

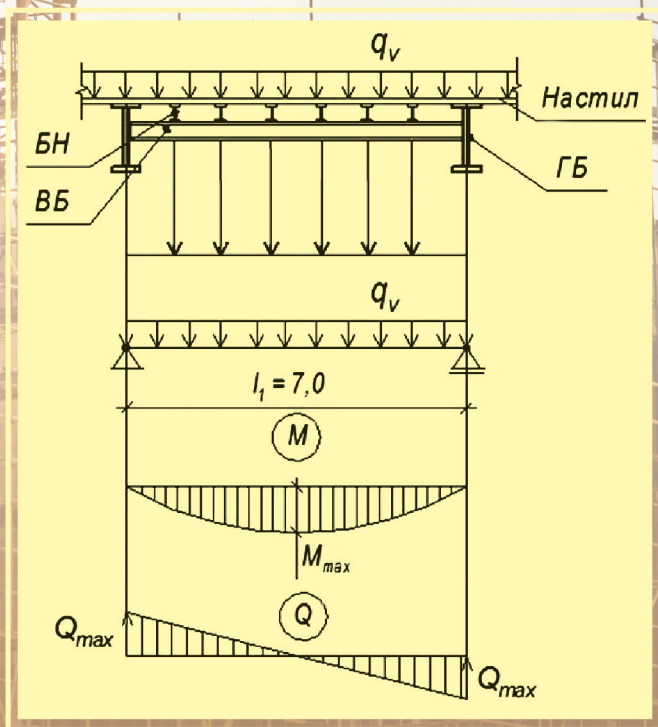
И.К. Родионов

# ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ КОМПОНОВКИ ЯЧЕЕК

## БАЛОЧНЫХ КЛЕТК.

### ВЫПОЛНЕНИЕ РАЗДЕЛА КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Электронное учебно-методическое пособие



УДК 624.014.2:624.04(075.8)

ББК 38.549-02я73

Рецензенты:

д-р. техн. наук, профессор,  
директор ООО НПЦ «Строительство» РИА *В.П. Попов*;  
канд. пед. наук, доцент Тольяттинского государственного  
университета *Е.М. Третьякова*.

Родионов, И.К. Техничко-экономическое сравнение вариантов компоновки ячеек балочных клеток. Выполнение раздела курсовой работы : электронное учебно-методическое пособие / И.К. Родионов. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2023. – 1 оптический диск. – ISBN 978-5-8259-1349-0.

В учебно-методическом пособии приведена информация, необходимая для выбора варианта задания и выполнения раздела курсовой работы «Выбор оптимального варианта ячейки балочной клетки».

Предназначено для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство», направленности (профиля) «Промышленное и гражданское строительство» при изучении дисциплины «Металлические конструкции» и выполнении курсовой работы «Рабочая площадка промышленного здания».

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8/10; PIII 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© Родионов И.К., 2023

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский  
государственный университет», 2023

Учебное издание

***Родионов Игорь Константинович***

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ  
ВАРИАНТОВ КОМПОНОВКИ ЯЧЕЕК  
БАЛОЧНЫХ КЛЕТОК.  
ВЫПОЛНЕНИЕ РАЗДЕЛА КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Редактор *Т.В. Антонова*  
Технический редактор *Т.В. Антонова*  
Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*  
Художественное оформление,  
компьютерное проектирование: *И.И. Шишкина*

В оформлении пособия использовано изображение  
от evening\_tao на сайте ru.freepik.com

Дата подписания к использованию 10.07.2023.

Объем издания 2,8 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск, первичная упаковка.

Тираж 50 экз. Заказ № 1-31-21.

Издательство Тольяттинского государственного университета

445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,

тел. 8 (8482) 44-91-47, www.tltsu.ru

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ .....	9
2. ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ .....	11
3. СОСТАВ РАБОТЫ.....	12
4. КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЯЧЕЕК БАЛОЧНЫХ КЛЕТОК .....	15
4.1. Компоновка ячейки балочной клетки .....	15
4.2. Расчет элементов ячеек балочных клеток .....	17
5. ПРИМЕР ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО СРАВНЕНИЯ ВАРИАНТОВ КОМПОНОВКИ ЯЧЕЙКИ БАЛОЧНОЙ КЛЕТКИ .....	21
5.1. Ячейка балочной клетки нормального типа (вариант 1) ....	21
5.2. Ячейка балочной клетки усложненного типа (вариант 2) ...	27
5.3. Сравнение вариантов .....	36
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА .....	37
ГЛОССАРИЙ .....	39
Приложение А .....	43
Приложение Б .....	45

## ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие «Технико-экономическое сравнение вариантов компоновки ячеек балочных клеток» содержит материал, необходимый для выполнения раздела курсовой работы «Рабочая площадка промышленного здания» по дисциплине «Металлические конструкции».

**Цель** – сформировать у студентов профессиональные компетенции в области проектирования, изготовления, монтажа и эксплуатации металлических конструкций строительного назначения.

### **Задачи**

1. Ознакомить студентов с основами работы металлических конструкций зданий и сооружений.

2. Сформировать навыки конструирования и расчета металлических конструкций для решения конкретных инженерных задач с использованием норм проектирования, стандартов, справочников, средств автоматического проектирования.

3. Научить принципам рационального проектирования металлических конструкций с учетом требований изготовления, монтажа и надежности в эксплуатации на основе технико-экономического анализа.

### ***Планируемые результаты выполнения курсовой работы, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы***

<b>Формируемые и контролируемые компетенции</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>
Способность использовать углубленные теоретические и практические знания, часть которых находится на передовом рубеже данной науки (ОПК-5)	Знать историю проведения научно-исследовательских и научно-производственных работ
	Уметь: оценивать качество результатов испытаний, влиять на формирование целей испытаний
	Владеть навыками и умениями в организации и проведении научно-исследовательских работ, в управлении коллективом, влиять на формирование целей команды

<b>Формируемые и контролируемые компетенции</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>
Способность и готовность ориентироваться в постановке задачи, применять знания о современных методах исследования, анализировать, синтезировать и критически резюмировать информацию (ОПК-10)	Знать современные методы исследования строительных конструкций
	Уметь применять знания о современных методах исследований в своей практической деятельности
	Владеть навыками представления результатов выполненной работы
Способность и готовность проводить научные эксперименты с использованием современного исследовательского оборудования и приборов, оценивать результаты исследований (ОПК-11)	Знать современные методики по теме исследования технических параметров испытываемых конструкций
	Уметь пользоваться современным исследовательским оборудованием и приборами, оценивать результаты исследований
	Владеть методологией оценки и анализа результатов испытаний
Способность разрабатывать методики, планы и программы проведения научных исследований и разработок, готовить задания для исполнителей, организовывать проведение экспериментов и испытаний, анализировать и обобщать их результаты (ПК-5)	Знать правила оформления результатов выполненной работы
	Уметь анализировать и докладывать результаты проделанной работы
	Владеть способностью оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы
Умение вести сбор, анализ и систематизацию информации по теме исследования, готовить научно-технические отчеты, обзоры публикаций по теме исследования (ПК-6)	Знать методику сбора, анализа и систематизации информации по теме исследования
	Уметь готовить научно-технические отчеты, обзоры публикаций по теме исследования
	Владеть системой написания научно-технических отчетов, обзоров

### *Критерии и нормы оценки курсовой работы*

<b>Оценки</b>	<b>Критерии и нормы оценки</b>
«Отлично»	Правильно выполнены все разделы курсовой работы. Графическая часть работы выполнена в полном объеме в соответствии с ЕСКД (Единая система конструкторской документации). Полностью и правильно заполнена спецификация. Глубокие и полные ответы на поставленные вопросы при защите курсового проекта. Высокий уровень теоретических знаний
«Хорошо»	Отдельные разделы курсовой работы содержат незначительные ошибки, неточности. Графическая часть работы выполнена в соответствии с ЕСКД с небольшими замечаниями. Имеются замечания по заполнению спецификации. Достаточные ответы на поставленные вопросы при защите курсового проекта. Хороший уровень теоретических знаний
«Удовлетворительно»	Отдельные разделы курсовой работы содержат ошибки, неточности. Графическая часть работы выполнена небрежно, с большими замечаниями. Имеются замечания по заполнению спецификации. Удовлетворительные ответы на поставленные вопросы при защите курсового проекта. Удовлетворительный уровень теоретических знаний
«Неудовлетворительно»	На защиту представлена курсовая работа, выполненная не по заданию. Курсовая работа выполнена с большими неточностями. Студент не ориентируется в представленном материале, не может читать и пояснять представленную графическую часть работы. Очень низкий уровень теоретических знаний

## *Тематика курсовой работы*

**Тема:** Рабочая площадка промышленного здания.

### **Описание организации защиты курсовой работы**

Защита курсовой работы производится публично в присутствии студентов всей группы и всех, желающих принять участие. Студент, представивший работу, делает сообщение по существу выполненных расчетов и принятых технических решений. Следуют ответы на вопросы. Задавать вопросы имеет право каждый присутствующий. Далее руководитель проекта принимает решение по оценке качества знаний.



## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Металлические конструкции применяются сегодня во всех видах зданий и инженерных сооружений, особенно если имеют место значительные пролеты, высота, нагрузки. Потребность в металлических конструкциях чрезвычайно высока и непрерывно увеличивается. Базой для удовлетворения этой потребности является большой объем производимой в стране стали, заводы металлических конструкций и специализированные монтажные организации, специализированные проектные организации и научно-исследовательские институты.

Основная масса строительных металлоконструкций (порядка 50 %) приходится на каркасы производственных зданий, в том числе и их рабочие площадки.

Рабочие площадки промышленных зданий предназначаются для размещения технологического оборудования.

Основными несущими элементами рабочих площадок [2] являются (в направлении передачи нагрузки) настил, балочные клетки и колонны.

**Настил** воспринимает эксплуатационные нагрузки (вес технологического оборудования, людей и т. п.). В качестве настила балочных клеток обычно применяют плоские стальные листы или сборные железобетонные плиты. Перспективно также применение индустриального щитового настила, состоящего из несущего стального листа, усиленного снизу продольными и поперечными ребрами.

