



МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
ВОРОНЕЖСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
ИНСТИТУТ

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
к первому курсовому проекту по стальным
конструкциям.

ВОРОНЕЖ 1954

Данное методическое пособие имеет целью ознакомление студентов, начинающих курсовое проектирование по стальным конструкциям, с последовательностью выполнения расчета, с возможными вариантами конструктивного решения, с учебными пособиями и справочниками, необходимыми для выполнения проекта. В тексте даются ссылки на рекомендуемую литературу с помощью квадратных скобок.

Методическое пособие не заменяет соответствующих разделов курса, имеется ввиду, что учащийся усвоил первую часть программы предмета, то есть «Элементы стальных конструкций».

Рассмотренные здесь конструктивные варианты не должны расцениваться, как обязательные при принятии какого-либо решения. Как известно, вариантов инженерного решения может быть предложено много; задача учащегося состоит в том, чтобы выбрать наилучший из них не только по весу, но и с учетом изготовления и монтажа конструкций.

В пособии более подробно изложена первая часть проекта (компоновочная), так как в теоретическом курсе эта часть изучается кратко.

Вторая часть расчетов (расчет главной балки, расчет колонны) дана в виде программы, эти расчеты подробно освещены в учебной литературе.

Методическое пособие составлено доцентом Кирсановым Н. М.

ВВЕДЕНИЕ

Темой первого курсового проекта по стальным конструкциям является расчет и конструирование балочной клетки и колонн рабочей площадки сталелитейного цеха.

Работа состоит из следующих частей:

1. Компоновочная часть.

Определение пролета главной балки (шага колонн в продольном направлении).

Выбор расположения балок в ячейке, выгодного с точки зрения затраты материалов и труда при изготовлении и монтаже конструкций.

2. Технический проект.

Расчет и конструирование сечений и сопряжений элементов принятого варианта рабочей площадки.

3. Детализованный проект.

Составление рабочего проекта монтажных элементов (марок), монтажных схем, спецификаций.

Объем графической части проекта — 1 чертежный лист.

В пояснительной записке дается описание рабочей площадки, ее назначение, обоснование применения стали для данного сооружения, нормы проектирования, кратко освещается методика проектирования и полученные результаты. (Пояснительная часть).

В расчетной части записки приводятся расчетные схемы и расчеты элементов, их сопряжений и краткая мотивировка принятых решений.

Пояснительная записка выполняется по установленной на кафедре форме для курсовых проектов (см. § 18).

КОМПОНОВОЧНАЯ ЧАСТЬ

§ 1. Схема рабочей площадки.

Проектирование рабочей площадки следует начинать лишь после того, как уяснено назначение сооружения и обоснован выбор материала для его возведения. Затем нужно представить себе (изобразив эскизно) общую схему конструкций и расположение элементов. Для этого необходимо начертить план и разрезы площадки (рис. 1), см. рис. стр. 5

A, B — размеры площадки в плане.

b — шаг колонн в поперечном направлении.

l — шаг колонн в продольном направлении.

h_1 — отметка низа конструкций.

h_2 — отметка верха конструкций.

Рабочая площадка состоит из следующих элементов: главных и вспомогательных балок, прогонов, настила (балочная клетка) колонн и связей. Назначение связей — создание горизонтальной жесткости, сооружения. С помощью связей горизонтальные усилия, возникающие при торможении завалочных машин и транспортного оборудования, передаются на базы колонн.

§ 2. Определение шага колонн в продольном направлении

Обычно в задании указывается полезная нагрузка, постоянная и временная. Требуется определить шаг колонн в продольном направлении, то есть пролет главной балки. При выборе пролета главной балки руководствуются следующими соображениями:

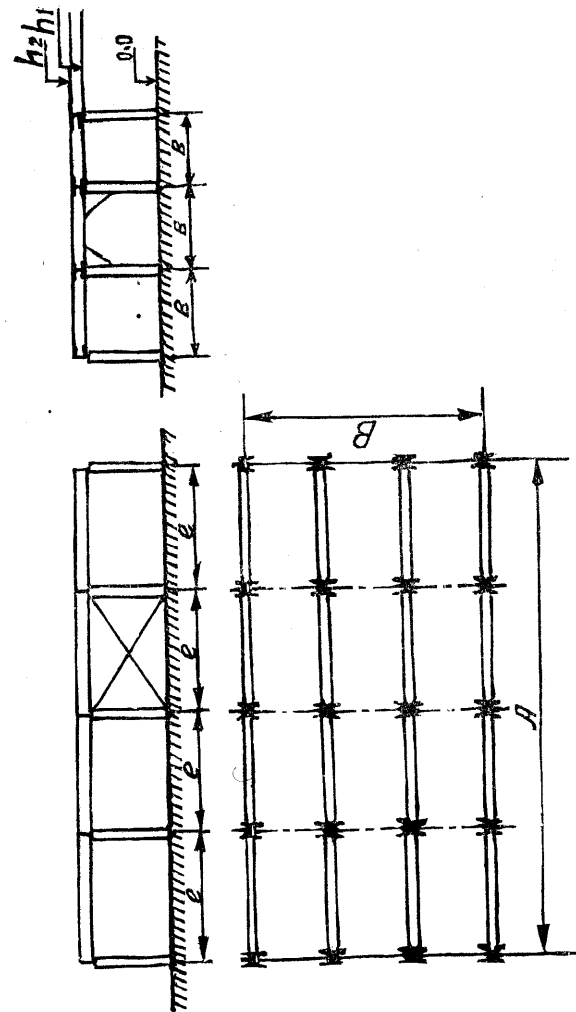
1) Пролет главной балки (шаг колонн) должен быть таким, чтобы общая стоимость конструкций рабочей площадки была наименьшей.

2) Размещение колонн должно отвечать технологическим требованиям данного производства.

