

**В.В. Матвеев**

# **Примеры расчета такелажной оснастки**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 528  
ББК 38.2  
В11

B11 **В.В. Матвеев**  
Примеры расчета такелажной оснастки / В.В. Матвеев – М.: Книга по Требованию, 2024. – 320 с.

**ISBN 978-5-458-24516-6**

Учебное пособие для техникумов. Издание четвертое, переработанное и дополненное. Изложены вопросы расчета и выбора грузоподъемных средств и отдельных элементов такелажной оснастки, применяемых при монтаже различного технологического оборудования в конструкций. Рассмотрены аналитический и графический способы определения усилия в оснастке с дальнейшим расчетом конструктивных размеров элементов. Отдельные расчеты иллюстрированы схемами и практическими примерами. Новое издание пособия дополнено расчетами, учитывающими новинки грузоподъемных средств, такелажа и монтажной технологии. Для учащихся монтажных техникумов по специальности «Монтаж и ремонт промышленного оборудования». Издание 3-е вышло в 1979 г.

**ISBN 978-5-458-24516-6**

© Издание на русском языке, оформление  
«YOYO Media», 2024  
© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригиналe, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



## НАИБОЛЕЕ ЧАСТО ВСТРЕЧАЕМЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

### 1. Усилия и нагрузки

$N$  — продольное усилие, кН;

$Q$  — поперечное усилие, кН;

$P, S$  — усилия в элементах такелажной оснастки, кН;

$F_t$  — усилие трения, кН;

$R_k$  — разрывное усилие в канате, кН;

$G$  — масса, т или кг;

$M$  — изгибающий момент, кН·см, кН·м.

### 2. Геометрические характеристики

$H, h$  — высота, м, см, мм;

$L, l$  — длина, м, см, мм;

$F$  — площадь сечения, см<sup>2</sup>;

$W$  — момент сопротивления сечения, см<sup>3</sup>;

$I$  — момент инерции сечения, см<sup>4</sup>;

$r$  — радиус инерции сечения, см;

$\delta$  — толщина элемента, см, мм;

$\lambda$  — гибкость элемента (предельные гибкости см. прилож. XX).

### 3. Характеристики материалов

$R$  — расчетные сопротивления металла на растяжение, сжатие, изгиб, срез и смятие; наименьшая возможная величина нормативного сопротивления, представляющая собой сопротивление материала, отвечающее значению предела текучести, МПа (расчетные сопротивления для прокатных сталей, сварных и болтовых соединений см. прилож. XIII);

$\sigma_{\text{вр}}$  — временное сопротивление металла разрыву, МПа;

$E$  — модуль упругости: для стали  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа, или  $2,1 \cdot 10^4$  кН/см<sup>2</sup>.

### 4. Коэффициенты

$\kappa_8$  — коэффициент запаса прочности каната: число, показывающее во сколько раз следует уменьшить нагрузку на канат по сравнению с разрывным усилием, чтобы натяжение каната при выполнении такелажной операции было безопасным (значения коэффициента см. прилож. XI);

$\kappa_{\text{п}}$  — коэффициент перегрузки, равный 1,1: учитывает возможное отклонение фактической нагрузки в неблагоприятную сторону от нормативного значения в результате изменчивости нагрузки, отступлений от нормальной эксплуатации, а также вследствие неточного определения массы и расположения центра массы поднимаемого оборудования;

$\kappa_d$  — коэффициент динамичности: учитывает повышение нагрузки на такелажные элементы, связанное с изменением скорости подъема или опускания груза и неравномерным сопротивлением трения при перемещении оборудования (коэффициент в среднем может быть принят равным 1,1);

$\kappa_n$  — коэффициент неравномерности нагрузки на такелажные элементы при подъеме и перемещении оборудования спаренными подъемно-транспортными средствами (кранами, мачтами, полиспастами), работающими с разными скоростями (коэффициент в среднем может быть принят равным: при использовании балансирующих устройств — 1,1, при их отсутствии — 1,2);

$m$  — коэффициент условий работы: учитывает действительные особенности работы такелажных элементов и конструкций, не учтенные расчетом, такие, например, как изменение температур, многократность силовых воздействий, приближенность и упрощение расчетов (значения коэффициента см. прилож. XIV);