**Балочные клетки** представляют собой перекрестные системы балок; их назначение — восприятие нагрузки, действующей на настил и дальнейшая передача ее на колонны.

Наибольшее распространение в рабочих площадках промышленных зданий получили два типа балочных клеток: нормальный и усложненный.

**Балочные клетки нормального типа** состоят из главных балок (ГБ) и балок настила (БН). Главные балки рабочих площадок обычно перекрывают большой пролет; балки настила располагаются перпендикулярно главным. Нагрузка с настила передается на бал-

ки настила, которые в свою очередь передают их на главные балки, опирающиеся на колонны.

**В балочные клетки усложненного типа** вводятся еще дополнительные, вспомогательные балки (ВБ). Нагрузка в этих балочных клетках передается более длинным путем: с настила — на балки настила, с балок настила — на вспомогательные балки, далее — на главные и, наконец, — на колонны.

**Колонны** — вертикальные элементы, воспринимающие нагрузку от балочных клеток и передающие ее на фундаменты. Наибольшее распространение в рабочих площадках получили сплошные и сквозные колонны постоянного сечения: сплошные — при больших нагрузках и небольших высотах, сквозные, наоборот, — при меньших нагрузках и больших высотах.

Для обеспечения геометрической неизменяемости рабочих площадок в продольном и поперечном направлениях в случаях шарнирного сопряжения балок с колоннами и колонн с фундаментами между колоннами устраиваются связи (крестовые, порталные, распорки).

## 2. ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

**Общие указания.** Студенту предлагается запроектировать рабочую площадку [2]. Заданы размеры площадки в плане  $A \times B$  (в осях), шаг колонн в продольном и поперечном направлении, отметки верха габарита площадки и верха габарита оборудования под перекрытием, временная нормативная нагрузка, материал настила, класс стали для основных несущих конструкций.

Шаг колонн в продольном направлении  $L$  кратен  $A$ ; шаг колонн в поперечном направлении  $l$  кратен  $B$ .

Балки настила и вспомогательные балки предлагается применить из проката (двутавры), главные балки – двутавры составного сечения. Колонны сплошного сечения. Класс бетона фундаментов должен быть выбран в соответствии с действующими нагрузками. Средство перевозки конструкций – автотранспорт.

Монтажные стыки главных балок располагаются в середине пролетов. Они могут быть приняты сварными; остальные монтажные соединения – на болтах нормальной точности.

**Целью** курсовой работы является ознакомление с положениями конструирования основных элементов рабочей площадки, их расчета по методу предельных состояний.

В процессе проектирования необходимо выполнить:

- 1) конструирование и расчет элементов и узлов балочной клетки;
- 2) конструирование и расчет колонны;
- 3) конструирование и расчет узла сопряжения балок и колонны.

Основная задача – обеспечение надежности работы всех элементов рабочей площадки в соответствии с двумя группами предельных состояний: по несущей способности и по пригодности к нормальной эксплуатации.

### 3. СОСТАВ РАБОТЫ

Курсовая работа состоит из двух частей: расчетно-конструктивной и графической.

Расчетно-конструктивная часть оформляется в виде пояснительной записки, включающей следующие основные разделы:

#### **Введение**

#### **1. Конструирование и расчет элементов и узлов балочной клетки.**

1.1. Выбор оптимального варианта ячейки балочной клетки.

1.1.1. Балочная клетка нормального типа (1 вариант).

1.1.1.1. Компоновка ячейки.

1.1.1.2. Расчет настила.

1.1.1.3. Расчет балок настила.

1.1.1.4. Техничко-экономические показатели.

1.1.2. Балочная клетка усложненного типа (2 вариант).

1.1.2.1. Компоновка ячейки.

1.1.2.2. Расчет настила.

1.1.2.3. Расчет балок настила.

1.1.2.4. Расчет вспомогательных балок.

1.1.2.5. Техничко-экономические показатели.

1.1.3. Техничко-экономическое сравнение вариантов ячеек балочной клетки.

1.2. Конструирование и расчет главной балки [3].

1.2.1. Подбор основного сечения.

1.2.2. Проверка стенки на местное давление.

1.2.3. Конструирование и расчет опорной части.

1.2.4. Конструирование и расчет узла изменения сечения.

1.2.5. Проверка общей устойчивости.

1.2.6. Обеспечение местной устойчивости.

1.2.6.1. Местная устойчивость стенки от действия касательных напряжений.

1.2.6.2. Местная устойчивость полки от действия нормальных напряжений.

1.2.6.3. Местная устойчивость стенки от действия нормальных напряжений.

1.2.6.4. Местная устойчивость стенки от совместного действия нормальных, касательных и местных напряжений.

1.2.7. Расчет поясных швов.

1.2.8. Расчет швов прикрепления опорных ребер к торцам балки.

1.2.9. Конструирование монтажного стыка.

## 2. Конструирование и расчет колонны [4].

2.1. Стержень колонны.

2.2. Оголовок колонны.

2.3. База колонны.

### Заключение

### Список используемой литературы

Пояснительная записка должна быть оформлена в соответствии с требованиями «Положения о курсовой работе», действующего в ТГУ.

**Графическая часть работы** – на одном листе формата А1. Примерная компоновка листа приведена на рис. 1.

Монтажные схемы рабочей площадки		Чертежи колонны	Спецификация
			Таблица отправочных марок
План ячейки	Узел сопряжения балок с колонной	Чертежи монтажного стыка ГБ Чертеж БН	Примечания
Чертежи отправочной марки ГБ			Штамп

Рис. 1. Примерная компоновка листа

Выполняются рабочие чертежи [2] на стадии КМ (конструкции металлические) и КМД (конструкции металлические деталировочные) [7].

На стадии КМ разрабатываются:

- монтажная схема площадки и разрезы (М 1:200, 1:250);
- план ячейки балочной клетки (М 1:100);
- узел сопряжения балок с колонной (М 1:20, 1:25);
- узел укрупнительной сборки (монтажный стык) главной балки (М 1:20, 1:25, 1:40).

Монтажная схема площадки и разрезы – это маркировочные чертежи.

На стадии КМД разрабатываются:

- чертежи отправочной марки главной балки (М 1:20, 1:25, 1:40);
- чертежи колонны (М 1:20, 1:25, 1:40);
- чертеж балки настила или вспомогательной балки (М 1:25, 1:40).

Рабочие чертежи КМД должны сопровождаться спецификацией металла. Спецификация (прил. А) располагается, как правило, в правом верхнем углу листа. Ниже на листе должна быть приведена ведомость отправочных элементов (марок) балок и колонн. Над штампом должны быть указаны необходимые примечания.

При выполнении курсовой работы следует пользоваться современными нормами [5; 6], пособиями [2–4], справочной [9; 10; 12] и учебной литературой [1; 7; 8; 11].

## 4. КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЯЧЕЕК БАЛОЧНЫХ КЛЕТОК

### 4.1. Компонировка ячейки балочной клетки

Проектирование рабочей площадки при заданной сетке колонн начинается с выбора наиболее выгодной компоновки ячейки балочной клетки. Выбор производится с помощью технико-экономического сравнения нескольких возможных вариантов компоновочных решений. Для сравнения могут быть использованы следующие показатели:

- расход стали на 1 м<sup>2</sup> ячейки;
- стоимость стали, расходуемой на 1 м<sup>2</sup> ячейки (определяется в случае применения сталей разных классов, марок);
- количество типоразмеров балок на ячейку;
- количество отправочных марок балок на ячейку.

Первые два показателя характеризуют экономичность сравниваемых вариантов с позиции расхода стали и определяются по результатам расчета их элементов (настила и балок). Два других характеризуют трудоемкость изготовления элементов ячеек и их монтажа.

При заданной нагрузке и известной сетке колонн изменения в компоновке ячейки приводят лишь к незначительным изменениям массы главных балок. Поэтому технико-экономические показатели при сравнении вариантов определяют без учета главных балок: учитывают только настил и балки заполнения ячейки (балки настила и вспомогательные).

В курсовой работе достаточно провести технико-экономическое сравнение двух вариантов компоновки ячейки балочной клетки: нормального и усложненного типов [1; 2]. В случае мало отличающихся между собой показателей расхода и стоимости рекомендуется принимать вариант с менее трудоемкими в изготовлении и монтаже конструкциями.

При компоновке ячейки балочной клетки определяется взаимное расположение балок и их шаг. Большие пролеты перекрывают главными балками (ГБ), меньшие – балками настила (БН) и вспомогательными (ВБ).

Шаг балок настила определяется в общем случае несущей способностью и жесткостью настила. Обычно при настиле в виде стального плоского листа шаг балок принимают  $a = 0,6-1,6$  м [2, рис. 1-4]; при настиле из сборных железобетонных плит —  $a = 2,0-3,5$  м.

Шаг вспомогательных балок обычно назначают в пределах  $l_2 = 2,0-5,0$  м [2, рис. 3, 4].

Шаги балок настила в балочных клетках нормального типа и вспомогательных балок в балочных клетках усложненного типа должны быть кратны пролету главных балок. Шаг балок настила в усложненном типе балочной клетки кратен пролету вспомогательных балок.

Для уменьшения трудоемкости изготовления балочных клеток в качестве балок настила и вспомогательных балок наиболее целесообразно применять прокатные двутавры; главные балки, учитывая их пролет, чаще всего составного сечения.

При проектировании главной балки в курсовой работе должен быть решен вопрос о наличии и месторасположении монтажного стыка (стыка укрупнительной сборки).

Монтажные стыки представляют собой сопряжения отдельных частей конструкций, отправочных марок, назначенных по условиям транспортировки и возможностям грузоподъемного оборудования завода-изготовителя и монтажной организации.

По условиям транспортировки вопрос разбивки конструкции на отправочные марки решается сравнением ее габаритов и веса с габаритами и весом, предельно допустимыми для принятого в качестве средств доставки транспорта.

Основную массу металлоконструкций перевозят с заводов на строительные площадки по железной дороге. Предельно допустимые длины и вес перевозимых железнодорожным транспортом конструкций регламентируются «Техническими условиями погрузки и крепления грузов» [12].

