

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Воронежский государственный технический университет

Кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела

РАСЧЕТ СТАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛОЩАДКИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к выполнению практических занятий и курсового проекта
по дисциплине «Металлические конструкции»
для студентов направления подготовки
21.03.01 «Нефтегазовое дело»
всех форм обучения*

Воронеж 2022

УДК 624.014.2(07)
ББК 38.54я7

Составители А. В. Панин, А. И. Калинина

Расчет стальной технологической площадки: методические указания к выполнению практических занятий и курсового проекта по дисциплине «Металлические конструкции» для студентов направления подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело» всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: А. В. Панин, А. И. Калинина. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. – 26с.

Приводятся методика расчета основных металлических конструкций промышленного здания, даны общие сведения об элементах и металлопрофиле.

Предназначены для студентов направления 21.03.01 «Нефтегазовое дело» всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ_РСТП_21.03.01_ПЗ_КП.pdf.

Ил. 6. Библиогр.: 9 назв.

УДК 624.014.2(07)
ББК 38.54я7

Рецензент – А. В. Литвинов, генеральный директор ООО «ВрнСтрой»

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для выполнения практических занятий и курсового проекта по дисциплине «Металлические конструкции». Цель составления методических указаний – дать ответы на вопросы, возникающие у студентов, приступающих к выполнению курсового проекта, который является большой самостоятельной инженерной работой.

Методические указания включают пример расчета металлических конструкций, последовательность и содержание этих расчетов, правила графического оформления, литературные источники, пользуясь которыми студенты выполняют расчеты. Работая над проектом, студент изучает действующие ГОСТы, справочную литературу, приобретает навыки выбора аппаратуры и оборудования, которые следует подобрать для обеспечения работы данной установки.

Основная цель курсового проекта заключается в закреплении и расширении теоретических знаний студентов, в приобретении ими навыков по решению инженерных задач. Выполнение курсового проекта служит базой для выполнения дипломных проектов по специальности.

Методические указания дополнены приложениями, в которых приведены формулы, справочные данные, что позволяет быстро определить необходимые расчетные величины.

1. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЕГО ОФОРМЛЕНИЮ

Курсовой проект по дисциплине «Металлические конструкции» состоит из пояснительной записки и графической части.

1.1. Содержание пояснительной записки

Пояснительная записка к курсовому проекту, содержащая все исходные, расчетные и графические (вспомогательные) материалы, должна быть оформлена в определенной последовательности:

- 1) титульный лист;
- 2) бланк задания на проектирование;
- 3) содержание;
- 4) введение;
- 5) расчет и проектирование стальных конструкций;
- 6) заключение (выводы);
- 7) библиографический список.

Задание на выполнение курсового проекта выдается на специальном бланке и подшивается в пояснительную записку без переписывания.

Содержание приводят в точном соответствии с рубрикацией, принятой в пояснительной записке, с указанием номеров страниц начала разделов и подразделов.

Введение. В данном разделе необходимо кратко описать назначение технологической площадки. Состав и характеристику. Описать виды металлических конструкций и процесс их изготовления.

Расчет и проектирование стальных конструкций. Задачей этого раздела проекта является определение нагрузок, подбор и выбор сечения и металлопрофиля основных металлических конструкций. Произвести проверку несущей способности и технико-экономических показателей элементов площадки.

Заключение (выводы). Заканчивая расчетную часть проекта, студент должен дать анализ полученных результатов, их соответствия заданию на проект.

Библиографический список. Литературные источники, которые использовались при составлении пояснительной записки, располагаются в порядке упоминания их в тексте или по алфавиту (по фамилии первого автора работы). Оформляется в соответствии с положениями о дипломном проектировании. Ссылки на использованную литературу в тексте приводят в квадратных скобках, учитывая номер источника по приведенному в пояснительной записке списку.

1.2. Оформление расчетно-пояснительной записки

Требования к оформлению текста пояснительной записки определены в «Положении о дипломном проектировании. Часть 1. Единые требования к текстовым документам», ГОСТ 2.105-95 «Общие требования к текстовым документам».

Текст курсового проекта должен быть выполнен печатным способом с использованием компьютера и принтера на одной стороне белой бумаги шрифтом Times New Roman, кегль 14, через 1,5 интервала, черным цветом, величина абзацного отступа не менее 15 мм.

Содержание пояснительной записки может быть представлено в виде текста, таблиц, иллюстраций, формул и других составляющих.

Страницы пояснительной записки должны соответствовать формату А4. При необходимости допускается применение других основных и дополнительных форматов по вышеуказанному стандарту. Такие страницы подшиваются и складываются так, чтобы основная надпись оставалась сверху без разворачивания листа. Каждый лист пояснительной записки, кроме приложений, должен иметь рамку и основную надпись.

Нумерация страниц пояснительной записки сквозная, включая приложения, арабскими цифрами в основной надписи. Заглавным листом считается титульный лист, вторым листом пояснительной записки является «Содержание». Номер страницы на титульном листе не проставляется. Иллюстрации, таблицы включаются в общую нумерацию.

Библиографический список должен содержать точные сведения об источниках, использованных при разработке дипломного проекта, в соответствии с ГОСТ 7.1- 2003, настоящим положением и удовлетворять следующим требованиям:

- соответствовать теме дипломного проекта;
- представлять разнообразные виды изданий: официальные, нормативные, справочные, учебные, научные, методические и т. д.;
- не содержать нормативно-устаревшие источники.

Библиографический список составляется в последовательности ссылок на источники по тексту пояснительной записки, которые нумеруются арабскими цифрами.

Графики, таблицы выполняются ручным способом или с помощью специальных компьютерных программ. Объем работы составляет 30 - 40 страниц. Текст печатается на одной стороне листа. Терминология и определения в записке должны быть едиными и соответствовать установленным стандартам, а при их отсутствии - общепринятым в научно-технической литературе. Сокращения слов в тексте и подписях не допускаются. Все расчетные формулы в пояснительной записке приводятся сначала в общем виде, нумеруются, дается объяснение обозначений и размерностей всех входящих в формулу величин. Затем в формулу подставляют численные значения величин и записывают результаты расчета.

Все иллюстрации (графики, схемы, чертежи) именуются рисунками. Рисунок нумеруют и располагают после ссылки на него.

Все таблицы, как и рисунки, нумеруют. Слева над таблицей (на уровне левой кромки контура таблицы) помещается слово «Таблица», ее номер и название. Нумерация таблиц производится арабскими цифрами либо сквозной нумерацией в пределах всего текстового документа. Название таблицы помещается над таблицей и оформляется строчными буквами, начиная с прописной.

Страницы скрепляются жесткой обложкой специальных папок для выполнения курсовых работ.