$\mu$  — коэффициент приведения расчетной длины элемента, зависящий от условий закреплений его концов и приложения нагрузки (значения коэффициента см. прилож. XII);

$\varphi$  — коэффициент продольного изгиба стержня (см. прилож. XV—XVII)

# Г л а в а I. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РАСЧЕТА ТАКЕЛАЖНОЙ ОСНАСТКИ И ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ СРЕДСТВ

## § 1. Основные принципы расчета такелажной оснастки и грузоподъемных средств

При монтаже технологического оборудования и металлоконструкций наравне с монтажными кранами различных типов применяются всевозможное такелажное оборудование и оснастка: монтажные мачты, порталы, шевры и стрелы, опоры, стойки, распорки, монтажные балки, монорельсы, траверсы, полиспасты, блоки, якоря, лебедки, домкраты, канатные элементы различных назначений (стропы, ванты, стяжки, оттяжки, тяговые и тормозные канаты и т. п.). Технически грамотное использование их при условии обеспечения безопасности ведения монтажных работ без излишних запасов прочности связано с расчетом этого оборудования и оснастки. Большинство из вышеперечисленных видов подъемно-транспортных и такелажных средств может быть изготовлено монтажной организацией. Для этого также необходим их предварительный расчет.

Расчет такелажных средств и оснастки сводится к решению следующих двух задач:

1. Определение максимальных расчетных усилий, возникающих в различных элементах такелажных средств в процессе подъема и перемещения оборудования и конструкций.

2. Определение конструктивных размеров этих элементов с учетом максимальных нагрузок, действующих на них, или подбор стандартного такелажного оборудования по расчетным нагрузкам.

Так, для изготовления траверсы вначале определяются расчетные усилия, действующие на нее, а затем по ним — ее сечение; при использовании тягового механизма вначале рассчитываются усилия, действующие на тяговый канат, после этого по таблицам подбирается лебедка или трактор с соответствующей этим усилиям технической характеристикой. Решение первой задачи, состоящей в определении расчетных усилий, действующих на элементы такелажа, может быть выполнено аналитическим или графическим методами. Эти методы рассматриваются и используются в данном пособии.

Все расчеты такелажной оснастки выполнены с учетом требований «Инструкции по проектированию, изготовлению и эксплуа-

тации монтажных приспособлений» (ВСН 42-74, соответствующих СНиП 23—81 «Стальные конструкции. Нормы проектирования» и отраслевому стандарту «Канаты стальные такелажных средств» (ОСТ 36—73—82)).

Расчеты прочности и устойчивости элементов такелажной оснастки из прокатной стали выполняются по методу предельных состояний. Предельным называется такое состояние, при котором конструкция перестает удовлетворять предъявляемым к ней требованиям, связанным с назначением и ответственностью. Этот метод заключается в определении расчетных усилий в элементах оснастки и сравнении напряжений от этих усилий с соответствующими расчетными сопротивлениями, умноженными на коэффициенты условий работы. Расчетные усилия, в свою очередь, определяются по расчетным нагрузкам, получаемым путем умножения нормативных нагрузок, отвечающих условиям нормальной эксплуатации и представляющих собой массы поднимаемого оборудования и монтажных приспособлений, на коэффициенты перегрузки. При этом расчетные нагрузки учитывают возможное превышение нормативных нагрузок, вызванное отступлениями от нормальных условий эксплуатации.

Существуют следующие виды расчета такелажной оснастки из прокатной стали по методу предельных состояний:

1. Проверка прочности элемента при известной нагрузке на него по заданным размерам сечения и материалу (проверочный расчет)

$$N/F \leq m0,1R.$$

2. Подбор сечения элемента при известной нагрузке по условиям его работы и материалу (проектный расчет)

$$F_{\text{тр}} \geq N/(m0,1R).$$

3. Определение несущей способности (допускаемого усилия) на элемент по известным размерам и материалу

$$N \leq m0,1RF,$$

где  $N$  — величина нагрузки на элемент, кН;  $F$  — площадь сечения элемента,  $\text{см}^2$ ;  $m$  — коэффициент условий работы;  $R$  — расчетное сопротивление, МПа.