При выборе типа платформ необходимо стремиться к тому, чтобы коэффициент использования железнодорожного транспорта, равный отношению веса перевозимого груза к грузоподъемности платформы, был по возможности ближе к единице.



Месторасположение монтажных стыков главных балок должно предусматривать членение их на отдельные, желательны одинаковые, отправочные элементы [2, рис. 5–8]. В разрезных балках стыки располагают обычно в середине пролета [2, рис. 1–4]; возможно также их симметричное относительно середины расположение.

Компоновку ячейки балочной клетки необходимо производить с учетом месторасположения монтажного стыка главной балки: балки настила в нормальном типе балочной клетки или вспомогательные балки в усложненном типе не должны попадать на сечение главной балки, где расположен ее монтажный стык.

Отсюда, в пределах ячеек, оси крайних балок настила (в балочной клетке нормального типа) или вспомогательных балок (в усложненном типе) могут совмещаться с разбивочными осями [2, рис. 1, 3], а могут быть смещены с осей на половину шага [2, рис. 2, 4].

В частности, если при делении величины пролета главной балки на шаги балок получается нечетное число, крайние балки в ячейке следует совмещать с осями. В случае четного числа необходимо смещать балки с осей на полшага.

Эти особенности существенно влияют на конструкцию сопряжения балок с колоннами.

## **4.2. Расчет элементов ячеек балочных клеток**

Расчет производится в последовательности, соответствующей последовательности передачи нагрузки:

- в ячейках балочных клеток нормального типа сначала рассчитывается настил, а затем балки настила;
- в ячейках балочных клеток усложненного типа первоначально рассчитывается настил, затем балки настила и далее вспомогательные балки.

В результате расчета производится подбор толщин настила, сечений балок, удовлетворяющих требованиям эксплуатации. Затем определяются технико-экономические показатели, позволяющие произвести выбор рационального варианта компоновки ячейки: расход стали на 1 м<sup>2</sup> ячейки, количество типоразмеров и количество отправочных марок балок, заполняющих ячейку.

#### 4.2.1. Расчет плоского стального настила

Простейшей конструкцией плоского стального настила является стальной лист толщиной  $t = 6\text{--}14$  мм, приваренный к балкам (рис. 2, а).

Приварка защемляет настил, создавая опорные моменты и снижая моменты в пролете; в запас прочности, жесткости защемление можно не учитывать и принимать при расчете балочную однопролетную схему с шарнирно-неподвижными опорами (рис. 2, б), считая, что в опорных сечениях в предельном состоянии могут образовываться шарниры пластичности.

При нагрузках, не превышающих  $50 \text{ кН/м}^2$ , и предельном относительном прогибе не более  $1/150$  прочность шарнирно-закрепленного стального настила всегда будет обеспечена и его надо рассчитывать только по жесткости.

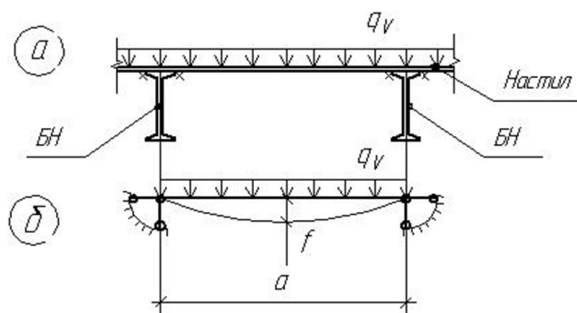


Рис. 2. Плоский стальной настил:

а – конструктивная схема; б – расчетная схема

Целью расчета является определение минимальной толщины настила при заданных величинах нормативной нагрузки  $q_v^n$  и пролета  $a$ . Толщина настила может быть определена аналитически с помощью уравнения Телояна [1] или по графикам Лейтеса (рис. 3).

Порядок расчета настила с помощью графиков: для заданной нагрузки  $q_v^n$  и предельного относительного прогиба  $[f / a]$  [5] определяется соответствующее отношение пролета настила к его толщине ( $a / t = n$ ), откуда определяется толщина настила ( $t = a / n$ ); полученная величина округляется до стандартной

в соответствии с ГОСТ 19903–74<sup>1</sup> (сокращенный сортамент представлен в [1, табл. П16.11]).

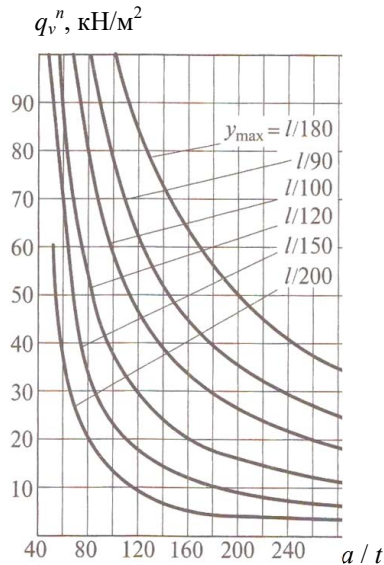


Рис. 3. Графики Лейтеса

Для сравнения вариантов необходим показатель расхода стали на 1 м<sup>2</sup> настила. Он определяется умножением объемной плотности стали  $\rho = 7850$  кг/м<sup>3</sup> на толщину настила  $t$  (м).

#### 4.2.2. Расчет балок

Расчет балок производится следующим образом:

- определяются конструктивные и, соответствующие им, расчетные схемы;
- определяются нормативные и расчетные нагрузки;
- определяются максимальные расчетные значения усилий: изгибающих  $M_{\max}$  и перерезывающих  $Q_{\max}$ ;
- определяются требуемые значения моментов сопротивлений, как для разрезных балок 2-го класса [6, п. 4.2.7], из условия работы на изгиб по нормальным напряжениям (1-я группа предельных состояний – [6, п. 8.2.3]);

<sup>1</sup> Заменен на ГОСТ 19903–2015.

- подбираются по ГОСТ 8239–89<sup>2</sup> [1, табл. П16.3] двутавры с фактическими значениями моментов сопротивлений, большими или равными требуемым значениям ( $W_x^{\text{ф}} \geq W_x^{\text{тп}}$ ); в случае отсутствия требуемых двутавров в ГОСТ 8239–89 следует обратиться в ГОСТ 26020–83<sup>3</sup> [1, табл. П16.4] и по нему подбирать балочный профиль (тип Б);
- выявляется необходимость проведения проверки общей устойчивости балок – [6, п. 8.4.6];
- производится проверка подобранных двутавров на пригодность к нормальной эксплуатации, то есть по жесткости (2-я группа предельных состояний – [5, прил. Д]).

Проверка касательных напряжений в прокатных балках при отсутствии ослаблений опорных сечений обычно не требуется вследствие относительно большой толщины стенок балок.

Для сравнения вариантов компоновок необходим показатель расхода стали на балки, отнесенный к 1 м<sup>2</sup> площади ячейки (кг/м<sup>2</sup>). Этот показатель может быть определен делением линейной плотности (массы 1 погонного метра) балки (кг/м) на ширину ее грузовой полосы (м).

---

<sup>2</sup> Утратил силу в РФ 30.11.2018 г.

<sup>3</sup> Утратил силу в РФ 30.11.2018 г.

## 5. ПРИМЕР ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО СРАВНЕНИЯ ВАРИАНТОВ КОМПОНОВКИ ЯЧЕЙКИ БАЛОЧНОЙ КЛЕТКИ

Требуется запроектировать ячейку балочной клетки со следующими исходными данными:

1. Размеры ячейки в плане  $16 \times 7$  м.
2. Временная равномерно распределенная по настилу нормативная нагрузка  $q_v^n = 24$  кН/м<sup>2</sup>.
3. Материал настила и балок – сталь класса С245.
4. Настил – плоский стальной лист (ГОСТ 19903–74\*).
5. Балки настила и вспомогательные балки – прокатные двутавры.
6. Главные балки – составного сечения.
7. Средство перевозки конструкций на монтажную площадку – автотранспорт.
8. Монтажные стыки главных балок в середине пролета.

Обычно выбор рационального решения достигается технико-экономическим сравнением нескольких возможных вариантов компоновки ячейки. В данном примере рассмотрим два варианта: нормального и усложненного типов.

Порядок конструирования и расчета каждого варианта:

- компоновка ячейки;
- расчет элементов ячейки;
- определение технико-экономических показателей.

### 5.1. Ячейка балочной клетки нормального типа (вариант 1)

#### 5.1.1. Компоновка ячейки

Главные балки располагаем в продольном направлении, перекрывая, таким образом, бóльший пролет  $L = 16$  м (рис. 4). По условиям транспортабельности делим каждую балку на две равные отправочные марки – ГБ1, определяя, таким образом, положение монтажного стыка в середине пролета.

Принимаем шаг балок настила  $a = 0,8$  м, кратный пролету главной балки. Частное от деления  $L / a = 20$  – четное число.

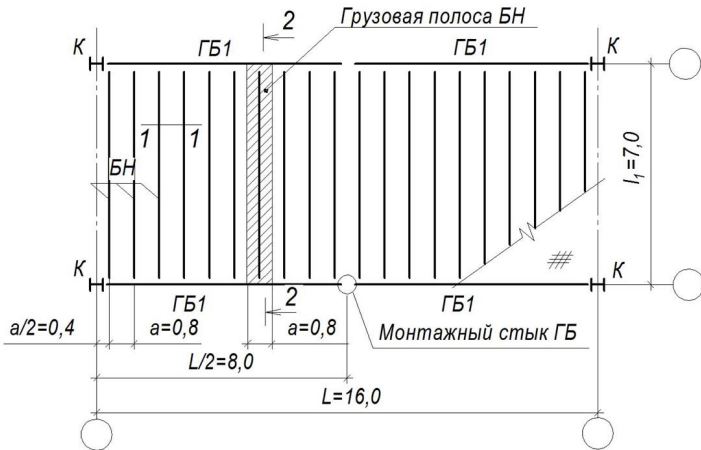


Рис. 4. Ячейка балочной клетки нормального типа

Отсюда, для того чтобы балка настила не попала на монтажные стыки главных балок, принимаем вариант компоновки со смещением крайних балок настила в ячейке с поперечных разбивочных осей на полшага (рис. 4). В случае нечетного числа от деления  $L/a$  крайние балки следовало бы совместить с поперечными осями ячейки.