Формула наивыгоднейшего пролета главной балки по стоимости выводится в курсе, рекомендуется проследить ее вывод (см. [1] стр. 221).

$$l_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{G_k C_M + V_o C_\Phi}{\alpha_6 C_M}} \quad (1)$$

G_k — вес наименьшей, возможной по конструктивным соображениям колонны. Вес одного метра такой колонны можно принять 50 кг. Таким образом, вес всей колонны в тоннах состав-



вит $C_k=0,05H$, где H — высота колонны в метрах с учетом заглубления базы под нулевую отметку пола на 0,5—0,6 м.

V_0 — минимально возможный объем фундамента, порядка 2 м^3 .

C_m — стоимость тонны металлоконструкций по ценнику (см. [5]).

C_f — стоимость 1 м^3 фундамента, см. там же.

α_6 — весовой коэффициент главной балки (см. [1], стр. 222).

По методике допускаемых напряжений:

$$\alpha_6 = \frac{(p_1 + q_1)\gamma\psi}{8[\sigma]\beta} \cdot \frac{1}{h} \quad (2a)$$

По методике проекта урочного положения:

$$\alpha_6 = \frac{[n_1 p_1 + n_2 q_1]\gamma\psi}{8 \cdot R\beta} \cdot \frac{1}{h} \quad (26)$$

p_1 — постоянная нагрузка на 1 м главной балки.

q_1 — временная нагрузка на 1 м главной балки.

$$p_1 = p b; \quad q_1 = q b$$

p, q — нагрузки на 1 м^2 (см. задание).

b — шаг колонн в поперечном направлении.

n_1, n_2 — коэффициенты перегрузки для постоянной и временной нагрузок. (см. [1] приложение № 1).

$[\sigma]$ — допускаемое напряжение на сталь в $\text{т}/\text{м}^2$.

R — расчетное сопротивление стали.

γ — объемный вес металла — $7,85 \text{ т}/\text{м}^3$.

ψ — конструктивный коэффициент, показывающий во сколько раз фактический вес больше теоретического. Приблизительно $\psi = 1,2$.

β — показывает, какую часть составляет ядровое расстояние от высоты балки $\beta = 0,3$.

$\frac{1}{h}$ — отношение пролета к высоте балки может быть принято в пределах $8 \div 10$.

Полученная по формуле (1) величина пролета может быть увеличена на 2—3 метра, с тем, чтобы пролет главной балки укладывался целое число раз в общей длине рабочей площадки.

§ 3. Расчет первого варианта — балочной клетки упрощенного типа.

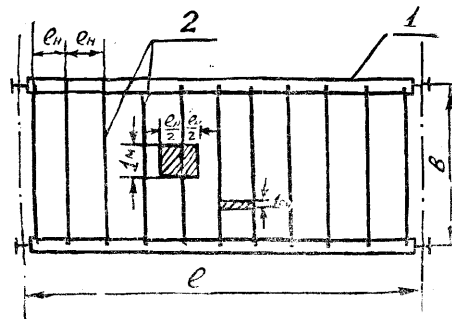


Рис. 2. 1—главная балка
2—вспомогательная балка

l — шаг колонн в продольном направлении, пролет главной балки.

b — шаг колонн в поперечном направлении.

1. Расчет настила.

Расстояние между вспомогательными балками определяется несущей способностью настила, толщиной которого задаемся, соотносясь с данной нагрузкой.

Например: В первом варианте балочной клетки при нагрузке до $2 \text{ т}/\text{м}^2$ можно принять толщину настила 8 мм ., при нагрузке $2\text{—}3 \text{ т}/\text{м}^2$ — 10 мм ., свыше $3 \text{ т}/\text{м}^2$ — 12 мм .. Во 2-м и 3-м вариантах желательно толщину настила уменьшить.

Определение пролета настила производится по допускаемому прогибу и по прочности.

Допускаемые прогибы см. Н и ТУ 1—46, п. 37.

Расчетную схему настила представим следующим образом: выделим полосу шириной 1 см ., как показано на рис. 2. Опорами выделенной полосы являются вспомогательные балки. Возможны два варианта расчетной схемы:

а) Упрощенная расчетная схема. Полоса настила по этой схеме рассчитывается, как простая балка, нагруженная равномерно распределенной полезной нагрузкой (рис. 3).

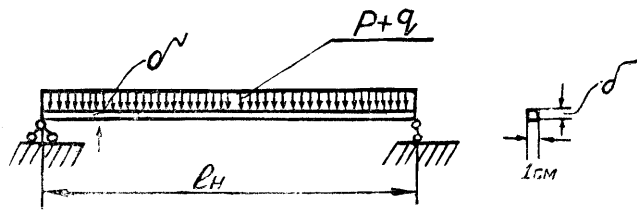


Рис. 3.

Выведем расчетные формулы по методике допустимых напряжений:

1. По прочности: наибольший изгибающий момент по схеме рис. 3.

$$M = \frac{[p+q]l_n^2}{8}$$

Момент сопротивления сечения шириной 1 см. и толщиной δ :

$$W = \frac{1 \cdot \delta^2}{\sigma}$$

Умножим W на $[\sigma]$ и подставим в первую формулу. Получим пролет настила из условий прочности:

$$l_n = \delta \sqrt[3]{\frac{4}{3} \frac{[\sigma]}{p+q}} \quad (3)$$

$p+q$ — заданная полезная нагрузка в кг/см².

δ — толщина настила в см.

$[\sigma]$ — допустимое напряжение в кг/см².

2. По допустимым прогибам.

Относительный прогиб настила по схеме рис. 3:

$$\frac{f}{l_n} \equiv \frac{5}{384} \frac{(p+q)l_n^4}{EJ}$$

В эту формулу подставим момент инерции полосы шириной 1 см. и толщиной δ :

$$J = \frac{1 \cdot \delta^3}{12}$$

Таким образом, найдем пролет настила по допустимым прогибам:

$$l_n = \delta^3 \sqrt[3]{\frac{f}{l_n} \cdot \frac{13,4 \cdot 10^6}{p+q}} \quad (4)$$

$\frac{f}{l_n}$ — допустимый прогиб.