1.3. Графическая часть курсового проекта

Графическая часть включает один лист чертежей размером 841 × 594 мм (формат A1), на котором представлены:

1. Схема расположения элементов конструкций (М 1:100; М 1:200; М 1:400);
 - план на отметке Нир ;
 - продольный разрез;
 - поперечный разрез.
 2. Чертеж колонны с указанием всех размеров (М 1:15; М 1:20; 1:50), а также разрезы или виды (М 1:10);
 - оголовка;
 - базы.
 3. Чертеж главной балки с ребрами жесткости и указанием всех размеров (М 1:10; М 1:15; М 1:20).
 4. Узел сопряжения главной и вспомогательных балок в двух проекциях (М 1:10; М 1:15; М 1:20).
 5. Узел опирания главных балок на колонну - три проекции (М 1:10; М 1:15; М 1:20).
 6. Ведомость элементов по нижеприведенной форме.
 7. Примечания.
 8. Условные обозначения.
- .

1.4. Защита курсового проекта

К защите допускается студент, выполнивший задание на проектирование в установленном объеме и оформивший его в соответствии с требованиями.

Оформленный проект сдается руководителю для проверки, а затем в назначенный срок студент защищает свой проект.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ПРОЕКТУ

Задание на курсовой проект выдается кафедрой теплогазоснабжения и нефтегазового дела. В задании указывается:

1. Размеры площадки в плане $n \times m$.
2. b - шаг колонн в вертикальном направлении, м.
3. l - шаг колонн в горизонтальном направлении (пролет), м.
- n и m – число пролётов.
4. Шаг второстепенных балок a , м.
5. Постоянная нормативная нагрузка g_n , кН/м² (кПа).
6. Временная нормативная нагрузка p_n , кН/м² (кПа).
7. Отметка верха конструкций H_{up} , м.
8. Отметка низа конструкций H_{low} , м.
9. Тип колонн – **сплошные или сквозные**.
10. Материал конструкций – **сталь С235÷С285**.
11. Материал фундаментов – бетон классов прочности **В7.5÷В15**.

3. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛОЩАДКИ

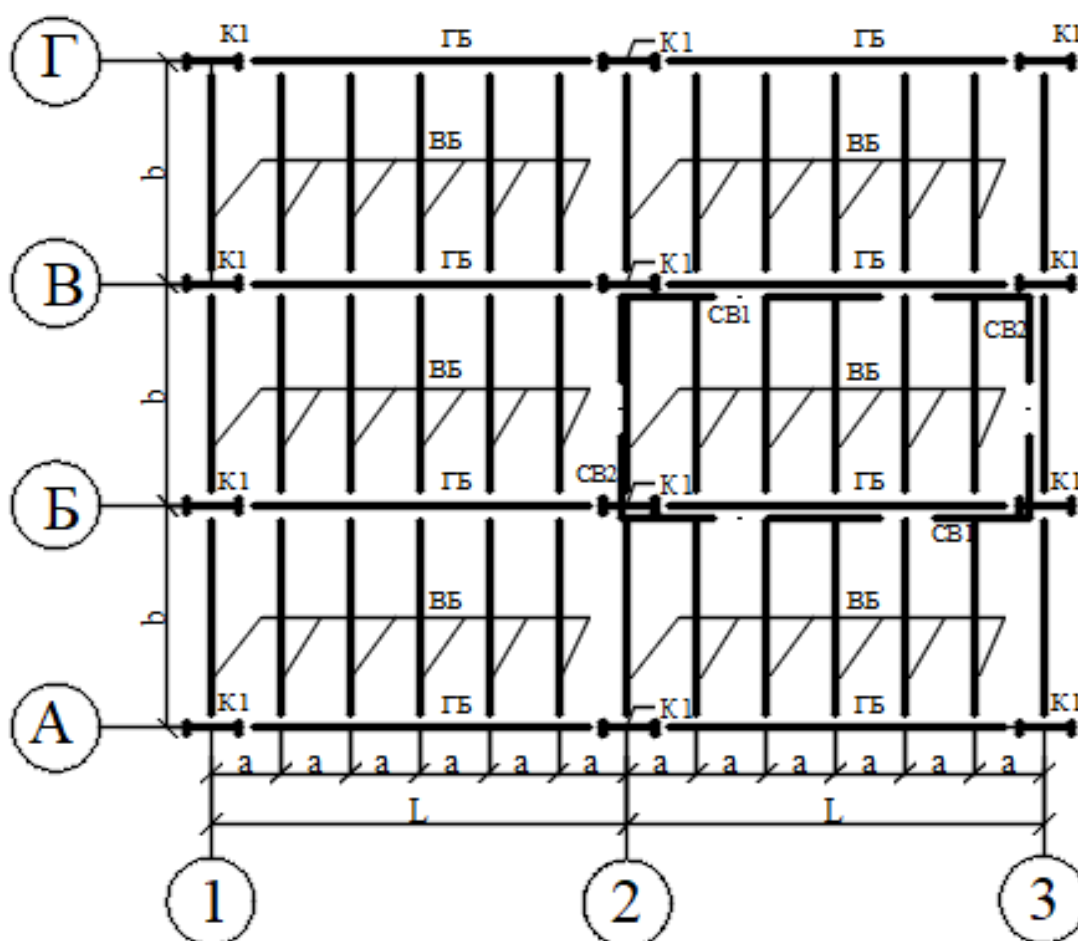


Рис.1. План технологической площадки

3.1. ВТОРОСТЕПЕННАЯ БАЛКА

3.1.1. Сбор нагрузок на второстепенную балку

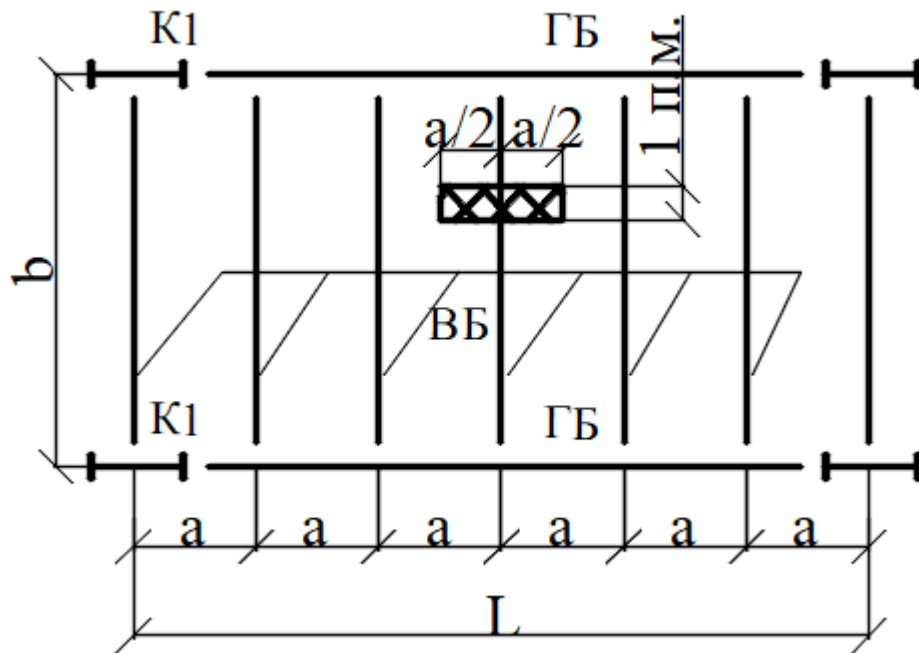


Рис. 2. Ячейка балочной клетки

Расчет второстепенной балки начинаем с вычисления нормативной равномерно распределенной нагрузки:

$$q_{sb,n}^* = (g_n + p_n) \cdot a, \text{кН} / \text{м}^2 \quad (1)$$

Расчетная нагрузка на 1 м второстепенной балки определяется формулой:

$$q_{sb}^* = (g_n \gamma_{f,g} + p_n \gamma_{f,p}) \cdot a, \text{кН} / \text{м}^2 \quad (2)$$

g_n – постоянная нормативная нагрузка на 1 м^2 , $\text{кН} / \text{м}^2$;

p_n – временная нормативная нагрузка на 1 м^2 , $\text{кН} / \text{м}^2$;

a – шаг второстепенных балок, м.;

$\gamma_{f,g}$ – коэффициент надежности для постоянной нагрузки, принимаемый равным 1,1;

$\gamma_{f,p}$ – коэффициент надежности для временной нагрузки, принимаемый равным 1,2.

Здесь и далее индекс * применен для обозначения величины, подлежащей впоследствии уточнению. В данном случае не учтен собственный вес второстепенной балки.

3.1.2. Подбор сечения второстепенной балки

Максимальный изгибающий момент, действующий в середине пролета второстепенной балки, определяется выражением:

$$M_{sb}^* = \frac{q_{sb}^* \cdot b}{8} \cdot 1,02, \kappa H \cdot m \quad (3)$$

где 1,02 – коэффициент, учитывающий пока еще неизвестный собственный вес второстепенной балки.

Расчёт на прочность разрезных балок сплошного сечения из стали с пределом текучести до 530 МПа, несущих статическую нагрузку, следует выполнять с учётом развития пластических деформаций

Требуемый момент сопротивления по формуле:

$$W_{x,req} = \frac{M_{sb}^*}{c \cdot R_y \cdot \gamma_c}, \text{см}^3 \quad (4)$$

R_y – расчетное сопротивление стали по пределу текучести;

c – коэффициент, учитывающий развитие пластических деформаций по сечению балки. На стадии подбора сечения можно принять $c = 1,1$;

$\gamma_c = 1,0$;

По найденному значению момента сопротивления из сортамента, который представлен в ГОСТ Р 57837-2017 "Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия", выбирается балочный двутавр с ближайшим, как правило, большим к требуемому значению момента сопротивления и записывается его номер.

3.1.3. Проверка сечения второстепенной балки

Перед проверкой подобранного сечения следует уточнить значения нормативной и расчетной нагрузок на 1 м второстепенной балки с учетом ее собственного веса:

$$q_{sb,n} = q_{sb,n}^* + \rho \cdot 9,81 \cdot 10^{-3}, \kappa H / m \quad (5)$$

$$q_{sb} = q_{sb}^* + \rho \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} \cdot \gamma_f, \kappa H / m \quad (6)$$

ρ – линейная плотность в кг/м прокатного двутавра по данным сортамента;

γ_f – коэффициент надежности для металлических конструкций заводского изготовления, принимаемый равным 1,05.

Фактический максимальный изгибающий момент, действующий в середине пролета второстепенной балки, определяется выражением:

$$M_{sb} = \frac{q_{sb} \cdot b^2}{8}, \kappa H \cdot m \quad (7)$$

Данное сечение должно удовлетворять двум группам предельных состояний.

Первая группа – по пригодности к эксплуатации. Прочность балки обеспечена, если выполняется условие:

$$\sigma = \frac{M_{sb}}{c \cdot W_x} < R_y \gamma_c, \kappa H / \text{см}^2 \quad (8)$$

Здесь W_x – фактический момент сопротивления по сортаменту;

c – фактическое значение коэффициента, учитывающего развитие пластических деформаций, разрешается оставить ранее принятое значение 1,1.

При подборе прокатных профилей приемлемой считается степень недонапряжения:

$$\frac{R_y \gamma_c - \sigma}{R_y \gamma_c} \cdot 100\% \leq 15\% \quad (9)$$

Вторая группа предельных состояний предполагает пригодность конструкции к нормальной эксплуатации. Жесткость балки обеспечена, если выполняется условие:

$$\frac{5}{384} \cdot \frac{q_{sb,n} \cdot b^3}{E \cdot I_x} \leq \left[\frac{f}{l} \right] \quad (10)$$

b – пролет второстепенной балки;

I_x – фактический момент инерции второстепенной балки по сортаменту;

$\left[\frac{f}{l} \right]$ – предельно допустимый относительный прогиб, принимаемый равным 1/200 для балок пролетом до 6 м и 1/250 при пролётах более 6 м.

3.2. ГЛАВНАЯ БАЛКА

3.2.1. Сбор нагрузок на главную балку

На главную балку действуют опорные реакции второстепенных балок.

Если на главной балке размещается 5 и более второстепенных балок, то сосредоточенную нагрузку от них можно заменить равномерно распределенной, интенсивность которой определяется размазыванием опорной реакции второстепенной балки на участке главной протяженностью a (см. задание на курсовой проект).

Нормативная нагрузка с учётом веса второстепенных балок:

$$q_{mb,n}^* = q_{sb,n} \cdot \frac{b}{a}, \text{кН / м} \quad (11)$$

Расчетная нагрузка:

$$q_{mb}^* = q_{sb} \cdot \frac{b}{a}, \text{кН / м} \quad (12)$$

3.2.2. Подбор сечения главной балки

Найдем максимальные значения изгибающего момента (в середине пролета) и поперечной силы (на опоре) главной балки от расчетной равномерно распределенной нагрузки:

$$M_{mb}^* = \frac{q_{mb}^* \cdot l^2}{8} \cdot 1,03, \kappa H \cdot m \quad (13)$$

$$Q_{mb}^* = \frac{q_{mb}^* \cdot l}{2} \cdot 1,03, \kappa H \quad (14)$$

Здесь коэффициент 1,03 учитывает пока еще неизвестный собственный вес главной балки.