### 5.1.2. Расчет настила

Конструктивная и расчетная схемы настила представлены на рис. 5. Пролет настила равен шагу балок  $a = 0,8$  м.

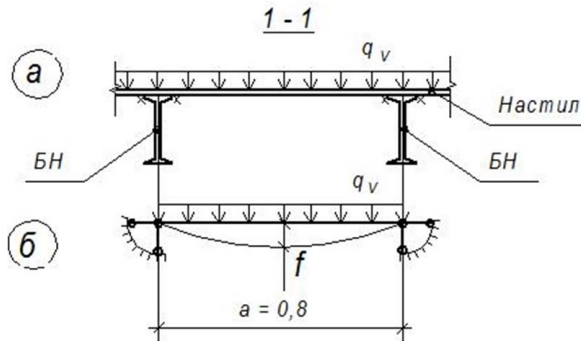


Рис. 5. К расчету настила:  
 а – конструктивная схема; б – расчетная схема

Величина временной нормативной нагрузки, действующей на настил ( $q_v^n = 24 \text{ кН/м}^2$ ), находится в пределах  $50 \text{ кН/м}^2$ . Прочность настила при данной нагрузке будет обеспечена [1], поэтому расчет производим только по жесткости.

Критерием жесткости для изгибаемых элементов является величина предельно допустимого относительного прогиба. Для стального настила  $[f/a] = 1/120$ ;  $a = 0,8 < 1,0 \text{ м}$  [5, табл. Д.1].

Расчет настила производим с помощью графиков Лейтеса (рис. 5). Для заданной нагрузки  $q_v^n = 24 \text{ кН/м}^2$  и предельно допустимого относительного прогиба  $[f/a] = 1/120$  определяем требуемое отношение пролета настила к его толщине  $a/t = 140$ ; тогда минимальная толщина настила определяется как:

$$t = a / 140 = 80 / 140 = 0,572 \text{ см.}$$

По ГОСТ 19903–74\* принимаем толщину настила  $t = 6 \text{ мм}$ .

Настил передает на балки настила временную нагрузку и нагрузку от собственной массы. Нормативная величина нагрузки от массы настила, распределенной на  $1 \text{ м}^2$  площади  $g_n^n$ , может быть определена умножением объемной плотности стали на толщину листа:

$$g_n^n = \rho \cdot t = 78,5 \text{ кН/м}^3 \cdot 0,006 \text{ м} = 0,471 \text{ кН/м}^2 .$$

### 5.1.3. Расчет балок настила

Конструктивная схема сопряжения балки настила с главными балками представлена на рис. 6, а. В запас прочности и жесткости в качестве расчетной схемы принимаем однопролетную балку с шарнирными опорами (рис. 6, б).

Каждая балка настила воспринимает нагрузку, действующую в пределах ее грузовой площади. Расчетная балка (рис. 4) воспринимает временную нагрузку и постоянную нагрузку от настила, действующую в пределах грузовой полосы шириной  $a$ .

Таким образом, нормативная нагрузка, действующая на балку настила, может быть определена как:

$$\begin{aligned} q_{6н}^n &= (q_v^n + g_n^n)a = (24 \text{ кН/м}^2 + 0,471 \text{ кН/м}^2) \cdot 0,8 = \\ &= 19,579 \text{ кН/м} = 0,196 \text{ кН/см.} \end{aligned}$$

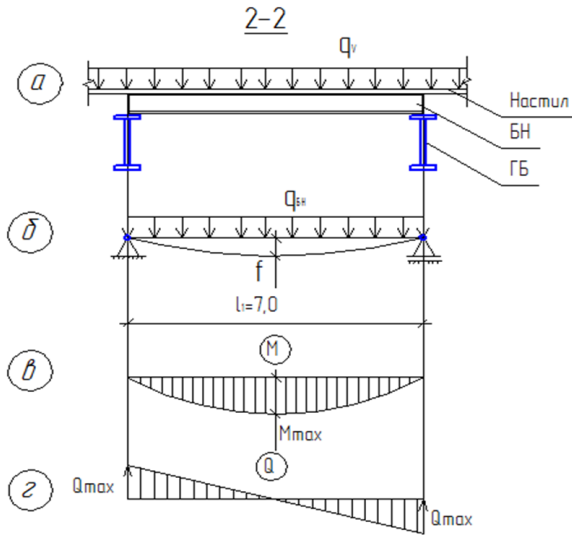


Рис. 6. К расчету балки настила:  
*a* – конструктивная схема; *б* – расчетная схема;  
*в* – эпюра изгибающих моментов; *г* – эпюра перерезывающих усилий

Расчетная нагрузка определяется с учетом коэффициентов надежности: по переменной нагрузке  $\gamma_v$  и постоянной нагрузке  $\gamma_g$ :

$$q_{\text{бн}} = (q_v^n \gamma_v + g_n^n \gamma_g) a.$$

Коэффициенты надежности по нагрузке приведены в [5, табл. 7.1]. Для стального листа  $\gamma_g = 1,05$ . Временная нагрузка в примере не конкретизирована, поэтому условно принимаем коэффициент ее надежности  $\gamma_v = 1,2$ .

Определяем величину расчетной погонной нагрузки, действующей на балку настила:

$$q_{\text{бн}} = (24 \text{ кН/м}^2 \cdot 1,2 + 0,471 \text{ кН/м}^2 \cdot 1,05) \cdot 0,8 = 23,44 \text{ кН/м}.$$

Величина максимального изгибающего момента, действующего в середине пролета рассматриваемой балки (рис. 6, *в*), определяется как:

$$M_{\text{max}} = \frac{q_{\text{бн}} \cdot l_1^2}{8} = \frac{23,44 \text{ кН/м} \cdot 7^2 \text{ м}^2}{8} = 143,57 \text{ кНм}.$$



Максимальное перерезывающее усилие действует на опорах:

$$Q_{\max} = \frac{q_{\text{бн}} \cdot l_1}{2} = \frac{23,44 \text{ кН/м} \cdot 7 \text{ м}}{2} = 82,04 \text{ кН.}$$

Подбор сечения производим, как для балок 2-го класса, с учетом возможности развития пластических деформаций [6, п. 8.2.3]:

$$W_x^{\text{тp}} = \frac{M_{\max}}{c_x \beta R_y \gamma_c},$$

где  $R_y$  – расчетное сопротивление фасонного проката на сжатие, растяжение и изгиб, определенное по пределу текучести [6, табл. В.5]; в данном случае  $R_y = 24 \text{ кН/см}^2$ , как для фасонного проката при толщине от 4 до 20 мм (включ.);  $\beta$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от величины касательных напряжений; примем в первом приближении  $\beta = 1$  для случая  $\tau \leq 0,5R_s$  с последующей проверкой после подбора сечения;  $c_x$  – коэффициент учета развития пластических деформаций, определяемый по [6, табл. Е.1] в зависимости от схемы сечения; в курсовой работе для двутавровых балок можно для упрощения с достаточной точностью принять  $c_x = 1,1$ ;  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы [6, табл. 1]; в рассматриваемом примере  $\gamma_c = 1,0$ .

С учетом конкретных значений  $R_y$ ,  $c_x$ ,  $\gamma_c$  определяем требуемый момент сопротивления:

$$W_x^{\text{тp}} = \frac{143,57 \cdot 100 \text{ кНсм}}{1,1 \cdot 24 \text{ кН/см}^2 \cdot 1} = 543,8 \text{ см}^3.$$

По ГОСТ 8239–89 принимаем двутавр  $I33$ , имеющий момент сопротивления  $W_x = 597 \text{ см}^3 > 543,8 \text{ см}^3$ , момент инерции  $I_x = 9840 \text{ см}^4$ , статический момент  $S_x = 339 \text{ см}^3$ , толщину стенки  $s = 7 \text{ мм}$  и линейную плотность  $g_{\text{бн}}^n = 42,2 \text{ кг/м}$ .

Проверим корректность выбора коэффициента  $\beta$ . Для этого определим касательные напряжения:

$$\tau = \frac{Q_{\max} \cdot S_x}{I_x \cdot s} = \frac{82,04 \text{ кН} \cdot 339 \text{ см}^3}{9840 \text{ см}^4 \cdot 0,7 \text{ см}} = 4,06 \text{ кН/см}^2.$$

Проверяем корректность принятия коэффициента  $\beta = 1$ .

По табл. 2 [6] определяем расчетное сопротивление сдвигу (срезу) как  $R_s = 0,58 \cdot R_y$ . Тогда

$$0,5R_s = 0,5 \cdot 0,58 \cdot R_y = 0,5 \cdot 0,58 \cdot 24 = 6,96 \text{ кН/см}^2,$$

что соответствует условию  $\tau < 0,5R_s$ .

Таким образом, коэффициент  $\beta = 1$  принят правильно.

Прочность принятой балки по нормальным напряжениям обеспечена, так как  $W_x^\phi > W_x$ .

Обеспечена и общая устойчивость балки: нагрузка на нее передается через стальной жесткий лист настила, непрерывно опирающийся на сжатый пояс балки и надежно к нему приваренный ([6, п. 8.4.4, б] с учетом особенностей, указанных в [6, п. 8.4.6]).

Проверяем жесткость балки. Для этого определяем относительный прогиб  $f/l_1$  и сравниваем его с предельно допустимым значением. Предельно допустимое значение  $[f/l_1]$  определяем по [6, табл. Д.1] в соответствии с п. 2, а.

Пролет балки  $l_1 = 7$  м. В табл. Д.1 приводятся предельно допустимые относительные прогибы для пролета 6 м – 1/200 и для пролета 24 м – 1/250 (принято при высоте до низа главных балок более 6 м). Для пролета 7 м определяем интерполяцией  $[f/l_1] = 1/202$ .

