы крана состоит из перемещения грузозахватного органа к грузу, подъема и перемещения груза, освобождения грузозахватного органа и возвращения его в исходное положение.

2. Срок службы крана (время его работы до списания) устанавливают в стандартах или технических условиях на краны конкретных видов.

Класс нагружения крана (ГОСТ 25546)

Класс нагружения	Коэффициент нагружения	Качественная характеристика класса нагружения
по ГОСТ 25546		
Q <sub>0</sub>	До 0,063	Постоянная работа с грузом, значительно меньшим номинального
Q <sub>1</sub>	Св. 0,063 до 0,125	То же с грузом, меньшим номинального
Q <sub>2</sub>	Св. 0,125 до 0,25	То же с грузом средней массы
Q <sub>3</sub>	Св. 0,25 до 0,5	То же с грузом относительно большой массы
Q <sub>4</sub>	Св. 0,5 до 1,00	То же с грузом, приближающимся к номинальному

*Класс нагружения* крана зависит от распределения перемещаемых краном грузов относительно номинальной грузоподъемности крана за срок его службы и характеризуется коэффициентом нагружения  $K_P$  (отражает влияние графика загрузки на выносливость элементов конструкции крана за время его службы), определяемым по формуле [5]:

$$K_P = \sum \left[ \left( \frac{Q_i}{Q_n} \right)^3 \frac{C_i}{\sum C_i} \right], \quad (3.1)$$

где  $C_i$  — число циклов работы крана с грузом массой  $Q_i$ ;  
 $\sum C_i$  — общее число циклов работы крана за срок его службы;  
 $Q_i$  — масса груза, перемещаемого краном с числом циклов  $C_i$ ;  
 $Q_n$  — номинальная грузоподъемность крана.

Значение массы грузозахватного органа, навешиваемого на крюк крана, включают в значения  $Q_i$  и  $Q_n$ .

В случае конкретных данных для расчета коэффициента нагружения  $K_P$  могут быть приняты во внимание качественные характеристики, приведенные в табл. 3.2.

*Группа режима работы крана* приведена в табл. 3.3. Ориентировочное сопоставление режимной классификации кранов по ранее действовавшим правилам Ростехнадзора и по ГОСТ 25546 [1] дано в табл. 3.4.

Таблица 3.3

## Группа режима работы кранов (ГОСТ 25546)

Класс использования	Группа режима работы кранов для класса нагружения					Класс использования	Группа режима работы кранов для класса нагружения				
	Q <sub>0</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>		Q <sub>0</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>
C0	–	–	1К	1К	2К	C5	3К	4К	5К	6К	7К
C1	–	1К	1К	2К	3К	C6	4К	5К	6К	7К	8К
C2	1К	1К	2К	3К	4К	C7	5К	6К	7К	8К	8К
C3	1К	2К	3К	4К	5К	C8	6К	7К	8К	8К	–
C4	2К	3К	4К	5К	6К	C9	7К	8К	8К	–	–

Таблица 3.4

## Соответствие групп режима работы кранов

Группа режима работы по старым правилам Ростехнадзора	Л	С	Т	ВТ
Группа режима работы по ГОСТ 25546 и ИСО 4301	1К-3К	4К, 5К	6К, 7К	8К

Группа режима работы кранов, транспортирующих груз, нагретый до температуры свыше 300 °С, или расплавленный металл, шлак, ядовитые, взрывчатые вещества и другие опасные грузы, должна быть не менее 6К. При отсутствии исходных данных, необходимых для определения класса нагружения и класса использования, группу режима допускается устанавливать по данным рекомендуемого приложения к ГОСТ 25546 [1] (табл. 3.1, 3.2, 3.3).

## 4. ОСНОВНЫЕ СЛУЧАИ НАГРУЖЕНИЯ

На элементы несущей конструкции и механизмов действуют различные нагрузки, которые зависят, как от особенностей конструкции крана, так и от условий эксплуатации. Нагрузки устанавливаются по технической документации, а также по стандартам на краны, режимы работы и ветровую нагрузку.

Из разнообразных сочетаний нагрузок, действующих на кран, можно выделить три основных случая его нагружения.

*Первый случай (I)* — нормальные нагрузки рабочего состояния возникают при работе в нормальных условиях эксплуатации (с грузом нормального веса, при плавных пусках в ход и торможении, нормальном состоянии подкрановых путей, среднем давлении ветра рабочего состояния). По этим нагрузкам производится расчет на сопротивление усталости (циклическую прочность), долговечность, износ и нагрев. При расчетах на сопротивление усталости и износ давление ветра можно не учитывать.

При переменных нагрузках, в том числе весе поднимаемого груза, расчет следует вести не по максимальному, а по среднему (эквивалентному) их значению. Комбинация нагрузок выбирается наиболее часто встречающаяся — характерная.