Прочность стальных канатов рассчитывается по методу коэффициентов запаса, который состоит в определении максимальных расчетных усилий в ветвях канатов. Эти усилия должны соответствовать нормативным нагрузкам от массы поднимаемого оборудования и монтажных приспособлений без учета коэффициентов перегрузки и динамики, умноженным на коэффициент запаса прочности, и сравниваться с разрывным усилием каната в целом.

Все грузоподъемные устройства рассчитываются с учетом следующих нагрузок и воздействий:

масс поднимаемого груза и самого грузоподъемного устройства вместе со всеми монтажными приспособлениями;

усилий в оттяжках, расчалках и сбегающих ветвях полиспастов;

нагрузок, вызываемых отклонением грузоподъемного устройства от вертикали;

динамических воздействий, учитываемых коэффициентом, равным 1,1;

ветровых нагрузок.

Все захватные приспособления рассчитываются с учетом следующих нагрузок:

масс поднимаемых грузов и захватных приспособлений;

усилий оттяжек;

динамических воздействий, учитываемых коэффициентом, равным 1,1.

При определении усилий в грузоподъемных устройствах и траверсах масса поднимаемого груза и самого грузоподъемного устройства умножается на коэффициент перегрузки, равный 1,1. При определении усилий в грузовых полиспастах, расчалках, оттяжках, тягах и стропах коэффициенты перегрузки и динаминости не учитываются.

Для некоторого упрощения расчетов, приведенных в настоящем пособии, не учитываются ветровые нагрузки ввиду их малой величины. При необходимости их учета следует пользоваться указаниями СНиП II-6—74 «Нормы проектирования. Нагрузки и воздействия».

При переводе единиц системы МКГСС в систему СИ необходимо учитывать, что килограмм-сила  $P$  равна весу тела, имеющего массу  $G = 1$  кг при нормальном ускорении свободного падения  $g = 9,80665 \text{ м/с}^2$ , т. е. в системе СИ  $P = Gg$ . Округляя величину ускорения  $g$  до  $10 \text{ м/с}^2$ , получаем  $P = 10G$  (точность, достаточная для учебного пособия). В системе СИ единицей напряжения и давления является паскаль, или  $1 \text{ Н}$ , деленный на  $1 \text{ м}^2$ . Для расчетов используют единицы килопаскаль и мегапаскаль ( $1 \text{ кгс/см}^2 \approx 0,1 \text{ МПа} = 10 \text{ кН/см}^2$ ).

## § 2. Материалы, применяемые для изготовления такелажной оснастки и грузоподъемных средств

Элементы такелажной оснастки и грузоподъемных средств изготавливаются из стали, представляющей собой сплав железа с углеродом. В зависимости от содержания углерода сталь подразделяется на три группы:

низкоуглеродистая (до 0,25 %); среднеуглеродистая (0,25—0,6 %); высокоуглеродистая (0,6—2 %).

Для улучшения свойств стали в нее вводятся легирующие компоненты. В соответствии с количеством легирующих компонентов в сталях последние делятся на:

- углеродистые (легирующие элементы не вводятся);
- низколегированные (до 2,5 %);
- среднелегированные (2,5—10 %);
- высоколегированные (более 10 %).

В зависимости от механических свойств (предел текучести и временное сопротивление) для грузоподъемных средств применяются стали четырех классов прочности (классы стали): С38/23, С44/29, С46/33 и С52/40. Здесь приняты обозначения: С — сталь, числитель — временное сопротивление, знаменатель — предел текучести. Причем низкоуглеродистые стали класса С38/23 относятся к группе сталей обычной прочности, а низколегированные стали классов С44/29, С46/33 и С52/40 — к сталям повышенной прочности.

В грузоподъемных устройствах обычно используются стали группы В, в которых гарантируются механические свойства и требования по химическому составу; для этой группы сталей механические свойства — прочность, а требования к химическому составу — свариваемость и качество стали.

Марки углеродистых сталей имеют буквенно-цифровые обозначения: так, буквы Ст обозначают «сталь», а цифры 0, 1, 2, 3 и т. д. — порядковый номер, зависящий от химического состава и свойств. Сталь группы В перед обозначением марки имеет букву В. Степень раскисления стали обозначается: сп — спокойная, пс — полуспокойная и кп — кипящая. При повышенном содержании марганца после номера марки ставится буква Г. Категория стали обозначается в конце марки номером. Например марка стали ВСтЗсп5 означает: сталь марки 3 спокойная группы В 5-й категории, сталь ВСтЗкп2 — сталь марки 3 кипящая группы В 2-й категории.