Производим проверку:

$$\frac{f}{l_1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{6н}^n \cdot l_1^3}{EI_x^\phi} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,196 \text{ кН/см} \cdot 700 \text{ см}^3}{2,1 \cdot 10^4 \text{ кН/см}^2 \cdot 9840 \text{ см}^4} = \frac{1}{236}$$

что меньше

$$\left[ \frac{f}{l_1} \right] = \frac{1}{202}$$

Таким образом, можно сделать вывод, что балка отвечает предъявляемым к ней эксплуатационным требованиям.

#### 5.1.4. Определение ТЭП

1. Расход стали на 1 м<sup>2</sup> ячейки.

В рассматриваемом случае расход стали определяем как суммарную величину расхода на настил и на балки настила.

Расход настила на 1 м<sup>2</sup> ячейки определяем умножением объемной плотности стали  $\rho$  на толщину листа  $t$ :

$$\rho \cdot t = 7850 \text{ кг/м}^3 \cdot 0,006 \text{ м} = 47,1 \text{ кг/м}^2.$$

Расход стали на балки настила, отнесенный к 1 м<sup>2</sup> ячейки, определяем делением линейной плотности балок на ширину их грузовой полосы:

$$\frac{q_{6н}^n}{a} = \frac{42,2 \text{ кг/м}}{0,8 \text{ м}} = 52,75 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}.$$

Суммарный расход стали на квадратный метр ячейки определяем как:

$$g_1^n = 47,1 + 52,75 = 99,85 \text{ кг/м.}$$

2. Количество отправочных марок балок в ячейке составляет 20 штук (20 шт. БН).

3. Количество типоразмеров балок в ячейке – 1 шт., то есть балка I33 конструктивной длиной 5980 мм (пролет в осях 6000 мм, по 10 мм привязка с двух сторон).

## 5.2. Ячейка балочной клетки усложненного типа (вариант 2)

### 5.2.1. Компоновка ячейки

Как и в ячейке балочной клетки нормального типа, главные балки располагаем, перекрывая бóльший пролет (рис. 7). По условиям транспортабельности делим каждую балку, как и в первом варианте, на две равные отправочные марки – ГБ1, определяя положение монтажного стыка также в середине пролета.

Вспомогательные балки размещаем с шагом  $l_2 = 3,2$  м, кратным пролету главных.

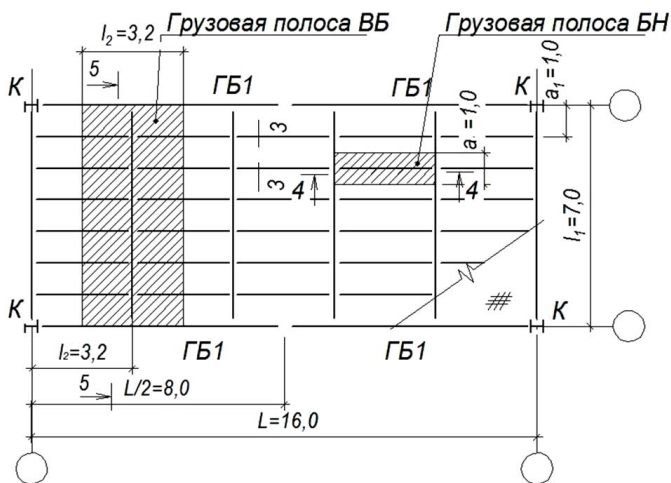


Рис. 7. Ячейка балочной клетки усложненного типа

Частное от деления  $L/l_2 = 16/3,2 = 5$  – нечетное число. Отсюда, учитывая нежелательность попадания ВБ на монтажный стык ГБ, принимаем вариант с совмещением крайних вспомогательных балок в ячейке с поперечными осями (рис. 7).

Балки настила располагаем вдоль главных балок с шагом  $a_1 = 1,0$  м, кратным пролету вспомогательных балок.

### 5.2.2. Расчет настила

Конструктивная и расчетная схема настила представлена в данном случае на рис. 8. Расчет выполняем по аналогии с расчетом настила балочной клетки нормального типа.

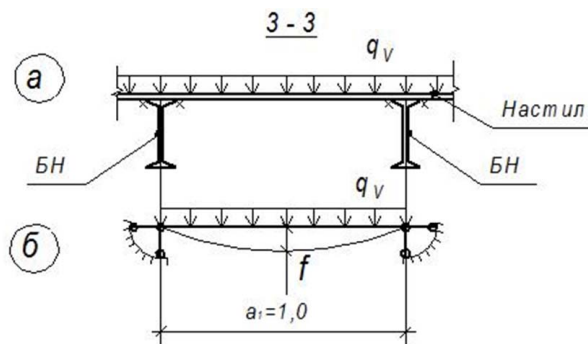


Рис. 8. К расчету настила:

*a* – конструктивная схема; *б* – расчетная схема

По графикам (рис. 3) для  $q_v^n = 24$  кН/м<sup>2</sup> и  $[f/a] = 1/120$  определяем требуемую величину отношения пролета настила к толщине  $a_1/t = 140$ . С учетом  $a_1 = 1,0$  м толщина настила  $t = 100/140 = 0,71$  см. По ГОСТ 19903–74\* принимаем настил толщиной  $t = 8$  мм.

Нормативная величина нагрузки от массы настила будет равна:

$$g_H^n = \rho \cdot t = 78,5 \text{ кН/м}^3 \cdot 0,008 \text{ м} = 0,628 \text{ кН/м}^2.$$

### 5.2.3. Расчет балок настила

Примем этажное сопряжение балок настила и вспомогательных (рис. 9, а). Расчетную схему вспомогательной балки в запас прочности и жесткости можно принять в виде однопролетной шарнирно опертой балки пролетом  $l_2$  (рис. 9, б).

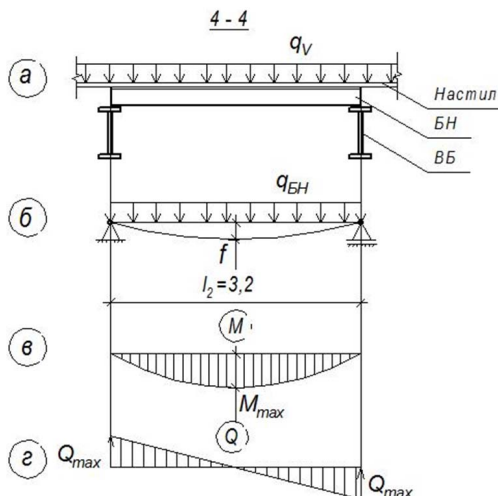


Рис. 9. К расчету балки настила:

а – конструктивная схема; б – расчетная схема; в – эпюра изгибающих моментов; г – эпюра перерезывающих усилий

Определяем нормативную  $q_{бн}^n$  и расчетную  $q_{бн}$  величину нагрузки, действующей на балку настила:

$$\begin{aligned} q_{бн}^n &= (q_v^n + g_n^n) a_1 = (24 \text{ кН/м}^2 + 0,628 \text{ кН/м}^2) \cdot 1,0 \text{ м} = \\ &= 24,628 \text{ кН/м} = 0,246 \text{ кН/см}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{бн} &= (q_v^n \gamma_v + g_n^n \gamma_g) a_1 = (24 \text{ кН/м}^2 \cdot 1,2 + 0,628 \text{ кН/м}^2 \cdot 1,05) \cdot 1,0 \text{ м} = \\ &= 29,46 \text{ кН/м}. \end{aligned}$$

Вычисляем максимальные значения изгибающего момента и перерезывающего усилия:

$$M_{\max} = \frac{q_{бн} \cdot l_2^2}{8} = \frac{29,46 \text{ кН/м} \cdot 3,2^2 \text{ м}^2}{8} = 37,71 \text{ кНм}.$$

$$Q_{\max} = \frac{q_{бн} \cdot l_2}{2} = \frac{29,46 \text{ кН/м} \cdot 3,2 \text{ м}}{2} = 47,14 \text{ кН}.$$

Подбор сечения производим как для балок 2-го класса, с учетом возможности развития пластических деформаций [6, п. 8.2.3]:

$$W_x^{\text{тp}} = \frac{M_{\text{max}}}{c_x \beta R_y \gamma_c}.$$

Величины  $c_x = 1,1$ ;  $\beta = 1,0$ ;  $R_y = 24 \text{ кН/см}^2$  принимаем аналогично вышеприведенному расчету ячейки балочной клетки нормально-го типа.

Отсюда:

$$W_x^{\text{тp}} = \frac{37,71 \cdot 100 \text{ кНсм}}{1,1 \cdot 1 \cdot 24 \text{ кН/см}^2 \cdot 1} = 142,84 \text{ см}^3.$$

По сортаменту (ГОСТ 8239–89) принимаем И18, имеющий  $I_x = 1290 \text{ см}^4$ ,  $W_x = 143 \text{ см}^3$ ,  $S_x = 81,4 \text{ см}^3$ ,  $s = 5,1 \text{ мм}$ , линейную плотность  $g_{\text{бн}}^n = 18,4 \text{ кг/м} = 0,184 \text{ кН/м}$ .

Проверим корректность выбора коэффициента  $\beta$ . Для этого определяем касательные напряжения:

$$\tau = \frac{Q_{\text{max}} \cdot S_x}{I_x \cdot s} = \frac{47,14 \text{ кН} \cdot 81,4 \text{ см}^3}{1290 \text{ см}^4 \cdot 0,51 \text{ см}} = 5,83 \text{ кН/см}^2,$$

что соответствует условию  $\tau < 0,5R_s$ :

$$0,5R_s = 0,5 \cdot 0,58R_y = 0,5 \cdot 0,58 \cdot 24 = 6,96 \text{ кН/см}^2.$$

Таким образом, коэффициент  $\beta = 1$  принят правильно.

Так как  $W_x^{\text{ф}} > W_x^{\text{тp}}$ , проверка прочности балки по нормальным напряжениям не требуется.

Не требуется и проверка общей устойчивости балки [6, п. 8.4.6].

Выполняем проверку жесткости балки настила. Предельно допустимое значение  $[f/l_2]$  определяем по [5, табл. Д.1] в соответствии с п. 2, а.