При расчете по методике проекта Урочного положения формула (3) (первое предельное состояние) получит следующее изменение:

$$l_n = \delta \sqrt[3]{\frac{4}{3} \frac{R}{n_1 p + n_2 q}} \quad (5)$$

n_1 и n_2 — коэффициенты перегрузки, см. [1] приложение 1.

R — расчетное сопротивление стали, см. там же. По второму предельному состоянию в формулу (4) полезная нагрузка входит без коэффициентов перегрузки, поэтому формула (4) остается справедливой и для методики проекта Урочного положения.

В рассмотренной расчетной схеме не учитывается приварка настила к балкам. Однако, в подобных сооружениях настил может быть приварен к каждой балке.

б) Уточненная расчетная схема настила.

В данной схеме учитывается растягивающая сила, возникающая в настиле, если настил приварен к балкам (рис. 4).

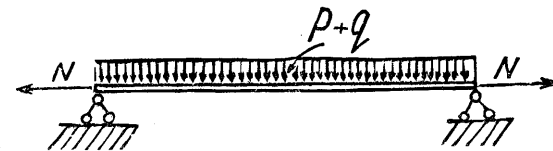


Рис. 4.

Расчет настила по такой схеме дан в курсе [1], стр. 229.

Из двух найденных величин пролета настила (по прогибам и по прочности) выбираем наименьший, округляя который до размера, кратного 5 см., найдем расстояние между прогонами.

В заключение подсчитаем собственный вес 1 м² настила. Известно, что вес одного квадратного метра листовой стали толщиной 10 мм. составляет 78,5 кг.

Чтобы определить вес настила при толщине, отличной от

10 мм., нужно умножить 78,5 на отношение данной толщины в мм. к 10 мм.

Например: вес листа толщиной 8 мм. составляет

$$78,5 \frac{8}{10} = 63 \text{ кг м}^2$$

2. Расчет вспомогательной балки ячейки упрощенного типа.

Расчетная схема балки показана на рис. 2. Опорами ее служат главные балки, следовательно, пролет вспомогательной балки — шаг колонн в поперечном направлении — b .

а) Расчет по методике допускаемых напряжений.

Расчет по прочности.

Нагрузка на 1 пог. м. вспомогательной балки определяется по схеме рис. 2.

$$q_{всп} = [p + q + g_n] l_n \quad (6)$$

где: $p + q$ — полезная нагрузка на 1 м².

g_n — собственный вес настила на 1 м² (определен ранее)

При определении изгибающего момента неразрезность не учитывается — см. Н и ТУ п. 36

$$M_{всп} = \frac{q_{всп} \cdot b^2}{8} \quad (7)$$

Требуемый момент сопротивления:

$$W = \frac{M_{всп}}{1,15[\sigma]} \quad (8)$$

1,15 — коэффициент увеличения допускаемых напряжений на материал прокатной балки при учете развития пластических деформаций, см. [1], стр 234, Н и ТУ п. 36.

Зная W , подбираем по сортаменту вспомогательную балку двутаврового или швеллерного профиля.

Подсчитаем вес вспомогательных балок, приходящийся на 1 м² площадки.

$$g_{всп.м} = \frac{g_{всп.пм}}{l_n} \quad (9)$$

$g_{всп.пм}$ — вес погонного метра балки по сортаменту.

l_n — расстояние между балками (шаг балок).

Таким образом, фактическая нагрузка на погонный метр вспомогательной балки с учетом собственного веса балки может быть найдена:

$$q_{всп}^{\Phi} = (p + q + g_n + g_{всп.м}^2) l_n \quad (10)$$

Затем проверим фактические напряжения:

$$M_{всп}^{\Phi} = \frac{g_{всп}^{\Phi} b^2}{8} \quad (11)$$

$$\sigma^{\Phi} = \frac{M_{всп}^{\Phi}}{1,15 W^{\Phi}} \leq [\sigma] \quad (12)$$

W^{Φ} — фактический момент сопротивления балки (по сортаменту). Отклонение от допускаемых напряжений:

$$\frac{[\sigma] - \sigma^{\Phi}}{[\sigma]} \cdot 100\% \quad (13)$$

При подборе прокатных профилей отклонение от допускаемых напряжений по формуле (13) должно находиться в пределах: 1% — превышение напряжений и 5% — недонапряжение.

б) Проверка прогибов

$$\frac{f}{b} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{всп}^{\Phi} \cdot b^3}{EJ} \leq \left[\frac{f}{b} \right] \quad (14)$$

E — модуль упругости стали.

J — момент инерции балки по сортаменту.

$\left[\frac{f}{b} \right]$ — допускаемый прогиб.

Расчет по методике проекта Урочного положения

а) Первое предельное состояние (по прочности).

В формулу (6) введем соответствующие коэффициенты перегрузки n_1 и n_2 , см. [1]; приложение 1.

$$q_{всп} = [(p + g_n) n_1 + q n_2] l_n \quad (15)$$

В формуле (8) допускаемые напряжения заменим расчетным сопротивлением (коэффициент условий работы $m=1$).

$$W = \frac{M}{1,15R} \quad (16)$$

Формула (10) примет следующий вид:

$$q_{всп}^{\Phi} = [(p + g_H + g_{всп. м.э})n_1 + qn_2] l_H \quad (17)$$

Фактические напряжения при этом следует сопоставлять с расчетным сопротивлением:

$$\sigma_{\Phi} = \frac{M_{\Phi}}{1,15W_{\Phi}} \leq R \quad (18)$$

б) Второе предельное состояние (по прогибам). Расчет сводится к проверке прогибов без учета коэффициентов перегрузки, то есть по формулам (10, 14).

§ 4. Расчет второго варианта — балочной клетки нормального типа.