В такелажных приспособлениях и в грузоподъемных средствах наиболее распространена Ст3, обозначающая все разновидности сталей этой марки, так как хорошо сваривается и надежно работает при различных нагрузках.

Так, для монтажных и такелажных приспособлений и грузоподъемных средств из листового, фасонного и сортового проката обычно применяются стали:

для расчетных температур до  $-30^{\circ}\text{C}$  — сталь класса С38/23 марки ВСтЗкп2;

для расчетных температур от  $-30$  до  $-40^{\circ}\text{C}$  — сталь того же класса марок ВСтЗсп6 или ВСтЗГпс5.

За расчетную температуру принимают среднюю температуру наиболее холодной пятидневки года для данной местности. Значения этих температур определяются по таблице, приведенной в СНиП II-А.6—72.

Для изготовления грузоподъемных средств и такелажных приспособлений рекомендуется использовать следующие

виды прокатных сталей: сталь угловая равнополочная по ГОСТ 8509—72\* (СТ СЭВ 104—74), балки двутавровые с уклоном внутренних граней полок по ГОСТ 8239—72\* (СТ СЭВ 2209—80) и с параллельными гранями полок, швеллер с уклоном внутренних граней полок по ГОСТ 8240—72\* (СТ СЭВ 2210—80).

Для элементов грузоподъемных средств применяются следующие типы стальных труб: горячедеформированные бесшовные по ГОСТ 8732—78 (СТ СЭВ 1481—78); электросварные прямошовные по ГОСТ 10704—76 (СТ СЭВ 490—77).

Для осей и шарниров используется круглый прокат из стали марок СтЗсп3 и Ст5сп3 по ГОСТ 380—71\*; сталь 20; 35 и 45 по ГОСТ 1050—74\*\*.

Для соединения элементов и узлов грузоподъемных средств и такелажной оснастки, воспринимающих сдвигающие или растягивающие усилия, применяются болты из стали марок сталь 20 и 45 по ГОСТ 1050—74\*\* или сталь 35Х по ГОСТ 4543—71\*.

Для сварки элементов такелажной оснастки и грузоподъемных средств рекомендуются электроды следующих типов: для стали класса С38/23 и стали 20—Э42 или Э46; для стали С44/29 и С46/33—Э46 или Э50; для стали С52/40—Э50А.

При такелажных работах рекомендуются стальные канаты следующих типов (прилож. I): для полиспастов и стропов — канат типа ЛК-РО конструкции  $6 \times 36 (1 + 7 + 7/7 + 14) + 1$  о. с. по ГОСТ 7668—80 и в качестве замены — канат типа ТЛК-О конструкции  $6 \times 37 (1 + 6 + 15 + 15) + 1$  о. с. по ГОСТ 3079—80; для оттяжек, тяг, вант — канат типа ЛК-Р конструкции  $6 \times 19 (1 + 6 + 6/6) + 1$  о. с. по ГОСТ 2688—80 и в качестве замены — канат типа ЛК-О конструкции  $6 \times 19 (1 + 9 + 9) + 1$  о. с. по ГОСТ 3077—80.

### § 3. Расчет элементов грузоподъемных средств, работающих на поперечный изгиб

В такелажных приспособлениях и грузоподъемных устройствах широко используются элементы, работающие как балки на поперечный изгиб. К таким элементам относятся: монтажные балки; траверсы, работающие на изгиб; монорельсы; кран-балки; ригели порталов, шевров, монтажных подпорок и опор.

В зависимости от назначения, величин нагрузок и пролетов эти элементы изготавливаются различных сечений. Так, для сравнительно небольших нагрузок и пролетов обычно используются сплошные балки, выполненные из одиночных швеллеров, двутавров или стальных труб. Для значительных нагрузок применяются балки сквозных сечений, составленные из парных швеллеров или двутавров, соединенных стальными пластинами, либо выполненные из стальных труб, усиленных элементами жесткости (уголки, пластины), или, наконец, имеющие решетчатую или составную сварную конструкцию.

Балки, работающие на поперечный изгиб, рассчитываются в определенной последовательности.