Пролет балки  $l_2 = 3,2 \text{ м}$ . В табл. Д.1 приводятся предельно допустимые относительные прогибы для пролета 3 м – 1/150 и для пролета 6 м – 1/200. Для пролета 3,2 м определяем интерполяцией  $[f/l_2] = 1/152$ .

$$\frac{f}{l_2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{\text{бн}}^n \cdot l_2^3}{EJ_x} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,246 \text{ кН/см} \cdot 320^3 \text{ см}^3}{2,1 \cdot 10^4 \text{ кН/см}^2 \cdot 1290 \text{ см}^4} = \frac{1}{258},$$

что меньше  $[f/l_2] = 1/152$ .

Таким образом, окончательно принимаем в качестве балки настила И18 по ГОСТ 8239–89 как удовлетворяющий предъявляемым к нему эксплуатационным требованиям.

### 5.2.4. Расчет вспомогательных балок

В рассматриваемой балочной системе вспомогательные балки несут временную нагрузку и постоянные нагрузки от массы настила и балок настила. Опорами вспомогательных балок являются главные балки (рис. 10, а).

За расчетную схему вспомогательной балки принимаем однопролетную шарнирно опертую балку пролетом  $l_1$ . Нагрузка к вспомогательной балке реально прикладывается в виде сосредоточенной в местах опирания балок настила (рис. 10, б).

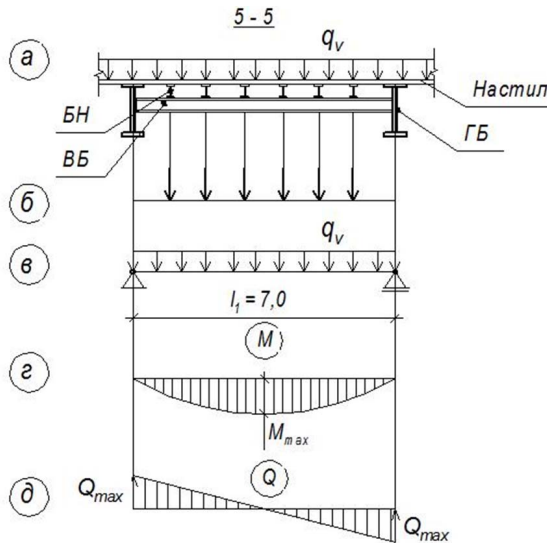


Рис. 10. К расчету вспомогательной балки:  
а – конструктивная схема; б – схема передачи нагрузки;  
в – расчетная схема; г – эпюра изгибающих моментов;  
д – эпюра перерезывающих усилий

Выбор расчетной схемы зависит от количества сосредоточенных сил: при количестве сил, меньшем пяти, следует рассчитывать балку на сосредоточенную нагрузку; при количестве, большем или равным пяти, в целях упрощения расчета с достаточной точностью может быть принята схема с загрузением балки равномерно распределенной нагрузкой.

В данном примере именно такой случай: количество балок настила, приходящихся на вспомогательную балку, равно шести, поэтому расчет вспомогательной балки будем вести с учетом действия равномерно распределенной нагрузки (рис. 10, в).

Определяем нормативную величину этой нагрузки:

$$q_{вб}^n = \left( q_v^n + g_n^n + \frac{g_{6н}^n}{a_1} \right) l_2 = (24 \text{ кН/м}^2 + 0,628 \text{ кН/м}^2 + \frac{0,184 \text{ кН/м}}{1,0 \text{ м}}) \cdot 3,2 \text{ м} = 79,4 \text{ кН/м} = 0,794 \text{ кН/см}.$$

Вычисляем расчетную нагрузку, действующую на вспомогательную балку:

$$\begin{aligned} q_{вб} &= \left[ q_v^n \cdot \gamma_v + \left( g_n^n + \frac{g_{6н}^n}{a_1} \right) \cdot \gamma_g \right] \cdot l_2 = \\ &= \left[ 24 \text{ кН/м}^2 \cdot 1,2 + \left( 0,628 \text{ кН/м}^2 + \frac{0,184 \text{ кН/м}}{1,0 \text{ м}} \right) \cdot 1,05 \right] \cdot 3,2 \text{ м} = \\ &= 94,89 \text{ кН/м}. \end{aligned}$$

Определяем максимальные значения изгибающего момента и перерезывающего усилия (рис. 10, з, д):

$$M_{\max} = \frac{q_{вб} \cdot l_1^2}{8} = \frac{94,89 \text{ кН/м} \cdot 7^2 \text{ м}^2}{8} = 581,2 \text{ кНм}.$$

$$Q_{\max} = \frac{q_{вб} \cdot l_1}{2} = \frac{94,89 \text{ кН/м} \cdot 7 \text{ м}}{2} = 332,12 \text{ кН}.$$

Требуемое значение момента сопротивления сечения вспомогательной балки определяем, как для балок 2-го класса, с учетом ее работы в упругопластической стадии [6, п. 8.2.3] по формуле

$$W_x^{\text{тп}} = \frac{M_{\max}}{c_x \beta R_y \gamma_c}.$$

Величины  $c_x = 1,1$ ;  $\beta = 1,0$ ;  $R_y = 24 \text{ кН/см}^2$  принимаем аналогично вышеприведенным расчетам.

Отсюда:

$$W_x^{\text{тп}} = \frac{M_{\max}}{c_1 \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{581,2 \cdot 100}{1,1 \cdot 1 \cdot 24 \text{ кН/см}^2 \cdot 1,0} = 2202,52 \text{ см}^3.$$

По сортаменту прокатной стали (ГОСТ 8239–89) принимаем I60, имеющий  $I_x = 76\,806 \text{ см}^4$ ,  $W_x = 2560 \text{ см}^3$ ,  $S_x = 1491 \text{ см}^3$ ,  $s = 12 \text{ мм}$ , и линейную плотность  $108 \text{ кг/м}$ .



Проверяем корректность выбора коэффициента  $\beta$ . Для этого определяем касательные напряжения:

$$\tau = \frac{Q_{\max} \cdot S_x}{I_x \cdot s} = \frac{332,12 \text{ кН} \cdot 1491 \text{ см}^3}{76806 \text{ см}^4 \cdot 1,2 \text{ см}} = 5,37 \text{ кН/см}^2,$$

что соответствует условию  $\tau < 0,5R_s$ :

$$0,5R_s = 0,5 \cdot 0,58R_y = 0,5 \cdot 0,58 \cdot 24 = 6,96 \text{ кН/см}^2.$$

Таким образом, коэффициент  $\beta = 1$  принят правильно.

Прочность двутавра по нормальным напряжениям не проверяем: она обеспечена, так как  $W_x > W_x^{\text{тp}}$ .

В отличие от балки настила сжатый пояс вспомогательной балки не имеет сплошного закрепления от поперечных смещений. Он закреплен лишь в отдельных точках самими балками настила, образующими совместно с настилом жесткий диск. Поэтому вспомогательную балку необходимо проверить на предмет обеспеченности ее общей устойчивости.

В соответствии с [6, п. 8.4.6] устойчивость балок 2-го класса следует считать обеспеченной при выполнении требований [6, п. 8.4.4, б]  $\bar{\lambda}_{ub} \leq \bar{\lambda}_b$  (условная гибкость сжатого пояса не должна превышать ее предельных значений) при условии умножения значений  $\bar{\lambda}_{ub}$ , определяемых по формулам таблицы 11 [6, п. 8.4.4, б], на коэффициент  $\delta$

$$\delta = 1 - \frac{0,6(c_{1x} - 1)}{c_x - 1},$$

где  $c_{1x}$  — коэффициент, определяемый по большему значению из формул:  $c_{1x} = M_x / W_x R_y \gamma_c$  или  $c_{1x} = \beta c_x$  и изменяющийся в пределах  $1 < c_{1x} \leq c_x$ .

Здесь  $M_x$  — изгибающий момент в сечении;  $c_x$  — коэффициент, принимаемый согласно таблице Е.1 [5] в зависимости от схемы сечения и отношения  $A_f / A_{\omega}$ , ( $A_f$  и  $A_{\omega}$  — площади сечения пояса и стенки); в курсовой работе с достаточной точностью можно принимать  $c_x = 1,1$ .

Коэффициент  $\beta$  принимаем равным  $\beta = 1$ , учитывая  $\tau_x \leq 0,5R_s$  (см. выше).

В нашем случае:

$$c_{1x} = \frac{M_x}{W_x R_y \gamma_c} = \frac{58120 \text{ кН/см}}{2560 \text{ см}^3 \cdot 24 \text{ кН/см}^2 \cdot 1} = 0,95;$$

$$c_{1x} = \beta c_x = 1 \cdot 1,1 = 1,1.$$

Принимаем  $c_{1x} = 1,1$ , как бóльшую из двух величин. Определяем коэффициент  $\delta$ :

$$\delta = 1 - 0,6(1,1 - 1)/(1,1 - 1) = 9,4.$$

Если нагрузка приложена к верхнему поясу, то предельное отношение  $\bar{\lambda}_{ub}$  для упругой работы определяем по формуле

$$\bar{\lambda}_{ub} = 0,35 + 0,032 \frac{b}{t} + \left(0,76 - 0,02 \frac{b}{t}\right) \cdot \frac{b}{h},$$

где  $b$  и  $t$  — соответственно ширина и толщина сжатого пояса балки;  $h$  — расстояние между осями поясных листов.

Условная гибкость сжатого пояса прокатной или сварной балки

$$\bar{\lambda}_b = \left(\frac{l_{ef}}{b}\right) \sqrt{\frac{R_y}{\sigma}}.$$

За расчетную длину балки  $l_{ef}$  следует принимать расстояние между точками закрепления сжатого пояса от поперечных смещений. В данном примере расчетная длина равна шагу балок настила, то есть  $l_{ef} = a = 1,0$  м.

В соответствии с ГОСТ 8239–89 I60 имеет  $b = 19$  см,  $t = 1,78$  см. Таким образом,  $h = 60 - 1,78 = 58,22$  см.

Производим проверку устойчивости вспомогательной балки.