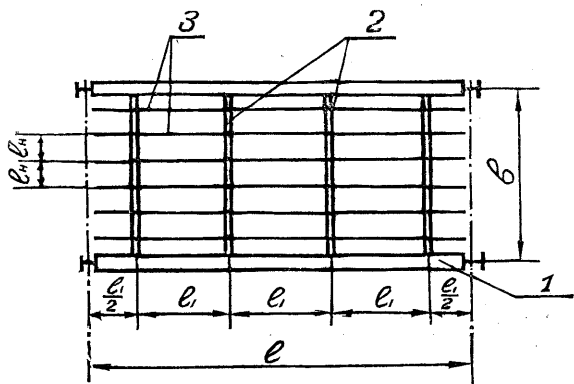


Рис. 5. 1—главная балка, 2—вспомогательная балка, 3—прогоны.

1 — шаг колонн в продольном направлении, пролет главной балки.

b — шаг колонн в поперечном направлении.

Пример компоновки нормальной балочной клетки виден из рис. 5, здесь на вспомогательные балки, расположенные в поперечном направлении, опираются прогоны.

Количество вспомогательных балок принимается четное (4—6), с тем, чтобы вспомогательные балки не попали на монтажный стык главной балки или на ее конец, так как в противном случае рядом расположатся две балки, относящиеся к соседним ячейкам. Поэтому крайние балки ставятся

от осей колонн на расстояниях, равных половине шага вспомогательных балок.

Пролет прогона в данном варианте — l_H — шаг вспомогательных балок, так как прогоны опираются на вспомогательные балки.

Расстояние между прогонами определяется несущей способностью настила l_H , как и в первом варианте.

1. Расчет настила.

Расчет настила производится в той же последовательности, что и в первом варианте.

а) Задаемся толщиной настила на 2—4 мм. меньшей, чем в первом варианте, так как прогоны можно расставлять чаще, чем вспомогательные балки в 1-м варианте.

Принятая толщина настила должна соответствовать стандартным толщинам стали: 6, 8, 10, 12 и т. д. мм.

б) Рассчитываем настил по прочности и прогибам (см. § 3). Полученный пролет настила является и расстоянием между прогонами, так как настил укладывается на прогоны. Для облегчения производства монтажных работ расстояние между прогонами следует округлять до размера, кратного 5 см.

в) Подсчитываем вес квадратного метра настила.

2. Расчет прогонов.

Расчет прогонов подобен расчету вспомогательных балок в первом варианте. Но пролетом прогона здесь является расстояние между вспомогательными балками (см. рис. 5).

После того, как вычислен требуемый момент сопротивления, подбираем прокатный прогон, предпочтительнее швеллер, так как прикрепление швеллера к балкам более удобно, чем двутавра. Малые номера профилей прикрепляются лишь с помощью сварки.

Производится проверка фактических напряжений и прогибов прогона. Подсчитывается вес прогонов, приходящийся на 1 м² ячейки:

$$g_{пр. м^2} = \frac{g_{пр. пм}}{l_H} \quad (19)$$

$g_{пр. м^2}$ — вес прогонов на 1 м² ячейки.

$g_{пр. пм}$ — вес 1 пог. м. прогона (по сортаменту).

l_H — расстояние между прогонами.

3. Расчет вспомогательных балок второго варианта.

Погонную нагрузку на вспомогательную балку вычисляем по рис. 5.

$$q_{всп} = (p + q + g_n + g_{пр})l_1 \quad (20)$$

Обозначения — см. выше.

Изгибающий момент в середине пролета вспомогательной балки (считая нагрузку равномерно распределенной), требуемый момент сопротивления с учетом развития пластических деформаций — находятся по известным формулам.

Производятся проверки фактических напряжений и прогибов, а также подсчитывается вес вспомогательных балок на 1 м² ячейки.

$$g_{всп. м^2} = \frac{g_{всп. пм}}{l_1} \quad (21)$$

$g_{всп. м^2}$ — вес вспомогательных балок на 1 кв. м ячейки.

$g_{всп. пм}$ — вес 1 п/м. (по сортаменту).

l_1 — расстояние между балками.

§ 5. Расчет третьего варианта.

Третий вариант может быть рассчитан по выбору учащегося или по указанию руководителя. Это либо усложненный тип балочной клетки, либо один из предыдущих типов клетки, но с измененной толщиной настила или с иным расстоянием между балками.

В вариантах могут быть сопоставлены различные методы расчета: по допускаемым напряжениям и по методике Урочного положения.

Расчет настила может быть произведен помимо указанных другими способами: см. [10] и [11].

§ 6. Сопоставление вариантов.

Завершением компоновочной части должно явиться сопоставление вариантов балочной клетки по весу конструкций на квадратный метр площадки (в виде таблицы) и выбор окончательного варианта расположения балок с учетом трудоемкости изготовления и монтажа конструкций. Примерная форма таблицы сопоставления вариантов см. табл. № 1.

Таблица сравнения вариантов по весу металла в кг/м².

Таблица № 1

№ № п. п.	Номер варианта	Вес прого- нов кг/м ² .	Вес вспомо- гат. балок кг/м ² .	Всего	Сопостав- ление в %

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИНЯТОГО ВАРИАНТА.

§ 7. Подбор сечения главной балки.

Подбор сечения главной балки производится в следующей последовательности:

1. Определение расчетного изгибающего момента.

Как известно, максимальный изгибающий момент от воздействия вспомогательных балок находится в середине пролета главной балки. Учет собственного веса главной балки производится приближенно умножением максимального момента на коэффициент 1,03.

При расчете по проекту Урочного положения временная и постоянная нагрузки расчленяются и вводятся соответствующие коэффициенты перегрузки см. [1], приложение 1.

2. Требуемый момент сопротивления, определяется по расчетному изгибающему моменту и допускаемым напряжениям (либо по расчетному сопротивлению).