После определения усилий в главной балке необходимо определить требуемый момент сопротивления $W_{x,req}$ как для конструкции, работающей в упругой стадии:

$$W_{x,req} = \frac{M_{mb}^*}{R_y \cdot \gamma_c}, \text{ см}^3 \quad (15)$$

В курсовом проекте главную балку принимаем составного сечения. При определении высоты конструкции следует руководствоваться тремя критериями:

1. По требованиям технологии производства высота пролетной конструкции, включая высоту сечения главной балки, должна вписываться в заданную разность отметок верха и низа. Эта высота называется строительной:

$$h_c = H_{up} - H_{low}, m \quad (16)$$

H_{up} – отметка верха конструкции;

H_{low} – то же низа.

2. Высота сечения называется минимальной и определяется для равномерно распределенной нагрузки по формуле:

$$h_{min} = \frac{5}{24} \cdot \frac{R_y \cdot l}{E} \cdot \left[\frac{l}{f} \right] \cdot \frac{q_{mb,n}^*}{q_{mb}^*}, m \quad (17)$$

$\left[\frac{l}{f} \right]$ – величина, обратная предельно допустимому относительному прогибу, который для главных балок в соответствии может быть принят равным 1/350, а в оговоренных случаях 1/400.

3. Сечение балки должно быть экономичным. Эта высота сечения называется оптимальной и вычисляется по формуле:

$$h_{opt} = \sqrt[3]{220 \cdot W_{x,req}} - 0,15 m, m \quad (18)$$

При выполнении условий $h_{min} < h_{opt} < h_c$ целесообразно назначить примерную высоту главной балки $h_{mb,req}$ близкой к h_{opt} .

После назначения примерной высоты балки $h_{mb,req}$ определяют высоту ее стенки h_w , задавшись предварительно толщиной поясных листов $t_{f,req}$ например, 20÷30 мм:

Высоту стенки, вычисленную по формуле $h_w = h_{mb,req} - 2 \cdot t_{f,req}$, следует округлить в ближайшую сторону до стандартной ширины листовой стали по ГОСТ 19903-2015.

Толщина стенки t_w может быть определена из двух условий:

1) условия прочности стенки на срез:

$$t_w = \frac{3}{2} \cdot \frac{Q_{sb}^*}{h_w \cdot R_s \cdot \gamma_c}, \text{ см} \quad (19)$$

где R_s - расчетное сопротивление стали сдвигу, определяемое выражением $R_s = 0,58 \cdot R_y$;

2) условия обеспечения местной устойчивости стенки без дополнительного продольного ребра жесткости:

$$t_w = \frac{h_w}{5,5} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}, \text{ см} \quad (20)$$

Толщина стенки назначается по максимальному значению (см. формулы (19) и (20)) с округлением в большую сторону до стандартных размеров листовой стали по ГОСТ 19903-2015.

Ширина полки:

$$b_f = \left(\frac{1}{3} \div \frac{1}{5} \right) \cdot h, \text{ см} \quad (21)$$

с округлением в ближайшую сторону до стандартной ширины листовой стали по ГОСТ 82-70.

Требуемый момент инерции сечения определяется по формуле:

$$I_{x,req} = W_{x,req} \cdot \frac{h_{mb,req}}{2}, \text{ см}^4 \quad (22)$$

Момент инерции сечения балки является суммой моментов инерции стенки и полок:

$$I_{x,req} = I_w + 2 \cdot b_f \cdot t_f \cdot d^2, \text{ см}^4 \quad (23)$$

Момент инерции сечения стенки определяется выражением:

$$I_w = \frac{t_w \cdot h_w^3}{12}, \text{ см}^4 \quad (24)$$

Момент инерции полок равен произведению площади полок на квадрат расстояния между центрами тяжести сечения балки и ее пояса (d), которое предварительно может быть определено выражением:

$$d^* = \frac{h_w + (20 \div 30) \text{ мм}}{2}, \text{ см} \quad (25)$$

Толщина полки:

$$t_{f,req} = \frac{I_{x,req} - I_w}{2 \cdot d^2 \cdot b_f}, \text{ см} \quad (26)$$

Окончательно толщина полки t_f назначается с округлением $t_{f,req}$ до стандартных размеров по ГОСТ 82-70. В соответствии с конструктивными требованиями к сварным швам крепления полок со стенкой толщина полки t_f не должна превышать толщину стенки t_w более чем в три раза, то есть $t_f \leq 3 \cdot t_w$.

После подбора сечения необходимо определить его фактические геометрические характеристики:

$$h = h_w + 2 \cdot t_f, \text{ см} \quad (27)$$

$$d = \frac{h_w + t_f}{2}, \text{ см} \quad (28)$$

$$A = t_w \cdot h_w + 2 \cdot t_f \cdot b_f, \text{ см}^2 \quad (29)$$

$$I_x = I_w + 2 \cdot t_f \cdot b_f \cdot d^2, \text{ см}^4 \quad (30)$$

$$W_x = \frac{2 \cdot I_x}{h}, \text{ см}^3 \quad (31)$$

Собственный погонный вес главной балки найдем по формуле:

$$g_{mb,n} = 77.01 \cdot 10^{-4} \cdot A(\text{см}^2), \text{ кН} / \text{ м} \quad (32)$$

3.2.3. Проверка несущей способности главной балки

Перед проверкой несущей способности следует уточнить расчетную равномерно распределенную нагрузку на балку:

$$q_{mb} = q_{mb}^* + g_{mb,n} \cdot \gamma_f, \text{ кН} / \text{ м} \quad (33)$$

Максимальный изгибающий момент, действующий в середине сечения

$$M_{mb} = \frac{q_{mb} \cdot l^2}{8}, \text{ кН} \cdot \text{ м} \quad (34)$$

Максимальная поперечная сила (опорная реакция):

$$Q_{sub} = \frac{q_{mb} \cdot l}{2}, \text{ кН} \quad (35)$$

Несущая способность главной балки обеспечена, если выполняется условие прочности в упругой стадии:

$$\sigma = \frac{M_{sb}}{c \cdot W_x} < R_y \gamma_c, \text{ кН} / \text{ см}^2 \quad (36)$$

Здесь W_x – фактический момент сопротивления по сортаменту;

c – фактическое значение коэффициента, учитывающего развитие пластических деформаций, разрешается оставить ранее принятое значение 1,1.

Сечение считается подобранным удачно, если недонапряжение не превышает 5 %, то есть выполняется условие:

$$\frac{R_y \gamma_c - \sigma}{R_y \gamma_c} \cdot 100\% \leq 5\% \quad (37)$$

3.2.4. Расстановка поперечных ребер жесткости

Ребра жесткости представляют собой парные пластинки, каждая высотой, равной высоте стенки балки, шириной выступающей части b_h и толщиной t_s . Последние параметры определяются следующими выражениями с последующим округлением до стандартных размеров по сортаменту:

$$b_h = \frac{h_w(мм)}{30} + 40(мм), мм \quad (38)$$

Толщина ребра жесткости определяется после назначения ширины b_h с помощью выражения:

$$t_s = 2 \cdot b_h \sqrt{\frac{R_y}{E}}, см \quad (39)$$

3.2.5 Проверка местной устойчивости элементов балки

3.2.5.1 Проверка местной устойчивости сжатой полки

Местная устойчивость сжатой полки будет обеспечена, если отношение b_{ef} / t_f не превышает предельной величины, где b_{ef} представляет собой свес полки и определяется выражением:

$$b_{ef} = \frac{(b_f - t_w)}{2}, см \quad (40)$$

$$\frac{b_{ef}}{t_f} \leq 0,5 \sqrt{\frac{E}{R_y}} \quad (41)$$

Если устойчивость оказывается необеспеченной, то увеличивают толщину полки, или уменьшают её ширину, или делают то и другое.