Значение эквивалентной нагрузки определяется по формуле:

$$F_3 = \varphi_3 F_n . \quad (4.1)$$

где  $F_n$  — величина номинальной нагрузки;  
 $\varphi_3$  — коэффициент режима работы.

$$\varphi_3 = \sqrt[m]{\sum_{i=1}^k \left( \frac{F_i}{F_n} \right)^m \times \frac{z_i}{\sum z_i}} , \quad (4.1)$$

где  $F_i / F_n$  — относительная величина  $i$ -го уровня нагрузки в долях от номинальной нагрузки;

$z_i / \sum z_i$  — относительное число повторений нагрузки в долях от полного числа повторений  $\sum z_i$  данной нагрузки за срок службы крана  $\sum z_i \leq N_6$ , где  $N_6$  — базовое число циклов, равное  $2 \times 10^6$  при  $K < 2,0$  и  $5 \times 10^6$  при  $K \geq 2,0$ ;

$K$  — эффективный коэффициент концентрации для симметричного цикла.

Суммированию подлежат нагрузки, вызывающие напряжения  $\sigma_i \geq 0,6\sigma_{RK}$  (здесь  $\sigma_i$  — отдельные напряжения, вызываемые нагрузками  $F_i$ ,  $\sigma_{RK}$  — предел неограниченной выносливости для данного цикла нагружения).

При отсутствии статистических данных о спектрах поднимаемых грузов за период эксплуатации  $\varphi_{\Sigma}$  может быть принят в соответствии с режимом работы крана: 8К — 1; 7К, 6К — 0,8...0,7; 5К, 4К — 0,7...0,6. Когда режим работы не известен, обычно принимают  $\varphi_{\Sigma} = 0,5$ .

Расчет на сопротивление усталости носит поверочный характер и производится после расчета прочности и устойчивости от максимальных нагрузок, когда в проекте приняты все конструктивные исполнения узлов и соединений. Для кранов режима работы 6К — 8К этот расчет, а не расчет по II случаю, часто является определяющим. Для кранов режимов работы 4К, 5К необходимость расчета на сопротивление усталости для отдельных групп кранов следует устанавливать на основании практики расчетов. Для кранов режима работы 1К — 3К расчет их металлических конструкций на сопротивление усталости не требуется.

*Второй случай (II)* — максимальные (предельные) нагрузки рабочего состояния возникают при работе в наиболее тяжелых условиях эксплуатации с полным (номинальным) грузом. Эти нагрузки могут вызываться максимальными статическими сопротивлениями, резкими пусками и торможениями, максимальной силой ветра рабочего состояния, плохим состоянием подкранового пути. По этим нагрузкам производится расчет прочности и устойчивости крана в целом и отдельных его элементов, причем выбирается наиболее опасная комбинация нагрузок в пределах действительно возможного их сочетания на основе практики расчетов и эксплуатации кранов. Максимальные нагрузки ограничиваются предельными значениями величин, возникающих при буксовании ходовых колес, проскальзывании муфт предельного момента, срабатывании электрической защиты, срезе контрольных пальцев и т. п.

*Третий случай (III)* — нагрузки нерабочего состояния возникают при отсутствии груза и при наличии ветра нерабочего состояния (ураган), а в некоторых условиях при изменении температуры воздуха, снегопаде и обледенении. По этим нагрузкам производится проверка прочности и устойчивости крана в целом и от-

дельных его элементов, Положение грузовой тележки принимается наиболее опасным, если не предусмотрены специальные блокировочные устройства.

Кроме трех основных случаев нагружения могут иметь место *случаи при действии особых нагрузок*. К ним относятся транспортные нагрузки при перевозке, монтажные, сейсмические нагрузки, действие взрывной волны, удар в буферы. По этим нагрузкам производят проверку прочности и устойчивости крана и его элементов с минимальными значениями запаса прочности.

Ниже приведены основные сочетания (комбинации) расчетных нагрузок металлических конструкций кранов.



## **5. РАСЧЕТНЫЕ НАГРУЗКИ И ИХ ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ СОЧЕТАНИЯ ДЛЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ КРАНОВ (ПЕРВОЕ ПРЕДЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ)**

Так как, как правило, при проектировании крановых металлических конструкций данные об их фактической нагруженности (в условиях эксплуатации за срок службы) пока отсутствуют, следует пользоваться расчетными сочетаниями нагрузок, принятыми из опыта эксплуатации.