3. Высота балки принимается в результате сопоставления:

- строительной высоты, определяемой из задания;
- наименьшей возможной высоты по жесткости;
- наивыгоднейшей (оптимальной) высоты по стоимости, см. [1], стр. 223. Допускаемый прогиб см. Н и ТУ 1—46 п. 37в.

При выборе высоты надо решить вопрос об уровнях сопряжения главной балки со вспомогательными балками и прогонами, так как общая высота балочной клетки не должна превышать строительной высоты.

Принятая высота балки должна быть больше наименьшей возможной высоты — в противном случае прогибы балки будут больше допускаемых — и не больше той высоты, которая отведена балке из общей строительной высоты.

Если оптимальная высота заключена в этих двух пределах, то за окончательную высоту следует брать высоту наивыгоднейшую по стоимости.

4. Высота и толщина стенки.

Высота стенки определяется ориентировочно путем вычета из общей высоты балки 5—7 см., т. е. предполагаемой толщины пакетов горизонтальных листов. Высота должна быть кратной 5 см. с тем, чтобы для изготовления стенки можно было использовать стандартные листы.

Толщина стенки определяется по формуле, выведенной в курсе [1], стр. 237 и округляется до стандартных толщин листа: 8, 10, 12 и т. д. мм.

5. Подбор поясных уголков производится по условиям общей устойчивости балки (ширина полки одного уголка должна составлять не менее десятой части высоты балки).

6. Подбор сечения поясных листов.

После, того, как подобраны сечения стенки и уголков, вычислены соответствующие им моменты инерции, определяют момент инерции горизонтальных листов:

$$J_{\text{гор. л.}} = J_{\text{общ.}}^{\text{ор}} - J_{\text{уг.}} - J_{\text{ст.}} \quad (22)$$

Здесь:

$$J_{\text{о. ш.}}^{\text{бр}} = (1,15 \div 1,18) J_{\text{общ.}}^{\text{нетто}} \quad (23)$$

$J_{\text{общ.}}^{\text{нетто}}$ — момент инерции нетто всего сечения.

1,15 ÷ 1,18 — коэффициент, учитывающий ослабление сечения заклепочными отверстиями 1,15 — при диаметре заклепок 20 мм. и 1,18 при диам. 23 мм.

$J_{\text{общ.}}^{\text{бр}}$ — момент инерции брутто.

$J_{\text{уг.}}$ — момент инерции уголков.

$J_{\text{ст.}}$ — момент инерции стенки.

По полученному $J_{\text{гор. л.}}$ можно определить требуемую толщину горизонтальных листов, задаваясь их шириной по условию устойчивости балки (ширина горизонтальных листов должна быть не менее $1/4$ высоты балки для клепаной и не менее $1/5$ для сварной). Ширину листов требуется округлить до стандартной ширины универсальной стали — кратной 10 мм., а толщину — до кратной 2 мм. — стандартная толщина листов имеет градацию 2 мм.

Подбором горизонтальных листов завершается предварительное определение сечений элементов балки.

7. Проверка напряжений.

Подобранное сечение балки является ориентировочным, так как при выборе сечения были приближенно приняты: собственный вес балки, процент ослабления сечения отверстиями, а также округлена полученная толщина горизонтальных листов до четного числа миллиметров и т. п.

Поэтому необходимо проверить максимальные, нормальные и касательные напряжения и сопоставить их с допускаемыми.

Вычисление характеристик сечения удобно свести в таблицу. В качестве примера в таблице № 2 приведена запись характеристик сечения клепаной балки (см. приложение).

Проще выглядит таблица для сварной балки, так как сварные балки не имеют поясных уголков и ослаблений сечения отверстиями.

По данным из таблицы следует проверить принятый коэффициент ослабления сечения отверстиями:

$$\frac{J_{\text{срутто}}^{\text{ф}}}{J_{\text{брутто}}^{\text{ф}}} = 1,15 \div 1,18 \quad (24)$$

Для проверки напряжений определяется фактический момент сопротивления:

$$W_{\text{нетто}}^{\text{ф}} = \frac{J_{\text{нетто}}^{\text{ф}} \cdot 2}{h_{\text{балки}}^{\text{ф}}} \quad (25)$$

где:

$$h_{\text{балки}}^{\text{ф}} = h_{\text{ст.}} + 1 \text{ см.} + \Sigma \delta_{\text{гор. л.}} \quad (26)$$

$\Sigma \delta_{\text{гор. л.}}$ — сумма окончательно принятых толщин горизонтальных листов.

Фактический (уточненный) изгибающий момент:

$$M_{\text{ф}} = M_{\text{макс}} + \frac{g_{\text{ф}} l^2}{8} \quad (27)$$

$M_{\text{макс}}$ — максимальный изгибающий момент, вычислен в начале расчета главной балки.

$g_{\text{ф}}$ — вес одного погонного метра главной балки (из таблицы № 2).

Проверка нормальных напряжений в разрезной главной балке производится в середине пролета в крайних точках по высоте сечения, то есть по формуле:

$$\sigma_{\text{ф}} = \frac{M_{\text{ф}}}{W_{\text{нетто}}^{\text{ф}}} \leq [\sigma] \quad (28)$$

Отклонение фактических напряжений от допускаемых напряжений в процентах находится по формуле (13).

Можно считать, что составное сечение подобрано удачно, если отклонение фактических напряжений от допускаемых менее 3% при недонапряжении или 1% при перенапряжении.

Касательные напряжения проверяются на опорах, на уровне середины сечения балки по формуле Д. И. Журавского. В формулу подставляется статический момент полусечения на опоре без горизонтальных листов (так как листы до опоры не доводятся). Процентное отклонение касательных напряжений от допускаемых не вычисляется.

При расчете по методике проекта Урочного положения подбор сечения главной балки не отличается от приведенного выше. Но при вычислении изгибающего момента нагрузки следует умножать на соответствующие коэффициенты перегрузки (см. [1], приложение 1), а при определении требуемого момента сопротивления вместо допускаемых напряжений необходимо взять расчетное сопротивление стали. Коэффициент условий работы для подобных сооружений можно принимать равным единице.