3.2.5.2 Проверка местной устойчивости стенки

В проверяемом сечении следует вычислить значения изгибающего момента и поперечной силы по формулам:

$$M_{loc} = \frac{q_{mb}}{2} \cdot x_{loc} \cdot (l - x_{loc}), кН \cdot м \quad (42)$$

$$Q_{loc} = q_{mb} \frac{l - 2 \cdot x_{loc}}{2}, кН \quad (43)$$

Для проверки местной устойчивости вычисляется нормальное напряжение в уровне верха стенки указанного сечения и среднее касательное напряжение в этом же сечении:

$$\sigma = \frac{M_{loc}}{I_x} \cdot \frac{h_w}{2} \quad (44)$$

$$\tau = \frac{Q_{loc}}{t_w \cdot h_w} \quad (45)$$

Местная устойчивость стенки балки в проверяемом отсеке обеспечена, если выполняется условие:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \leq \gamma_c \quad (46)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{c_{cr} \cdot R_y}{\lambda_w^2} \quad (47)$$

$$\tau_{cr} = 10,3 \cdot \left(1 + \frac{0,76}{\mu^2}\right) \frac{R_s}{\lambda_w^2}, \quad (48)$$

3.3. КОЛОННА

3.3.1. Общие положения. Расчетная схема

Колонны представляют собой центрально сжатые стойки. Нижний и верхний концы колонны имеет шарнирно неподвижное закрепление. Сжимающее продольное усилие складывается из опорных реакций двух главных балок и определяется выражением:

$$N^* = 2 \cdot Q_{sup}, \kappa H \quad (49)$$

Q_{sup} - опорная реакция главной балки, определенная выражением (35). В данном случае не учтен собственный вес колонны.

Высота колонны зависит от схемы сопряжения главных балок с второстепенными. Если суммарная высота сечений главной и вспомогательной балок не превышает строительную высоту, то есть если выполняется условие:

$$h + h_{sb} \leq h_c \quad (50)$$

то устраивается этажное сопряжение балок, в противном случае, когда устраивается сопряжение одним уровнем.

$$h + h_{sb} > h_c \quad (51)$$

Высота колонны, то есть ее геометрическая длина, в случае выполнения условия (50) определяется выражением:

$$H = H_{up} - h_{sb} - h - a_r + (0,5 \div 0,6), м \quad (52)$$

в случае выполнения условия (51) высота определяется выражением:

$$H = H_{up} - h - a_r + (0,5 \div 0,6), м \quad (53)$$

Здесь $(0,5 \dots 0,6)м$ - величина заглубления базы колонны относительно нулевой отметки;

a_r - величина выступающей части опорного ребра, принимаем 20...25мм.

Переход от геометрической длины к расчётной осуществляется по формуле:

$$l_{ef} = H_{ef} = \mu \cdot H, м \quad (54)$$

В данном курсовом проекте при расчётной схеме $\mu = 1$.

При этом для рассматриваемой конструкции расчетные длины колонны $l_{ef,x}$ и $l_{ef,y}$ относительно главных центральных осей сечения x и y равны между собой.

Так как расчет центрально сжатой стойки выполняется не на прочность, а на устойчивость, то при подборе и проверке сечения необходимо контролировать не только его площадь, но и гибкость стержня, которая непосредственно с радиусами инерции сечения относительно каждой главной центральной оси:

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x}, \lambda_y = \frac{l_y}{i_y}, \quad (55)$$

3.3.2. Сплошная центрально сжатая колонна

3.3.2.1. Подбор сечения сплошной центрально сжатой колонны

При проектировании колонны в рамках рассматриваемого проекта можно рекомендовать начальное значение $\lambda_{req} = 80$.

Требуемые значения радиусов инерции сечения, обеспечивающие заданную гибкость:

$$i_{x,req} = \frac{l_x}{\lambda_{req}}, см \quad (56)$$

$$i_{y,req} = \frac{l_y}{\lambda_{req}}, см \quad (57)$$

$$l_x = l_y = l_{ef} = H \quad (58)$$

Требуемую площадь сечения колонны получают из выражения:

$$A_{req} = \frac{N^*}{\varphi_{req} \cdot R_y \cdot \gamma_c} \cdot 1,03, см^2 \quad (59)$$