*При первом сочетании расчетных нагрузок (А)* как для I случая нагружения, так и для II случая нагружения, предусматривают следующую работу механизмов: кран неподвижен; производится подъем (плавный для I случая нагружения; резкий для II случая нагружения) груза с земли (от основания) или торможение его при опускании. При этом рассматривают два случая: грузовая тележка (электроталь) находится посередине пролета; грузовая тележка (электроталь) находится около одной из концевых балок.

*При втором сочетании расчетных нагрузок (В)* как для I случая нагружения, так и для II случая нагружения, предусматривают следующую работу механизмов: кран с грузом в движении; происходит разгон (плавный для I случая нагружения; резкий для II случая нагружения) или торможение механизма передвижения крана. При этом также рассматривают два случая: грузовая тележка (электроталь) находится посередине пролета; грузовая тележка (электроталь) находится около одной из концевых балок.

*При третьем сочетании расчетных нагрузок (С)* как для I случая нагружения, так и для II случая нагружения, предусматривают следующую работу механизмов: кран с грузом в движении; происходит разгон (плавный — для I случая нагружения; резкий — для II случая нагружения) или торможение механизма передвижения грузовой тележки. Движение крана происходит с перекосом моста, либо происходит его торможение. При этом тележка с грузом располагается у рассчитываемой балки.

При четвертом сочетании расчетных нагрузок (для III случая нагружения) кран неподвижен и на него воздействует ветровая нагрузка нерабочего состояния (ураган). Четвертое сочетание учитывают только для кранов с пролетом более 34,5 м и при установке в районах с динамическим давлением ветра не менее 700 Па.

### **5.1. Первое сочетание расчетных нагрузок для I и II случаев нагружения**

Данное сочетание для проектного или проверочного расчета главных балок моста в середине пролета.

При данном сочетании учитывают следующие виды расчетных нагрузок:

- вес металлической конструкции крана;
- вес оборудования, неподвижно расположенного на металлической конструкции (кабина, люлька, приводы, крановые колеса с буксами, подтележечные рельсы);
- вес оборудования, перемещающегося по металлической конструкции (грузовые тележки, электроталь);
- вес груза (включая грузозахватное приспособление) с учетом динамического коэффициента;
- нагрузка на конструкцию от максимальной силы ветра рабочего состояния (для II случая нагружения).

#### **5.1.1. Весовые нагрузки**

Весовые нагрузки обусловлены действием силы тяжести и определяются от масс элементов конструкции, оборудования и перемещаемого груза. Значения весовых нагрузок умножают на коэффициент перегрузки, учитывающий возможность превышения соответствующих масс над их нормативной (номинальной) величиной.

Равномерно распределенная нагрузка от собственных масс пролетных и концевых балок определяется по формуле:

$$q_i = \frac{n_1 m_i g}{L_i}, \quad (5.1)$$

где  $m_i$  — масса  $i$ -ой пролетной или концевой балки;  
 $g$  — ускорение свободного падения ( $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ );

$n_1$  — коэффициент перегрузки, учитывающий возможное превышение веса металлической конструкции. Для I случая нагружения  $n_1 = 1,0$ ; для II случая нагружения при проектном расчете  $n_1 = 1,1$ , при поверочном —  $n_1 = 1,0$ ;

$L_i$  — расчетная длина  $i$ -ой пролетной или концевой балки.

Вес балок моста  $G_B = m_i g$  может быть определен по рис. 5.1.

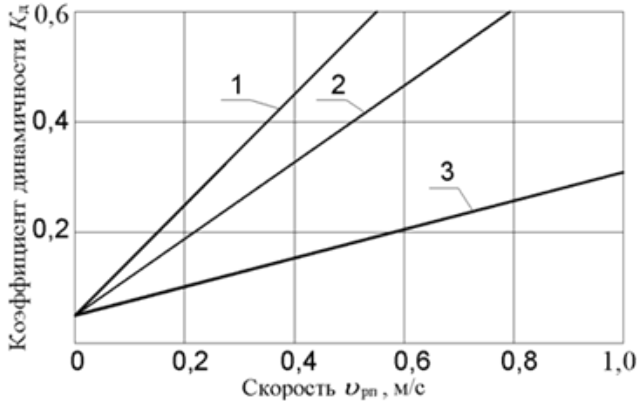


Рис. 5.1. Значения динамического коэффициента  $K_d$  (по СТО 24.09-5821-01-93):

1 — двигатель с короткозамкнутым ротором; 2 — двигатель с фазным ротором; 3 — двигатель с системой плавного управления

Вес элементов оборудования (неподвижного и подвижного) определяется по формуле:

$$G_i = n_{2,3} M_i g, \quad (5.2)$$

где  $M_i$  — масса  $i$ -го элемента оборудования;

$n_{2,3}$  — коэффициент перегрузки, учитывающий возможное превышение веса оборудования:  $n_2$  коэффициент перегрузки неподвижного оборудования,  $n_3$  коэффициент перегрузки подвижного оборудования ( $n_2 = n_3 = 1,1 \dots 1,3$  [5]).