§ 8. Изменение сечения главной балки по длине пролета — обрыв горизонтальных листов.

1. В клепаной балке производится обрыв горизонтальных листов: находится теоретическое место обрыва аналитическим или графическим способом с помощью построения эпюры в крупном масштабе. См. [1], стр. 244—246.

Фактическое место обрыва определяется из условий размещения заклепок, рассчитанных на половину усилия, которое может воспринять горизонтальный лист, работая на осевое растяжение, см. Н и ТУ — 1—46, п. 44.

2. Изменение сечения сварной балки см. [1], стр. 244—245.

§ 9. Проверка приведенных напряжений.

Приведенные напряжения проверяются в тех местах балки, где нормальные и касательные напряжения одновременно достигают больших величин. Такими местами в клепаной балке, очевидно, будут места фактического обрыва горизонтальных листов, а в сварной — места резкого изменения сечения в пролете.

$$\sigma_{пр} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma] \quad (29)$$

σ — нормальные напряжения на уровне поясной заклепки в месте фактического обрыва листов клепаной балки (на уровне поясных швов сварной балки).

τ — касательные напряжения там же:

$$\tau = \frac{OS_n}{J_{бр} \mu_{ст}} \quad (30)$$

S_n — статический момент пояса — двух уголков, части стенки выше заклепки (горизонтальные листы учитываются при наличии их в меньшем сечении).

При расчете по предельному состоянию σ и τ определяются с учетом коэффициентов перегрузки, а приведенные напряжения сопоставляются с расчетным сопротивлением:

$$\sigma_{пр} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq mR \quad (31)$$

R — расчетное сопротивление.

m — коэффициент условий работы, $m=1$ (см. [1], приложение 1).

§ 10. Расчет соединения поясов со стенкой

В клепаной балке расчет сводится к определению шага заклепок (см. [1], стр. 247). Обычно шаг заклепок принимается одинаковым по всей длине балки. Принятый шаг должен быть меньше или равен максимальному шагу заклепок по условиям плотного стягивания пакета. Шаг находится для данного случая, как наименьший из трех величин: 18 толщ. полки уголка или 12 диаметров заклепки, или 12 толщин поясного листа (см. [1], стр. 149), принятый шаг заклепок должен быть кратен 10 мм.

В сварных балках обычно определяется высота поясных швов вблизи опоры, при этом минимальную высоту швов следует принимать 4 мм, см. [1], стр. 110, 247.

§ 11. Проверка общей устойчивости главной балки и местной устойчивости ее элементов.

При проверке общей устойчивости главной балки в качестве ее свободной длины следует брать расстояние между вспомогательными балками (см. [1], стр. 249—251).

Местную устойчивость сжатого пояса достаточно проверить на отношение ширины пояса к его толщине (предельные отношения см. [1], стр. 253).

Проверка местной устойчивости стенки от касательных напряжений, а также от одновременного действия касательных и нормальных напряжений ведется по формулам курса [1], стр. 254—257.

Влияние нормальных напряжений на устойчивость стенки следует выяснять в том случае, когда в месте максимальных напряжений стенки нет монтажного стыка, например, когда в разрезной балке монтажный стык находится не в середине пролета. Обычно накладки монтажного стыка усиливают стенку балки, поэтому такая проверка не имеет смысла. Расстановку ребер жесткости и выбор их сечения см. [1], стр. 262.

§ 12. Укрепление стенки балки над опорой

В сварных балках на опорах устанавливаются утолщенные ребра жесткости, а в клепаных из-за смятия опорных стоек принимаются либо четыре уголка, взятые для обычных ребер жесткости, либо в качестве опорных ребер принимаются поясные уголки. Площадь пристрожки торцов опорных ребер при проверке на смятие условно принимается равной половине площади уголков, см. [1], стр. 263.

§ 13. Расчет монтажного стыка балки.

1. Клепаные балки.

Выбрав место стыка в пролете, необходимо ясно представить себе его конструкцию. Для этого рекомендуется изобразить стык, принятый для расчета, в крупном масштабе. Затем, проследив по чертежу путь усилия с одной части стыкуемого элемента на накладку и затем на другую часть элемента, определяют количество срезов заклепок, допускаемое усилие на одну заклепку, требуемое количество заклепок. Следует обратить внимание, что допускаемое усилие на одну заклепку в стыках стенки, уголков и горизонтальных листов может быть различно — оно зависит от конструкции стыка и количества срезов заклепки в стыке.

При расчете стыка стенки клепаной балки необходимо определить количество горизонтальных рядов заклепок. Для этого

находят величину отношения $\frac{Z^2_{\max}}{\sum Z^2_i}$ из формулы:

$$N_p = \frac{M_{\text{ст}}}{Z_{\max}} \cdot \frac{Z^2_{\max}}{\sum Z^2_i} \quad (32)$$

$M_{\text{ст}}$ — изгибающий момент, воспринимаемый стенкой.

N_p — допускаемое усилие на горизонтальный ряд заклепок.

С целью уменьшения ширины накладок обычно принимают число заклепок в ряду равным двум, реже трем. Поэтому:

$$N_p = (2-3) [N]_{\text{закл.}} \quad (33)$$

$[N]_{\text{закл.}}$ — допускаемое усилие на одну заклепку,

Z_{\max} — расстояние между крайними рядами, определяется из схемы стыка.

Отношение $\frac{Z^2_{\max}}{\sum Z^2_i}$ для различного числа рядов помещено в таблице 3.

Таблица № 3.

Число рядов	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\frac{Z^2_{\max}}{\sum Z^2_i}$	0,90	0,80	0,76	0,64	0,58	0,53	0,49	0,45	0,42	0,40
Число рядов	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
$\frac{Z^2_{\max}}{\sum Z^2_i}$	0,37	0,35	0,33	0,31	0,30	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24

Например: Из формулы (32) найдено $\frac{Z^2_{\max}}{\sum Z^2_i} = 0,39$. Принимаем 14 рядов.