Условная гибкость сжатого пояса прокатной или сварной балки

$$\bar{\lambda}_b = \left(\frac{l_{ef}}{b}\right) \sqrt{\frac{R_y}{\sigma}}.$$

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{581,2 \cdot 100}{2560} = 22,7 \text{ кН/см}^2.$$

$$\bar{\lambda}_b = \left(\frac{100}{19}\right) \sqrt{\frac{24}{22,7}} = 5,41.$$

Вычисляем предельную условную гибкость, как для балок 1-го класса (упругая работа):

$$\bar{\lambda}_{ub} = 0,35 + 0,032 \frac{19}{1,78} + \left( 0,76 - 0,02 \frac{19}{1,78} \right) \cdot \frac{19}{58,22} = 0,87.$$

С учетом упругопластической работы предельная условная гибкость будет равна

$$\bar{\lambda}_{ub} \cdot \delta = 0,87 \cdot 9,4 = 8,178.$$

Условная гибкость сжатого пояса меньше предельной условной гибкости:  $5,41 < 8,178$ . Таким образом, общая устойчивость вспомогательной балки обеспечена.

Проверяем жесткость балки:

$$\frac{f}{l_2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{вб}^n \cdot l_1^3}{EJ_x} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,794 \text{ кН/см} \cdot 700^3 \text{ см}^3}{2,1 \cdot 10^4 \text{ кН/см}^2 \cdot 76806 \text{ см}^4} = \frac{1}{455},$$

что меньше предельно допускаемой величины относительного прогиба для вспомогательной балки  $[f / l_1] = 1/202$ , то есть жесткость балки тоже обеспечена.

Таким образом, принятый для вспомогательной балки двутавр отвечает предъявляемым к нему требованиям прочности, общей устойчивости и жесткости, то есть удовлетворяет требованиям и 1-й, и 2-й групп предельных состояний.

### 5.2.5. Определение ТЭП

Расход стали в кг на  $1 \text{ м}^2$  настила:

$$\rho \cdot t = 7850 \text{ кг/м}^3 \cdot 0,008 \text{ м} = 62,8 \text{ кг/м}^2.$$

Расход стали в кг на балки настила, отнесенный к  $1 \text{ м}^2$  ячейки:

$$\frac{g_{бн}^n}{a_1} = \frac{18,4 \text{ кг/м}}{1,0 \text{ м}} = 18,4 \text{ кг/м}^2.$$

Расход стали в кг на вспомогательные балки, отнесенный к  $1 \text{ м}^2$  ячейки:

$$\frac{g_{вб}^n}{l_2} = \frac{108 \text{ кг/м}}{3,2 \text{ м}} = 33,75 \text{ кг/м}^2.$$

Расход стали на  $1 \text{ м}^2$  балочной ячейки усложненного типа:

$$g_2^n = 62,8 + 18,4 + 33,75 = 114,95 \text{ кг/м}^2.$$

Количество отправочных марок балок в ячейке составляет 36 штук, т. е. 30 штук БН и 6 штук ВБ.

Количество типоразмеров балок в ячейке – 2 шт., то есть 1 шт. БН и 1 шт. ВБ.

### 5.3. Сравнение вариантов

Для удобства сравнения технико-экономические показатели обоих вариантов сведены в таблицу.

*Сравнение вариантов*

№ п/п	ТЭП	Размерность	Вариант 1	Вариант 2
1	Расход стали на 1 м <sup>2</sup> ячейки	кг/м <sup>2</sup>	99,85	114,95
2	Количество отправочных марок балок в ячейке	шт.	20	36
3	Количество типоразмеров балок в ячейке	шт.	1	2

Как видно из таблицы, первый вариант экономичней во всех отношениях: и по затратам металла, и по трудоемкости.

Проводить сравнение по стоимости стали, затраченной на 1 м<sup>2</sup> ячеек, в данном случае нецелесообразно, так как в обоих вариантах принят один и тот же класс стали.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### Основная

1. Металлические конструкции : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению «Строительство» / Ю. И. Кудишин, Е. И. Беленя, В. С. Игнатъева, А. Б. Пуховский ; под ред. Ю. И. Кудишина. – 13-е изд., испр. – Москва : Академия, 2011. – 680, [1] с. – ISBN 978-5-7695-8483-1.
2. Родионов, И. К. Конструктивные решения элементов и узлов рабочих площадок промышленных зданий : электрон. учеб.-метод. пособие / И. К. Родионов ; науч. ред. В. М. Дидковский ; Тольяттинский государственный университет. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. – 1 оптический диск. – ISBN 978-5-8259-0894-6.
3. Родионов, И. К. Работа, расчет и конструирование сварной балки рабочей площадки промышленного здания : электрон. учеб.-метод. пособие / И. К. Родионов ; Тольяттинский государственный университет. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2019. – 1 оптический диск. – ISBN 978-5-8259-1390-2.
4. Родионов, И. К. Работа, расчет и конструирование стальных центрально-сжатых сплошных колонн : электрон. учеб.-метод. пособие / И. К. Родионов ; науч. ред. В. М. Дидковский ; Тольяттинский государственный университет. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. – 1 оптический диск. – ISBN 978-5-8259-0901-1.
5. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* : свод правил : издание официальное : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 3 декабря 2016 года № 891/пр : переиздание : дата введения 2017-06-04 / исполнители: ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко [и др.]. – Москва : Стандартинформ, 2018. – IV, 73, [17] с.
6. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\* : свод правил : издание официальное : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 февраля 2017 года № 126/пр : дата введения 2017-08-28 / исполнители: АО «НИЦ “Строительство”» – ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко [и др.]. – Москва : Стандартинформ, 2017. – V, 140 с.

### Дополнительная

7. Абаринов, А. А. Составление детализированных чертежей металлических конструкций / А. А. Абаринов. – Москва : Стройиздат, 1978. – 60 с., [2] л. ил.
8. Васильев, А. А. Металлические конструкции / А. А. Васильев. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1979. – 472 с.
9. Металлические конструкции. Том 1. Общая часть / [Л. И. Гладштейн, Е. М. Баско, М. Р. Урицкий [и др.] ; под общ. ред. В. В. Кузнецова. – Москва : Изд-во АСВ, 1998. – 569, [7] с. – (Справочник проектировщика).
10. Металлические конструкции. Том 2. Стальные конструкции зданий и сооружений / [Б. Г. Павлов, В. Ф. Беляев, Л. К. Шувалов [и др.] ; под общ. ред. В. В. Кузнецова. – Москва : Изд-во АСВ, 1998. – 498, [6] с. – (Справочник проектировщика).
11. Муханов, К. К. Металлические конструкции : учебник для вузов / К. К. Муханов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1976. – 504 с.
12. Технические условия размещения и крепления грузов : Приложение 3 к Соглашению о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС) : по состоянию на 1 июля 2019 года / Организация сотрудничества железных дорог (ОСЖД). – [Б. м. : б. и., б. г.]. – 820 с.

## ГЛОССАРИЙ

**Анализ** — метод исследования, характеризующийся выделением и изучением отдельных частей объектов исследования.

**Анкер** (нем. *anker* — якорь) — крепежное изделие, которое различными способами закрепляется в несущем основании и удерживает какую-либо конструкцию.

**База (башмак) колонны** — нижняя, уширенная часть колонны, имеющая конструктивное или архитектурное назначение.

**Балка** — конструктивный элемент, представляющий собой горизонтальный или наклонный брус, работающий преимущественно на поперечный изгиб.

**Балочная клетка** — перекрестная система балок.

**Бетон** (фр. *béton*) — искусственный каменный строительный материал, получаемый в результате формования и затвердевания рационально подобранной и уплотненной смеси, состоящей из вяжущего вещества (например, цемент), крупных и мелких заполнителей, воды.

**Болт** — крепежное изделие в виде стержня с наружной резьбой и, как правило, шестигранной головкой под гаечный ключ, образующее соединение при помощи гайки.

**Гайка** — крепежное изделие с резьбовым отверстием, образующее соединение с помощью винта, болта или шпильки.

**Ветвь** — один из вертикальных элементов стержня сквозной колонны.

**Двутавр** — профиль из металла, в сечении напоминающий букву «Н».

**Диафрагма** — элемент сквозной колонны, располагаемый между ветвями; предназначение — предотвращение закручивания стержня.

**Заклепка** — металлический стержень с головкой на одном конце, применяемый для соединения металлических частей путем расплющивания другого, выступающего конца стержня.

**Колонна** — вертикальный элемент, передающий нагрузку от вышележащих конструкций на нижележащие.

**Компетенция** (лат. *competere* — соответствовать, подходить) — способность применять знания, умения, успешно действовать

на основе практического опыта при решении задач общего рода, также в определенной широкой области.

**Компоновка** — составление схемы, целой системы из отдельных частей.

**Координационная ось** — одна из координационных линий, определяющих членение здания или сооружения на модульные шаги и высоты этажей.

**Марка** (отпр.) — часть конструкции, изготавливаемая на заводе и отправляемая на стройку.

**Монтаж** — сборка и установка сооружений, конструкций, машин, аппаратов и других устройств из готовых деталей по определенным планам и чертежам.

**Нагрузки нормативные** — нагрузки, установленные нормами по заданной заранее вероятности превышения средних значений или по номинальным значениям.

**Нагрузки расчетные** — нагрузки, используемые в расчетах конструкций на прочность и устойчивость и получаемые путем умножения нормативных значений нагрузок на коэффициенты надежности по нагрузке и по назначению здания.

**Настил (в рабочих площадках)** — стальной лист, покрывающий балочные клетки.

**Напряжения касательные** — напряжения, возникающие в плоскости сечения.

**Напряжения нормальные** — напряжения, возникающие в направлении, перпендикулярном к сечению.

**Оголовок** — верхняя часть колонны, предназначенная для восприятия нагрузки от вышележащих конструкций.

**Ось (разбивочная)** — одна из условных осей соответствующей координационной сетки, служащая для размерной привязки в плане отдельных элементов сооружения, здания на чертеже и при переносе их в натуру.

**Основание** — опорная часть предмета, сооружения.

**Плита** — пластина, прикрепляемая к верхнему или нижнему торцу колонны.



**Пояс (полка)** — плоский элемент, прикрепляемый к стенкам двутавров и швеллеров.

**Предел текучести** — механическая характеристика материала, характеризующая напряжение, при котором деформации продолжают расти без увеличения нагрузки.