1. Подсчитывают нагрузки (кН), действующие на балку с учетом масс поднимаемых грузов и такелажных приспособлений, усилий в оттяжках и сбегающих ветвях полиспастов. При этом нагрузки от масс поднимаемых грузов и такелажных приспособлений умножаются на коэффициенты перегрузки и динамичности, равные 1,1.

2. Находят максимальный изгибающий момент  $M_{\max}$  (кН·см) от расчетных нагрузок по правилам сопротивления материалов или по формулам, приведенным в табл. 1 для наиболее часто встречающихся случаев использования балок. Учитывая, что в большинстве такелажных приспособлений и грузоподъемных средств пролеты балок, как правило, сравнительно незначительны, в практических расчетах изгибающим моментом от собственной массы балки можно пренебречь, так как по сравнению с изгибающим моментом от основных монтажных нагрузок он очень мал.

При значительных пролетах к основной формуле для изгибающего момента прибавляется изгибающий момент от собственной массы балки, равный  $10 gl^2/8$  (здесь  $l$  — рабочая длина балки, см;  $g$  — масса 1 м балки, т). Массой  $g$  задаются ориентировочно исходя из основного изгибающего момента  $M_{\max}$  от расчетных нагрузок, действующих на балку:

$M_{\max}$ , кН·см	До 1000	1500— 3000	3000— 8000	8000— 15 000	15 000— 45 000	45 000— 60 000	60 000— 75 000	75 000— 100 000
$g$ , т	0,015	0,04	0,07	0,10	0,16	0,18	0,20	0,22

3. Вычисляют требуемый момент сопротивления поперечного сечения балки ( $\text{см}^3$ ):

$$W_{\text{тр}} \geq M_{\max} / (m0,1R),$$

где  $m$  — коэффициент условий работы (см. прилож. XIV);  $R$  — расчетное сопротивление при изгибе, МПа (см. прилож. XIII для прокатной стали).

4. Устанавливают расчетную схему балки, задаваясь профилем по сортаменту для сплошных балок (швеллер, двутавр или стальная труба), выбирают одну из схем сквозного сечения балки по табл. 2 или, наконец, принимают решетчатую либо сварную составную конструкцию балки.

5. Для сплошных балок, пользуясь прилож. II, III, V, выбирают профиль с моментом сопротивления  $W_x$ , ближайшим большим к требуемому  $W_{\text{тр}}$ . Для сквозных балок определяют  $W_x$  для схемы, принятой по табл. 2, подбрав предварительно по прилож. II—V профиль с такими размерами, при которых момент сопротивления балки в целом  $W_x$  не меньше  $W_{\text{тр}}$ .

Расчеты сечения решетчатой или сварной составной балок приводятся ниже.

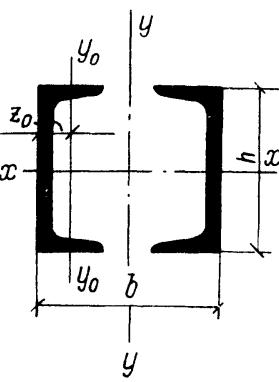
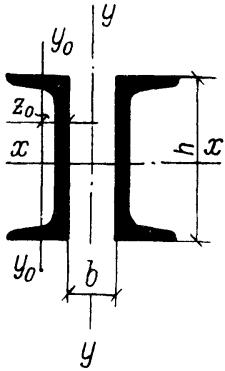
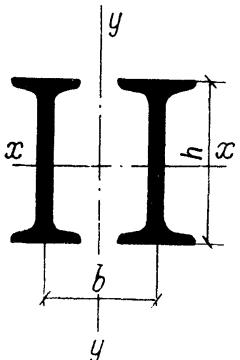
Т а б л и ц а 1. Расчетные формулы элементов грузоподъемных средств, работаю  
собственной массы элементов)

Расчетная схема	Соотношение плеч	Опорные	
		$N_A$	
	$l_1 = l_2$	$0,5P$	
	$l_1 < l_2$		$P \frac{l_2}{l}$
	$l_1 = l_2$	$P$	
	$l_1 < l_2$		$P \left( 1 + \frac{l_2 - l_1}{l} \right)$
	$l_1 = l_2$	$P_1 - (P_1 - P_2) \frac{l_1}{l}$	
	$l_1 < l_2$		$P_1 \left( 1 - \frac{l_1}{l} \right) + P_2 \frac{l_2}{l}$
	$l_1 = l_2$	$P_1 + \frac{P_2}{2}$	
	$l_1 < l_2$		$P_1 \left( 1 + \frac{l_2 - l_1}{l} \right) + \frac{P_2}{2}$