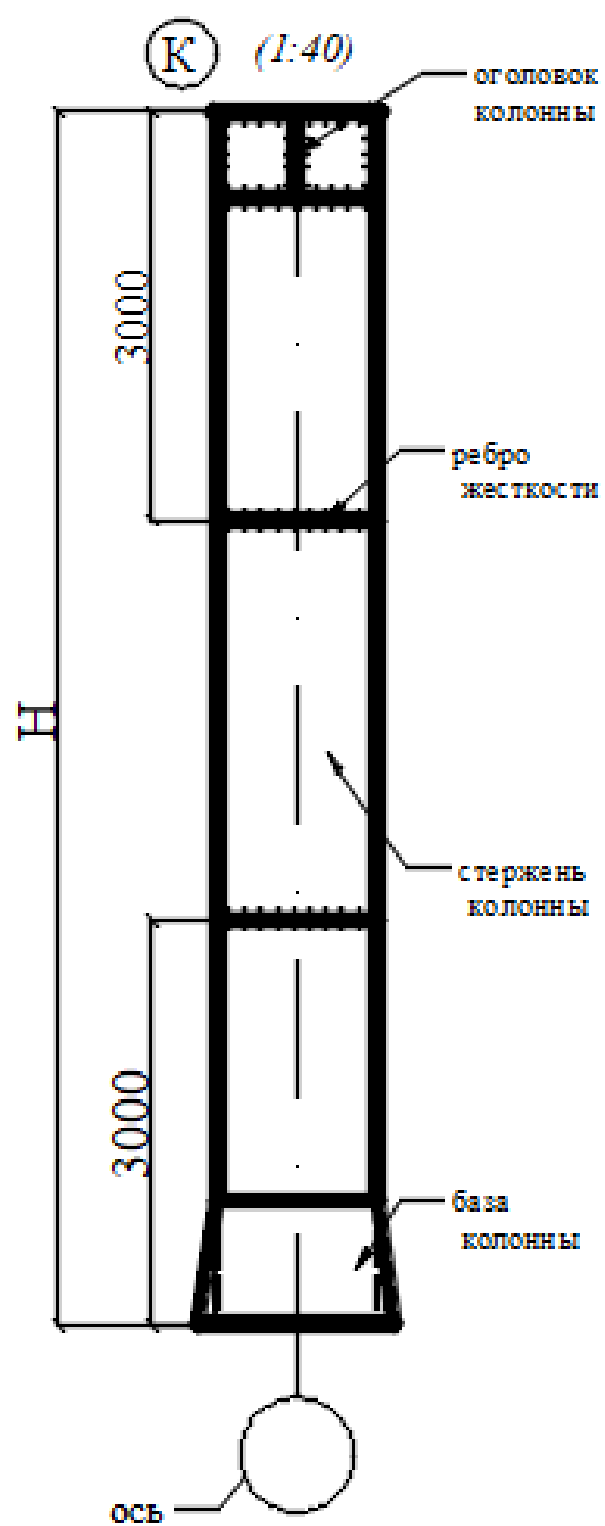


Рис. 3. Сплошная колонна

где 1,03 – коэффициент, учитывающий пока еще неизвестный собственный вес колонны.

По требуемому радиусу инерции i_y и требуемой площади сечения A в сортаменте выбирают номер двутавра. Скорее всего, требуемым значениям будут отвечать разные номера двутавров. Это свидетельствует об ошибочно заданном значении λ_{req} . Рекомендуется принять номер двутавра средний между этими значениями, вычислить фактическую гибкость $\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y}$ по ней, как сказано выше, найти $\varphi_y = \varphi(\lambda_y)$ и проверить несущую способность колонны:

$$\frac{N}{\varphi_y \cdot A} \leq R_y \gamma_c, \text{кН} / \text{см}^2 \quad (60)$$

Сжимающее продольное усилие в колонне с учетом ее собственного веса определяется выражением:

$$N = N^* + g_{col,n} \cdot H \cdot \gamma_f \cdot 1,2, \text{кН} \quad (61)$$

где 1,2 – коэффициент, учитывающий вес дополнительных деталей;
 γ_f – коэффициент надежности для собственного веса металлических конструкций заводского изготовления, принимаемый равным 1,05.

Сечение считается подобранном удачно, если недонапряжение не превышает 15 %, то есть выполняется условие:

$$\frac{R_y \gamma_c - \frac{N}{\varphi_y \cdot A}}{R_y \gamma_c} \cdot 100\% \leq 15\% \quad (62)$$

3.3.2.2. Расчет оголовка колонны

Толщина опорной плиты оголовка обычно принимается равной

$$t_{pl,top} = 20 \div 25 \text{мм}, \quad (63)$$

Суммарная ширина опорных ребра оголовка определяется выражением:

$$b_{r,top} \geq \frac{(b_r + 2 \cdot t_{pl,top})}{2}, \text{мм} \quad (64)$$

где b_r – ширина опорного ребра балки.

Опорные ребра оголовка по своей суммарной ширине и толщине должны сопротивляться смятию, то есть должно выполняться условие:

$$\frac{N^*}{t_{r,top} \cdot l_p} \leq R_p \gamma_c, \text{кН} / \text{см}^2 \quad (65)$$

Длина сминаемой поверхности опорных ребер определяется выражением:

$$l_p = 2 \cdot b_{r,top}, \quad (66)$$

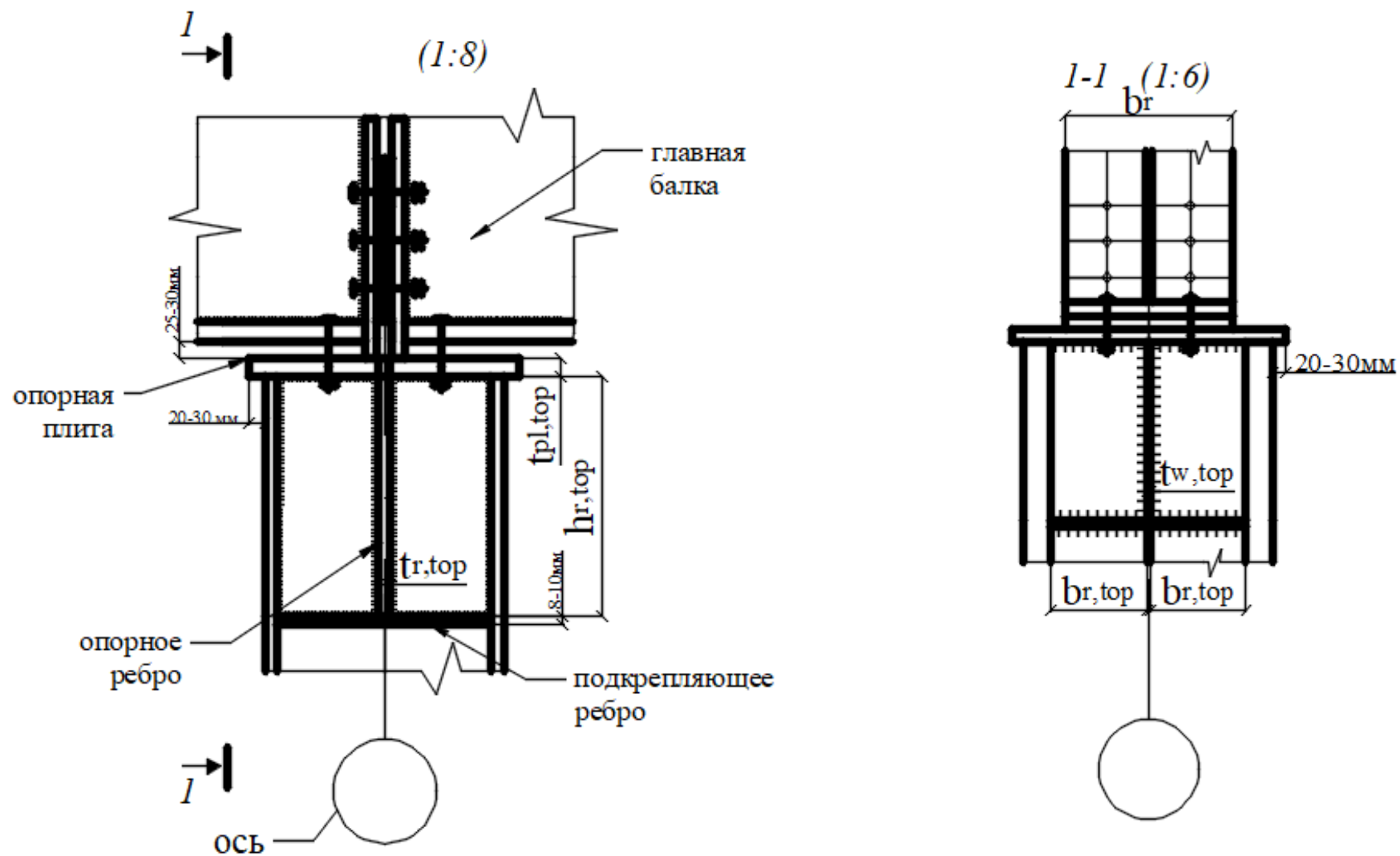


Рис. 4. Оголовек сплошной колонны

Толщина опорных ребер оголовка находится по формуле:

$$t_{r,top} \geq \frac{N}{R_p \cdot l_p \cdot \gamma_c}, \text{ мм} \quad (67)$$

Требуемая высота опорных ребер находится по формуле (предварительно назначив катет швов $k_f, \text{ мм}$):

$$h_{r,top} \geq \frac{N^*}{4 \cdot k_f \cdot \beta_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c}, \text{ мм} \quad (68)$$