Масса грузовой тележки  $M_i$  может быть определена по грузоподъемности крана [4]. Предварительно вес тележки  $G_T$  можно принять в зависимости от суммарного веса номинального груза с крюковой подвеской  $Q_H$  равным [6]:

$G_T = (0,25 \dots 0,35) Q_H$  — для группы режима работы механизмов 1М...4М [2];

$G_T = (0,4 \dots 0,5) Q_H$  — для группы режима работы механизмов 5М...6М [2].

Вес привода механизма передвижения крана  $G_x$  можно принять по усредненным данным [6] в зависимости от грузоподъемности:  $G_x = 3 \dots 4$  кН — 5...12,5 т;  $G_x = 6 \dots 7$  кН — 20...50 т;  $G_x = 8 \dots 12$  кН — 80...320 т.

Вес груза для I случая нагружения определяется по формуле:

$$Q = (1 + \psi_1) Q_3, \quad (5.3)$$

где  $\psi_1$  — динамический коэффициент;

$Q_3$  — эквивалентный вес груза.

Согласно СТО 24.09-5821-01-93 [8], динамический коэффициент  $\psi_1$  равен

$$\psi_1 = K_d K_d^*, \quad (5.4)$$

где  $K_d$  — коэффициент динамичности, определяемый по графику *рис. 5.1* в зависимости от расчетной скорости  $v_{pn}$  подъема груза и вида привода. Для кранов режима работы 4К — 5К

$$v_{pn} = (0,35 \dots 0,5) v_n, \quad (5.5)$$

для кранов режима работы 6К — 8К

$$v_{pn} = (0,5 \dots 0,8) v_n \quad (5.6)$$

$K_d^*$  — корректирующий коэффициент, учитывающий характер изменения нагрузки на механизм подъема и особенности груза. Определяется по данным *табл. 5.1*.

Эквивалентный вес груза определяется по формуле

$$Q_3 = \varphi_3 Q_H, \quad (5.7)$$

где  $\varphi_3$  — коэффициент режима нагружения (коэффициент эквивалентности). Для режимов работы: 8К —  $\varphi_3 = 1$ ; 7К, 6К —  $\varphi_3 = 0,8 \dots 0,7$ ; 5К — 4К —  $\varphi_3 = 0,7 \dots 0,6$ .

Вес груза для II случая нагружения определяется по формуле:

$$Q = n_4 (1 + \psi_2) Q_H, \quad (5.8)$$

где  $n_4$  коэффициент перегрузки. Для крюковых кранов  $n_4$  определяется по данным *табл. 5.2*;

$\psi_2$  — динамический коэффициент, определяемый по формуле (5.4) при  $v = v_{II}$ .

Таблица 5.1

Значения корректирующего коэффициента КД\*  
(по СТО 24.09-5821-01-93)

Характер изменения нагрузки на механизм подъема	Перемещаемый груз (пример)	$K_{д}^*$
Весьма плавное нарастание вследствие высокой податливости груза	Пачки хлыстов	0,60
Постепенное увеличение вследствие неодновременного отрыва груза от основания	Строительные детали, металлопрокат	0,80
Резкое нарастание в результате одновременного отрыва основания груза от опоры	Литейные изложницы при подъеме с металлического пола	1,5

Таблица 5.2

Коэффициенты перегрузки  $n_2$  для крюковых кранов  
(по СТО 24.09-5821-01-93)

Грузоподъемность крана, кН	Группа режима кран				
	1К, 2К	3К, 4К	5К	6К, 7К	8К
До 50	1,15	1,25	1,35	1,5	1,6
Св. 50 до 125 вкл.	1,1	1,2	1,25	1,5	1,6
Св. 125 до 200 вкл.	1,1	1,15	1,2	1,4	1,5
Св. 200	1,1	1,1	1,15	1,4	1,4

### 5.1.2. Ветровая нагрузка

Максимальную ветровую нагрузку  $P_B$  в рабочем состоянии крана следует определять по формуле:

$$P_B = P_B^C + P_B^D, \quad (5.9)$$

где  $P_B^C$  — статическая составляющая ветровой нагрузки;

$P_B^D$  — динамическая составляющая ветровой нагрузки, вызываемая пульсацией скорости ветра.

Статическую составляющую ветровой нагрузки  $P_B^C$  следует определять по формуле:

$$P_B^C = \sum (p_B^h A_H), \quad (5.10)$$

где  $p_B^h$  — распределенное давление ветра в данной зоне высоты;

$A_H$  — расчетная наветренная площадь (нетто) конструкции и груза.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)