2. Типы стыков сварных балок и их расчет см. [7], [8].

§ 14. Сопряжение вспомогательных балок с главными.

Характер сопряжения балок (этажное, повышенное, в одном уровне, пониженное) определяется из тщательного сопоставления этих видов сопряжения см. [1], стр. 275 и увязки их вертикальных размеров со строительной высотой.

После этого следует сделать эскизный чертеж и представить себе передачу усилий в сопряжении.

Расчет сопряжения балок в одном уровне производится на увеличенное на 20% опорное давление. Это увеличение учитывает влияние момента от некоторого защемления вспомогательной балки на опоре.

§ 15. Расчет стержня колонны.

Расчет стержня сплошной колонны производится по следующим этапам:

1. Выбор типа сечения (из листов или прокатных профилей).

2. Определение ориентировочной площади поперечного сечения колонны.

Для этого необходимо задаться гибкостью колонны (см. рекомендации на стр. 290 курса) и по таблице определить коэффициент φ , [1], приложение 2.

3. Вычисление требуемых радиусов инерции колонны. Зная высоту колонны (с учетом заглубления башмака на 0,5 — 0,6 м), можно вычислить по принятой гибкости требуемые радиусы инерции. Опираемые колонны считаются шарнирными, так как база центрально сжатой колонны не обеспечивает достаточного защемления стержня в фундаменте.

4. Определение размеров сечения.

$$h_{тр} = \frac{r_{тр}}{\alpha_1}; \quad b_{тр} = \frac{r_{тр}}{\alpha_2} \quad (34)$$

$h_{тр}$, $b_{тр}$ — требуемые высота и ширина сечения.

α_1, α_2 — коэффициенты см. таблицу значений радиусов инерции основных сечений в приложении 6 (см. [1]).

Толщина стенки и полки определяется из требуемой площади и условий местной устойчивости. Размеры листов должны соответствовать стандартной универсальной стали: толщины — кратны 2 мм, ширина — кратна 10 мм.

5. Проверка напряжений. Производится после определения фактических радиусов инерции, гибкостей, коэффициента уменьшения допускаемых напряжений при потере устойчивости.

Расчет стержня сквозной колонны относительно материальной оси сходен с расчетом стержня сплошной колонны. Расчет сквозной колонны относительно свободной оси сводится к определению расстояния между ветвями (см. [1], стр. 295 — 297). Там же см. расчет решетки.

§ 16. Расчет базы (башмака) и оголовка колонны.

При расчете базы определяются: размеры плиты в плане, толщина плиты, высота траверсы, размеры сварных швов, заглубление анкеров. В оголовке при свободном опирании рассчитываются размеры плиты, размеры сварных швов, консоли. Рекомендуется применять также гибкое опирание главных балок на колонны см. [1], стр. 321.

§ 17. Углубленная разработка темы курсового проекта.

При работе над курсовым проектом и в порядке кружковой работы может быть рассмотрен ряд вопросов, связанных с проектированием рабочей площадки и ее элементов.

1. Вывод законов экономичной компоновки всей рабочей площадки и отдельных ее частей см. [1], [12].

2. Исследование конструктивных и строительных коэффициентов элементов рабочей площадки.

3. Анализ методов расчета гибкого настила см. [10], [11].

4. Расчет стесненного кручения главной балки при несимметричном нагружении ее временной нагрузкой (с применением теории проф. В. З. Власова [13, 14]).

5. Вопросы предельной несущей способности элементов [9], [16].

6. Общая и местная устойчивость балок и колонн см. [9].

7. Применение неразрезных главных балок. Конструирование и монтаж неразрезных балок. Влияние осадки опор на прочность и жесткость рабочей площадки [15], [17].

8. Применение низколегированных сталей. Особенности расчета, экономический эффект применения таких сталей для различных элементов [18].

Могут быть поставлены также дополнительные условия к заданию: ограничение веса отправочной или монтажной марки, ограничение габаритов элементов, задание вида монтажно-го соединения, способа монтажа и другие.

§ 18. Содержание пояснительной записки и ее оформление.

Пояснительная записка выполняется по единой форме, принятой для курсовых проектов в институте.

Для записки может быть использована обычная школьная тетрадь, на обложке которой указываются: наименование института, название курсового проекта, фамилия студента и группа, год выполнения.

Задание подшивается перед первой страницей.

На первой странице помещается оглавление.

Пояснительная записка подразделяется на две части с общей нумерацией §§. Ниже приводится план пояснительной записки.

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.

§ 1. Назначение сооружения. Выбор материала для его возведения.

В этом параграфе должно быть изложено назначение сооружения, характеристика таких его особенностей, которые интересуют строителя: температурный и влажностный режим, виды технологических нагрузок (крановые и др.), противопожарные требования и т. п.

Результатом этого изучения объекта проектирования является выбор материала конструкций для его возведения.

Объем параграфа — 1 страница.

Литература: [20], [21].

§ 2. Задание и нормы проектирования.

Здесь кратко повторяется задание, указывается на основании каких норм составляется проект (например: Н и ТУ—1—46 или проект Урочного положения), а также приводятся дополнительные нормы: допускаемые прогибы, требования и размеры отправочных марок, условия изготовления. Для экономического анализа даются стоимости 1 т. или 1 куб. м. готовых конструкций (по Ценнику).

Объем — 0,5 стр.

Литература: [2], [3], [4], [5]

§ 3. Методика проектирования.

В параграфе сжато излагаются принципы и последовательность проектирования (без формул) с тем, чтобы, не заглядывая в расчеты, можно было представить ход и способы проектирования. Например: о расчете вспомогательных балок можно сказать, что они рассчитываются как разрезные, загруженные равномерно распределенной нагрузкой, с учетом развития пластических деформаций.