При этом длина шва, равная высоте опорного ребра, не должна превышать предельно допустимой величины:

$$h_{r,top} \leq 85 \cdot \beta_f \cdot k_f, \text{ мм} \quad (69)$$

В случае невыполнения этого условия катет шва k_f следует увеличить.

Кроме этого должно быть проверено условие прочности опорного ребра на срез:

$$\frac{N^*}{2 \cdot h_{r,top} \cdot t_{r,top}} \leq R_s \gamma_c, \text{ кН / см}^2 \quad (70)$$

Также следует проверить на срез стенку колонны по граням крепления опорных ребер:

$$\frac{N^*}{2 \cdot h_{r,top} \cdot t_w} \leq R_s \gamma_c, \text{ кН / см}^2 \quad (71)$$

Если условие (69) не выполняется, необходимо увеличить толщину стенки колонны в пределах высоты оголовка с некоторым запасом путем вварки, более толстого стального листа толщиной $t_{w,top}$ определяемой выражением:

$$t_{w,top} \geq \frac{N^*}{2 \cdot h_{r,top} \cdot R_s \cdot \gamma_c}, \text{ мм} \quad (72)$$

3.3.2.3 Расчет базы колонны

Рассмотрим расчет базы на примере сплошной колонны. В состав базы, кроме нижнего участка стержня колонны, входят: опорная плита базы длиной L , шириной B и толщиной $t_{pl,bas}$, два листа траверсы высотой h_{tr} и толщиной t_{tr} каждый (рис. 5).

Расчет базы сводится к определению высоты и толщины траверсы, размеров опорной плиты в плане и ее толщины.

Траверса воспринимает усилие от стержня колонны N , определенное выражением (3.19), и передает его на опорную плиту. При этом считается, что указанное усилие полностью передается через четыре вертикальных угловых сварных шва длиной, равной высоте траверсы, то есть $l_w = h_{tr}$.

Расчет швов крепления траверсы к стержню колонны аналогичен расчету швов крепления опорных ребер в оголовке колонны.

Требуемая высота траверсы определяется по формуле:

$$h_{tr} \geq \frac{N^*}{4 \cdot k_f \cdot \beta_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c}, \text{ мм} \quad (73)$$

При этом длина шва, равная высоте траверсы, не должна превышать предельно допустимой величины:

$$h_{tr} \leq 85 \cdot \beta_f \cdot k_f, \text{ мм} \quad (74)$$

Толщину траверсы обычно назначают в пределах 10÷16 мм и не менее k_f , мм.

Размеры опорной плиты в плане определяются прочностью материала фундамента $R_{b,loc}$, которая, зависит от расчетного сопротивления бетона осевому сжатию R_b и отношения площади верхнего обреза фундамента A_{f2} к площади опорной плиты A_{f1} . На начальной стадии расчета площадь A_{f1} не известна, но можно задаться отношением $\frac{A_{f2}}{A_{f1}}$, например, приняв $\frac{A_{f2}}{A_{f1}} = 2$.

Расчетное сопротивление R_b определяется классом прочности бетона и для тяжелого и мелкозернистого бетона некоторых классов представлено в СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции.

Расчетное сопротивление материала фундамента смятию определяется выражением:

$$R_{b,loc} = R_b \cdot \sqrt[3]{\frac{A_{f2}}{A_{f1}}}, \text{ кН / см}^2 \quad (75)$$

Требуемая площадь плиты:

$$A_{f1,req} = \frac{N}{R_{b,loc}}, \quad (76)$$

Ширина плиты B принимается из конструктивных соображений в соответствии со схемой, представленной на разрезе 2-2 рис. 5, а длина назначается из условия $A_{f1,req} \leq L \cdot B$, откуда $L \geq \frac{A_{f1,req}}{B}$.

Окончательно длина плиты L принимается из геометрических соображений, учитывающих габарит сечения колонны и размеры участков размещения анкерных болтов общей длиной 2х(120...150)мм (разрез 2-2 рис. 5).