**Предел прочности** — механическое напряжение, выше которого происходит разрушение материала.

**Привязка к координационной оси** — расположение объемно-планировочных структур и конструктивных элементов, а также встроенного оборудования по отношению к координационной оси.

**Прогиб (абсолютный)** — в строительной механике вертикальное или горизонтальное перемещение точек, лежащих на одной оси нормальной к плоскости элемента конструкции, под действием вертикальных нагрузок, разницы температур, ползучести материала и др.

**Прогиб (относительный) балки** — прогиб, отнесенный к пролету.

**Прокат (в металлургии)** — продукция (листовая и фасонная), получаемая на прокатных станах путем горячей, теплой или холодной прокатки.

**Пролет** — расстояние между смежными опорами, перекрываемое балкой, плитой, аркой и пр.

**Пролет (расчетный)** — расстояние между осями опор.

**Пролет в свету** — расстояние между внутренними гранями опор.

**Рабочие площадки (промышленного здания)** — служат для размещения производственного оборудования на определенной высоте в помещении цеха промышленного здания.

**Ребро (жесткости)** — пластина, привариваемая к стенке и полкам сварной сплошностенчатой металлической балки или колонны.

**Решетка** — элементы, соединяющие ветви сквозной колонны.

**Сварка** — процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном или общем нагреве, пластическом деформировании или совместном действии того и другого.

**Синтез** (греч. σύνθεσις — помещение вместе) — процесс соединения или объединения ранее разрозненных вещей или понятий в целое или набор. Синтез — антипод анализа.

**Сталь** (строит.) — сплав железа с углеродом, при этом содержание последнего в ней составляет не более 0,22 %.

**Стержень (колонны)** — основной вертикальный конструктивный элемент, сплошностенчатый или сквозной.

**Стенка** — плоский элемент, расположенный между полок двутавров и швеллеров.

**Стык (монтажный)** — узел сопряжения отдельных отправочных марок (или узел укрупнительной сборки конструкции) перед ее монтажом.

**Схема конструктивная** — схема взаимного расположения основных несущих конструкций элементов сооружения или здания.

**Схема расчетная** — это упрощенная, идеализированная схема, которая отражает наиболее существенные особенности объекта, определяющие его поведение под нагрузкой.

**Узел** — сопряжение отдельных конструктивных элементов при сборке на заводе или монтаже.

**Узел шарнирный** — если у элемента в узле не ограничен поворот.

**Ферма** (фр. *ferme*, лат. *Firmus* — прочный) — стержневая система в строительной механике, остающаяся геометрически неизменяемой после замены ее жестких узлов шарнирными.

**Фундамент** — часть здания (сооружения), воспринимающая нагрузку от вышележащих конструкций и передающая ее на грунт основания.

**Шайба** — кольцевая деталь крепежа, подкладывается под гайку или головку болта.

**Швеллер** — профиль из металла, в сечении напоминающий букву «П».

Приложение А

Спецификация стали и таблица отправочных марок

Форма 1

Спецификация стали класса С...									
Отпр. марка	№ поз.	Кол-во		Сече-ние	Длина, мм	Масса, кг			Примечание
		т	н			шт.	общ.	марки	
ГБ1 (К1)	1							+	
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
	На свар. швы 1 % (Масса напл. мет. 1 %)								
БН	7			1 45					

Форма 2

Таблица отправочных марок				
Марка элемента	Кол-во, шт.		Масса, кг	
	т	н	Одного элемента	Всех

### Примечания к спецификации




1. Спецификация (форма 1) располагается, как правило, в правом верхнем углу листа.
2. В графе спецификации «Отпр. марка» указывается буквенно-цифровое обозначение отправочного элемента.
3. В графе спецификации «№ поз.» указывается цифровое обозначение детали без индексов «т» и «н».
4. В графе спецификации «Количество» указывается количество деталей, «так» и «наоборот».
5. В графе спецификации «Сечение» указывается условное обозначение и размер профиля детали в мм.
6. В графе спецификации «Длина» указывается длина детали в мм.
7. В спецификации указываются окончательные размеры деталей, получаемые после всех технологических операций (резки, строжки, гнутья и т. д.). Припуски на строжку и другие операции, а также на усадку после сварки на чертеже не указываются, а задаются технологами завода-изготовителя.
8. Для деталей, получаемых путем продольной обрезки прокатных профилей, в графе «Примечание» необходимо указать, из какого профиля изготавливается деталь, за исключением тавров, получаемых роспуском широкополочных двутавров.
9. В графе спецификации «Масса, кг» указывается масса одной детали, масса всех деталей и общая масса элемента с учетом массы сварных швов (заводских), который принимается в размере 1–2 % от массы всех деталей марки.
10. Масса одной детали подсчитывается с точностью до 0,1 кг, всех деталей и отправочного элемента – с точностью до 1 кг.  
При подсчете массы листовых деталей, площадь которых более 0,1 м<sup>2</sup>, следует учитывать их фактическую площадь.  
Листовые фасонные детали (с прямыми и криволинейными срезами), площадь которых не более 0,1 м<sup>2</sup>, принимаются прямоугольными (при толщине до 12 мм). При толщине деталей более 12 мм следует определять их массы по фактической площади.  
Массу фланцев и подобных им криволинейных листовых деталей следует определять по фактической площади. При подсчете массы деталей объемная плотность стали принимается равной 7850 кг/м<sup>3</sup>.
11. В графе спецификации «Примечание» даются указания о технологических операциях: вальцовке, гнутье, малковке, строжке, фрезеровке, снятии фасок, сверлении и др.

Условные обозначения в тексте и на чертежах КМ

Наименование	Примеры обозначения
<b>Прокатные профили</b>	
Сталь угловая равнополочная	L 100×10
Сталь угловая неравнополочная	L 100×63×6
Балка двутавровая	I 36
Балка двутавровая для подвесных путей	I 36М
Балка двутавровая тонкостенная	I Т20
Двутавры с параллельными гранями полок	
нормальные	I 40Б
широкополочные	I 40Ш
колонные	I 40К
Швеллер с уклоном внутренних граней полок	[ 24
Швеллер с параллельными гранями полок	[ 24 П
Швеллер тонкостенный	[ Т 20
Рельс железнодорожный	Р 43
Рельс крановый	КР 120
Труба	О 102×3,5
Сталь круглая	о 20
Сталь квадратная	20×20
Сталь листовая, полосовая и широкополосная (обозначение сечения)	– 200×8
Сталь листовая (обозначение толщины)	δ12
Сталь рифленая	– рифл. 800×6
То же, условное графическое обозначение	
Сталь листовая просечно-вытяжная	– ПВ 508×710
То же, условное графическое обозначение	
Сталь листовая волнистая	~ 1,2×670×130
<b>Гнутые профили</b>	
Уголок равнополочный	ГН L 100×4
Уголок неравнополочный	ГН L 100×80×5

Наименование	Примеры обозначения
Швеллер равнополочный	ГН $\square$ 80×50×4
Швеллер неравнополочный	ГН $\square$ 100×80×50×4
С-образный	ГН $\square$ 100×50×10×2
Корытный равнополочный	ГН $\sqsubset$ 80×60×32×3
Корытный неравнополочный	ГН $\sqsubset$ 140×100×65×40×8
Зетовый равнополочный	ГН $\zeta$ 80×40×3
Зетовый неравнополочный	ГН $\zeta$ 65×45×40×25
Замкнутый	ГН $\square$ 180×120×4
Замкнутый сварной квадратного сечения	ГН $\square$ 100×5
Замкнутый сварной прямоугольного сечения	ГН $\square$ 180×75×5
Профилированный настил	 Н 60-845-1,0
<b>Отверстия</b>	
Отверстие круглое	
Отверстие круглое, зенкованное с ближней (видимой) стороны	
Отверстие круглое зенкованное с дальней (невидимой) стороны	
Отверстие круглое зенкованное с обеих сторон	
Отверстие овальное: $a$ – расстояние между центрами; $b$ – диаметр	
<b>Заклепки</b>	
Заклепка с полукруглыми головками	
Заклепка с потайной головкой с ближней (видимой) стороны	
Заклепка с потайной головкой с дальней (невидимой) стороны	
Заклепка с потайной головкой с обеих сторон	
Заклепка с полупотайной головкой с ближней (видимой) стороны	
Заклепка с полупотайной головкой с дальней (невидимой) стороны	
Заклепка с полупотайной головкой с обеих сторон	

Наименование	Примеры обозначения	
<b>Болты</b>		
Болт постоянный		
Болт временный		
Болт постоянный высокопрочный		
<b>Швы сварных соединений</b>		
Шов стыковой с ближней (видимой) стороны	Заводской 	Монтажный 
Шов стыковой с дальней (невидимой) стороны		
Шов угловой, а также стыковой в тавровых и угловых соединениях с ближней (видимой) стороны		
Шов угловой, а также стыковой в тавровых и угловых соединениях с дальней (невидимой) стороны		
Шов угловой, прерывистый с ближней (видимой) стороны: $h$ – толщина шва; $l$ – длина шва; $a$ – промежуток между швами	$\frac{h-l}{a}$ 	$\frac{h-l}{a}$ 
Шов угловой, прерывистый с дальней (невидимой) стороны	$\frac{h-l}{a}$ 	$\frac{h-l}{a}$ 
Шов точечный ( $a$ – шаг точек)		
<b>Прочие обозначения</b>		
Обозначение разреза		
Линия (ось) симметрии		
Отметка		
Выделение группы отверстий, отличающихся от других (диаметром или видом технологической обработки)		
Группа отверстий на одной риске, отличающаяся по диаметру на данном чертеже		

Наименование	Примеры обозначения
Элементы из круглой стали (тяги и т. п.) на схематических чертежах	
Проекция плоскости связей на схематических чертежах (напр. вертикальных связей в плане); ограждения в плане	
Линия обрыва конструкции	

[http://mkbim.ru/Library/Intruction\\_KMD.pdf](http://mkbim.ru/Library/Intruction_KMD.pdf)