О расчете плиты базы достаточно сказать, что она рассчитывается по таблицам Галеркина, как пластинка, загруженная снизу реактивным напряжением фундамента и т. п.

Объем — 1,5 стр.

Литература: [1], [8]

§ 4. Результаты проектирования.

Данный параграф заполняется после окончания проектирования, в нем приводятся:

Таблица сравнения вариантов.

Вес конструкций на 1 кв. м. пола.

Полученный вес наиболее тяжелой отправочной марки.

Габариты отправочных марок.

Показатели трудоемкости изготовления стальных конструкций: вес направленного металла на 1 т. сварных конструкций, количество заклепок на 1 т. металла и другие показатели.

Объем — 0,5 стр.

II. РАСЧЕТЫ

Нумерация параграфов первой части продолжается во второй части. В параграфы выделяются отдельные этапы расчета. Так например: для первого курсового проекта по стальным конструкциям может быть принят следующий план изложения второй части записки.

§ 5. Определение шага колонн в продольном направлении.

§ 6—8. Расчет вариантов.

§ 9. Компоновка и подбор сечения главной балки.

§ 10. Определение мест изменения сечения главной балки.

§ 11. Проверка приведенных напряжений.

§ 12. Расчет соединения поясов со стенкой.

§ 13. Проверка общей и местной устойчивости балки. Расстановка ребер жесткости.

§ 14. Укрепление стенки балки над опорой.

§ 15. Расчет монтажного стыка главной балки.

§ 16. Расчет сопряжений вспомогательных балок с главными.

§ 17. Расчет стержня колонны.

§ 18. Расчет базы и оголовка колонны.

§ 19. Использованная литература.

В конце записка должна быть подписана студентом и указана дата окончания проектирования.

При оформлении пояснительной записки должны быть соблюдены следующие требования:

1. Записку следует писать чернилами, выделять поля шириной 15—20 мм.

2. Рисунки и таблицы должны быть пронумерованы. В тексте следует ссылаться на рисунки и таблицы.

3. Формулы необходимо сопровождать пояснениями условных обозначений, входящих в них.

4. Справочные и нормативные данные должны сопровождаться ссылками на источники (например — с помощью квадратных скобок).

ЛИТЕРАТУРА.

1. Стрелецкий Н. С. Стальные конструкции. 1952 г.
2. Урочное положение для строительства (проект). Часть III. Нормы строительного проектирования.
3. Нормы и технические условия проектирования стальных конструкций (Н и ТУ-1-46).
4. Сборник руководящих материалов по проектированию, изготовлению и монтажу стальных конструкций. Минтяжстрой. 1949 г.
5. Ценник на строительные материалы и конструкции. 1951—1953 гг.
6. Стрелецкий Н. С. Стальные конструкции. 1948 г.
7. Стальные конструкции одноэтажных промышленных зданий. 1952 г.
8. Отрешко А. И. Стальные конструкции. 1948 г.
9. Балдин В. А. и др. Расчет строительных конструкций по предельным состояниям, 1951 г.
10. Мацелинский Р. Н. Статический расчет гибких висячих конструкций. 1950 г.
11. Петрашень В. И. Расчет стальных конструкций с плоской обшивкой. 1948 г.
12. Варенник Е. П. Основы технико-экономического анализа строительных конструкций. 1952 г.
13. Бычков Д. В., Мрошинский А. К. Кручение металлических балок. 1941 г.
14. Бычков Д. В. Расчет балочных и рамных систем из тонкостенных элементов. 1948 г.
15. Броуде Б. М. Устойчивость пластинок в элементах стальных конструкций. 1949 г.
16. Броуде Б. М. Предельная несущая способность стальных балок, 1952 г.
17. Штаерман И. Я., Пиковский А. А. Основы теории устойчивости строительных конструкций, 1939 г.
18. Указания по проектированию стальных конструкций из стали марок НЛ1 и НЛ2 (У—70—51).
19. Вопросы применения стальных конструкций в строительстве. 1953 г.
20. Справочник Промстройпроекта Т. 1. Архитектура промышленных зданий. 1935 г.
21. Энциклопедический справочник машиностроения. Т. 14, 1946 г.
22. Методические указания по оформлению курсовых и дипломных проектов по стальным конструкциям, ВИСИ, 1953 г.

Кафедра стальных и деревянных конструкций.

Ответственный за выпуск зам. директора по научной и учебной работе С. П. ХАРЧЕНКОВ.

ЛЕ04698. Подписано к печати 17/IX-54 г. Объем 1³/₄. Тираж 300.

1-я типогр. Воронежского Облуправления культуры. Зак. № 4628-54 г.

Таблица 2

ЭЛЕМЕНТ	F _ф см	g _ф кг/мм	J _{бр} см ⁴	J _{отв} см ⁴	J _ф нетто
1		78,5 · δ _{ст} · h _{ст} μ _{ст} — в см. h _{ст} — в см.	$J_{бр} = \frac{\delta_{ст} \cdot h_{ст}^3}{12}$ $J_{уг} = 4(J_0 + F_{уг} \cdot a_{уг}^2)$ J ₀ — по сортаменту	$J_{отв} \approx 0,15 J_{бр}$ $J_{уг} = 4(J_0 + \delta_{уг} \cdot d_8 \cdot a_{уг \cdot a}^2)$ $J_{угл} = 4(J_0 + F_{угл} \cdot a_{угл}^2)$	$J_{ф} = J_{бр} + J_{отв}$
	F _{ст} = δ _{ст} · h _{ст}	по сортаменту	J _{1г} = 2(J ₀ + F _г · a _г ²)	J _{1г} = 4(J ₀ + δ _г · d _г · a _г ²)	
	F _{уг} — по сортаменту	78,5 · δ _г · b _г δ _г — в см. b _г — в м	J _{2г} = 2(J ₀ + F _г · a _г ²)	J _{2г} = 4(J ₀ + δ _г · d _г · a _г ²)	
	F _г = b _г · δ _г				
	F _г = b _г · δ _г				