ших на поперечный изгиб и продольное сжатие (без учета

реакции $N_B$	Максимальный изгибающий момент $M_{\max}$	Максимальный прогиб $f$
$0,5P$	$P \frac{l}{4}$	$\frac{Pl^3}{48EI}$
$P \frac{l_1}{l}$	$Pl_1 \frac{l_2}{l}$	$\frac{Pl_2 l^2}{27EI} \left(1 - \frac{l_2^2}{l^2}\right) \sqrt{3 \left(1 - \frac{l_2^2}{l^2}\right)}$
$P$	$Pl_1$	$\frac{Pl_1^3}{27EI} \left(\frac{3l^2}{l_1^2} - 4\right)$
$P \left(1 - \frac{l_2 - l_1}{l}\right)$	$Pl_1 \left(1 + \frac{l_2 - l_1}{l}\right)$	$\frac{Pl^2}{27EI} \left[ \left(l_1 - \frac{l_1^3}{l^2}\right) \sqrt{3 \left(1 - \frac{l_1^2}{l^2}\right)} + \left(l_2 - \frac{l_2^3}{l^2}\right) \sqrt{3 \left(1 - \frac{l_2^2}{l^2}\right)} \right]$
$P_2 + (P_1 - P_2) \frac{l_1}{l}$	$\left[ P_1 - (P_1 - P_2) \times \frac{l_1}{l} \right] l_1$	$\frac{l_1 l^2}{27EI} (P_1 + P_2) \left(1 - \frac{l_1^2}{l^2}\right) \sqrt{3 \left(1 - \frac{l_1^2}{l^2}\right)}$
$P_1 \frac{l_1}{l} + P_2 \left(1 - \frac{l_2}{l}\right)$	$\left[ P_1 \left(1 - \frac{l_1}{l}\right) + P_2 \frac{l_2}{l} \right] l_1$	$\frac{P_1 l_1 l^2}{27EI} \left(1 - \frac{l_1^2}{l^2}\right) \sqrt{3 \left(1 - \frac{l_1^2}{l^2}\right)} + \frac{P_2 l_2 l^2}{27EI} \left(1 - \frac{l_2^2}{l^2}\right) \sqrt{3 \left(1 - \frac{l_2^2}{l^2}\right)}$
$P_1 + \frac{P_2}{2}$	$P_1 l_1 + P_2 \frac{l}{4}$	$\frac{P_1 l_1 l^2}{27EI} \left(1 - \frac{l_1^2}{l^2}\right) \sqrt{3 \left(1 - \frac{l_1^2}{l^2}\right)} + \frac{P_2 l_2 l^2}{27EI} \left(1 - \frac{l_2^2}{l^2}\right) \sqrt{3 \left(1 - \frac{l_2^2}{l^2}\right)} + \frac{P_2 l^3}{48EI}$
$P_1 \left(1 - \frac{l_2 - l_1}{l}\right) + \frac{P_2}{2}$	$P_1 \frac{l_1 + l_2}{2} + P_2 \frac{l}{4}$	$\frac{P_1 l_1 l^2}{27EI} \left(1 - \frac{l_1^2}{l^2}\right) \sqrt{3 \left(1 - \frac{l_1^2}{l^2}\right)} + \frac{P_2 l_2 l^2}{27EI} \left(1 - \frac{l_2^2}{l^2}\right) \sqrt{3 \left(1 - \frac{l_2^2}{l^2}\right)} + \frac{P_2 l^3}{48EI}$

Таблица 2. Схемы сквозных сечений балок и стержней и формулы для опре

№ схемы	Схема сечения сквозной балки или стержня	Главные	
		$x - x$	
		$I_x$ , см <sup>4</sup>	$W_x$ , см <sup>3</sup>
1		$2I_x^w$	$2W_x^w$
2		$2I_x^w$	$2W_x^w$
3		$2I_x^d$	$2W_x^d$