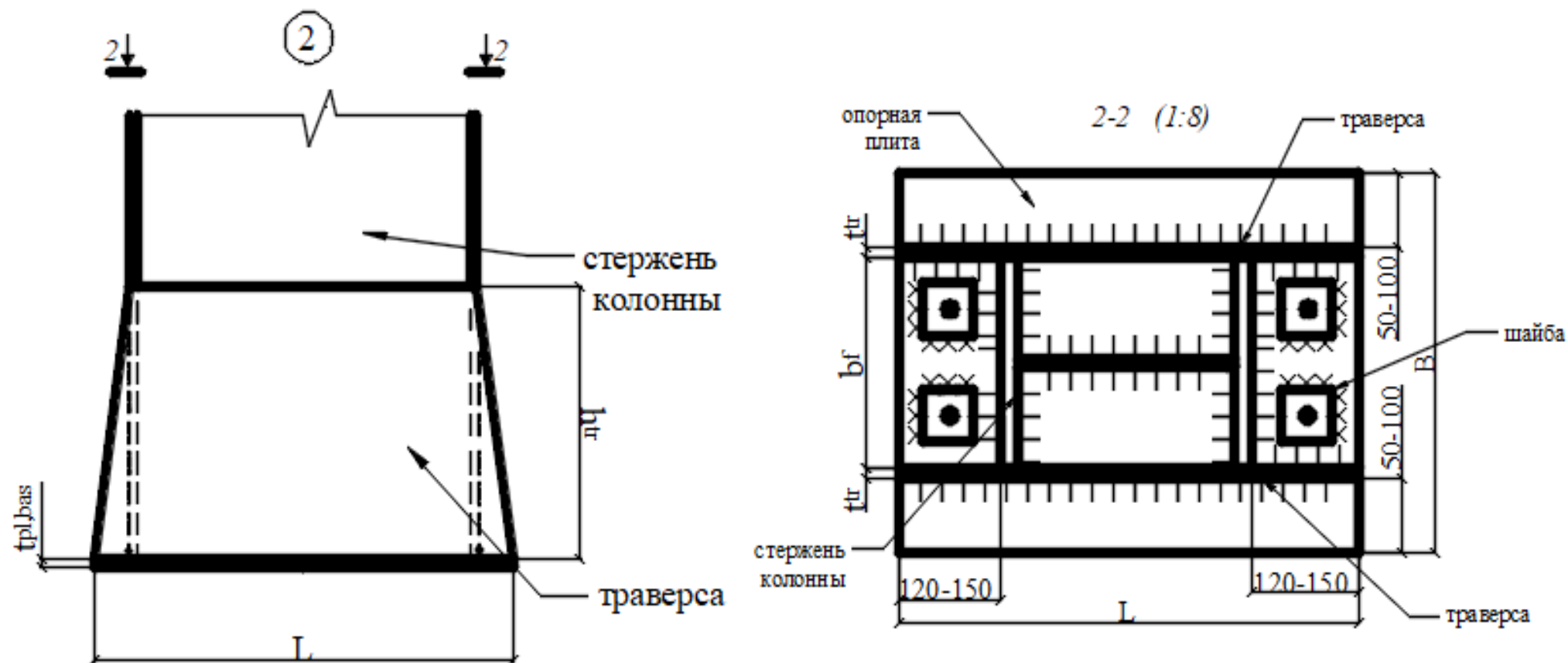


Рис. 5. База сплошной колонны

Окончательная длина плиты.

Нагрузка q_f может быть найдена по фактической нагрузке и габаритам опорной плиты с помощью выражения:

$$q_f = \frac{N}{(L \cdot B)}, \quad (76)$$

Наибольший изгибающий момент, действующий на полосе единичной ширины в пластинке с любым опорным контуром, определяется выражением:

$$M_i = \alpha \cdot q_f \cdot a^2, \quad (77)$$

Толщина плиты базы определяется выражением:

$$t_{pl,bas} = \sqrt{\frac{6 \cdot M_{\max}}{R_y \cdot \gamma_c}}, \quad (78)$$

где $M_{\max}$ – наибольшее значение изгибающего момента из числа найденных для каждого участка по формуле (77).

4. ПРИМЕР СОСТАВЛЕНИЯ ВЕДОМОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ

Марка элемента	Сечение			Усиление для прикрепления			Марка стали
	эскиз	поз	состав	А,кН	Н,кН	М,кН*см	
ГБ		1	-10x1100				С255
		2	-25x280				
ВБ			40Б1				С255
К1			30К1				С255

Общие данные

1 Проект выполнен в соответствии со СП16.13330.2017

"Стальные конструкции. Нормы проектирования.

2 Материал конструкций

3 Все катеты швов , кроме оговоренных

4 Сварка полуавтоматическая проволокой СВ-08

5 Высокопрочные болты М24. Обычные М16 класса 5.6.

6 Конструкции покрыть эмалью ПФ115 по грунту

Рис.6. Ведомость элементов и общие данные

Библиографический список

1. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции / АО "НИЦ "Строительство" - ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, МГСУ, СПбГАСУ ГУП ЦПП, 2017. – 90 с.
2. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО "НИЦ "Строительство" при участии ФГБУ "Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова", 2017– 44 с.
3. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003 (с Изменением N 1). – М.: Стандартинформ, 2019 .
4. ГОСТ 19903-2015 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент (с Поправкой). – М.:Стандартинформ, 2016
5. Горев В.В. Металлические конструкции : Учеб. пособие для строит. вузов. Т.1. Элементы стальных конструкций / Под ред. Горева В.В. - М. : Высш. шк., 1997. - 526с.
6. ГОСТ Р 57837-2017 Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия (с Поправкой, с Изменением N 1). – М.:Стандартинформ, 2019
7. ГОСТ 82-70 Прокат стальной горячекатаный широкополосный универсальный. Сортамент (с Изменениями N 1-4) – М.: Стандартинформ, 2012 .
8. Колотов, О. В. Металлические конструкции : Учебное пособие / О. В. Колотов ; Колотов О. В. - Нижний Новгород : Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2010. - 100 с.
URL: <http://www.iprbookshop.ru/16014.html>
9. Колодёжнов, С. Н., Металлические конструкции рабочей площадки в примерах [Текст] : учебно-методическое пособие к выполнению курсового проекта (курсовой работы) по металлическим конструкциям для студентов бакалавриата и специалитета, обучающихся по направлениям "Строительство" и "Строительство уникальных зданий и сооружений" / Колодёжнов Сергей Николаевич ; Воронеж. гос. архитектур.-строит. ун-т. - Воронеж : [б. и.], 2015 (Воронеж : Отдел оперативной полиграфии изд-ва учеб. лит. и учеб.-метод. пособий Воронежского ГАСУ, 2015). - 81 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЕГО ОФОРМЛЕНИЮ.....	4
1.1. Содержание пояснительной записки.....	4
1.2. Оформление расчетно-пояснительной записки.....	5
1.3. Графическая часть курсового проекта.....	6
1.4. Защита курсового проекта.....	6
2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ПРОЕКТУ.....	7
3. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛОЩАДКИ.....	7
3.1. ВТОРОСТЕПЕННАЯ БАЛКА.....	8
3.1.1 Сбор нагрузок на второстепенную балку.....	8
3.1.2 Подбор сечения второстепенной балки.....	8
3.1.3 Проверка сечения второстепенной балки.....	9
3.2. ГЛАВНАЯ БАЛКА.....	10
3.2.1 Сбор нагрузок на главную балку.....	10
3.2.2 Подбор сечения главной балки.....	10
3.2.3 Проверка несущей способности главной балки.....	13
3.2.4 Расстановка поперечных ребер жесткости.....	14
3.2.5. Проверка местной устойчивости элементов балки.....	14
3.2.5.1. Проверка местной устойчивости сжатой полки.....	14
3.2.5.2 Проверка местной устойчивости стенки.....	14
3.3. КОЛОННА.....	15
3.3.1 Общие положения. Расчетная схема.....	15
3.3.2 Сплошная центрально сжатая колонна.....	16
3.3.2.1 Подбор сечения сплошной центрально сжатой колонны.....	16
3.3.2.2. Расчет оголовка колонны.....	18
3.3.2.3 Расчет базы колонны.....	20
4. ПРИМЕР СОСТАВЛЕНИЯ ВЕДОМОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ.....	23
Библиографический список рекомендуемой литературы.....	24

РАСЧЕТ СТАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛОЩАДКИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к выполнению практических занятий и курсового проекта
по дисциплине «Металлические конструкции»
для студентов направления подготовки
21.03.01 «Нефтегазовое дело»
всех форм обучения*

Составители:

Панин Анатолий Васильевич
Калинина Алина Игоревна

В авторской редакции

Подписано к изданию 16.06.2022.

Уч.-изд. л. 1,3

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84