Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шамсутдинов Расим Адегамович
Должность: Директор ЛЕНИНГОРСКИЙ
Дата подписания: 30.12.2022 10:57:57
Уникальный программный ключ:
d31c25eab3d6fbb0cc50e03a64dfdc00329a083e3a993ad1080663082c961114

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
Лениногорский филиал

Лустин А.Д.

Расчёт и проектирование сварных соединений

Методические рекомендации по курсовому проектированию
для обучающихся по направлению
15.03.01 «Машиностроение», профиль «Оборудование и технология сварочного производства»

(Методические рекомендации обсуждены и одобрены на заседании кафедры Технологии машиностроения и приборостроения 25.05.2022, протокол №9)

Лениногорск 2022

СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
ВВЕДЕНИЕ		5
1.	ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	6
2.	ТЕМАТИКА КУРСОВОГО ПРОЕКТА	6
3.	ОБЪЕМ И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	7
3.1.	Объем и содержание пояснительной записки	7
3.2.	Объем и содержание графической части работы	9
4.	ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЯХ КРАНОВ	9
4.1	Характеристика конструкций кранов	9
4.2	Назначение и условия работы	12
5.	МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ МОСТА КРАНА КОРОБЧАТОГО СЕЧЕНИЯ	13
5.1.	Порядок выполнения курсового проекта с мостом крана коробчатого типа	14
5.2.	Определение расчетных нагрузок	10
5.2.1.	Определение вертикальных постоянных нагрузок	16
5.2.2.	Определение вертикальных подвижных нагрузок	16
5.2.3.	Определение горизонтальных нагрузок	17
5.3.	Определение внутренних силовых факторов	17
5.4.	Построение линий влияния	18
5.5.	Предварительный выбор материала, допускаемых напряжений и основных размеров главной балки моста	19
5.5.1.	Выбор материала металлоконструкции	19
5.5.2.	Выбор расчетных сопротивлений (допускаемых напряжений)	20
5.5.3.	Выбор основных размеров	20
5.5.4.	Определение скручивающего момента от горизонтальных инерционных нагрузок	21

5.6. Проверка жесткости главной балки моста 21
5.7. Проверка прочности главной балки моста 22
5.8. Проверка местной устойчивости стенок 24
5.9. Проектирование сварных соединений 24
6. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ МОСТА КРАНА РЕШЁТЧАТОГО ТИПА 27
6.1. Порядок выполнения курсового проекта с мостом крана решётчатого типа 27
6.2. Основные размеры крановых мостов решетчатого типа 27
6.3. Определение расчетных нагрузок 29
6.3.1. Определение расчетных нагрузок на главную ферму 29
6.3.2. Определение расчетных нагрузок на вертикальную вспомогательную ферму 31
6.4. Расчет металлоконструкции моста крана решетчатого типа 32
6.4.1. Определение усилий в стержнях главной фермы 32
6.4.2. Подбор сечений элементов главной фермы 33
6.4.3. Проверка жесткости кранового моста 37
7. РАСЧЕТ КОНЦЕВОЙ БАЛКИ 39
7.1. Определение расчётных нагрузок на концевую балку и основных размеров 39
7.2. Расчёт болтового соединения монтажного стыка 40
8. ЗАЩИТА КУРСОВОГО ПРОЕКТА 41
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА И НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ 43
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 45

ВВЕДЕНИЕ

Курсовой проект по дисциплине «Расчёт и проектирование сварных конструкций» выполняется в VIII семестре после изучения основного теоретического курса в VII семестре.

При выполнении настоящего проекта студент использует и закрепляет свои знания по дисциплинам базовой и вариативной части (детали машин, материаловедение. Технология конструкционных материалов, сварочные процессы и оборудование, технологии и оборудование для производства машиностроительных конструкций).

Задание на курсовой проект выдается каждому студенту на специальном бланке, в котором указывается тема работы, исходные данные и необходимые пояснения.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Основной целью курсового проекта является развитие у студентов навыков самостоятельного и творческого решения инженерных задач по расчету и проектированию сварных конструкций

Курсовой проект должен способствовать:

• закреплению полученных знаний путем использования их для решения конкретных задач;

• расширению круга знаний студентов путем изучения ГОСТов, справочников, строительных норм и правил, нормативных документов Ростехнадзора и другой специальной литературы;

• овладению основами конструирования сварных узлов с учетом их технологичности и работоспособности в заданных условиях эксплуатации;

• овладению методами расчетов на прочность сварных соединений и конструкций;

• развитию у студентов навыков технически и литературно грамотно излагать, и убедительно обосновывать принятые технические решения, расчеты и т.д.

• приобщению студентов к применению ЭВМ при проектировании сварных конструкций;

• развитию у студентов умения обоснованно и технически грамотно защищать принятые решения.

2. ТЕМАТИКА КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Темой курсового проекта является проектирование металлоконструкций мостового крана коробчатого сечения, двутаврового или решётчатого типа заданной грузоподъемности и длины пролета.

Для проектирования могут быть заданы и другие сварные конструкции (стойки, башенные краны, перекрытия и т.д.). Для студентов, обучающихся по индивидуальному плану, разрешается замена курсового проекта исследовательской работой с элементами конструирования. Указанная замена производится решением кафедры при утверждении индивидуального плана студента.

3. ОБЪЕМ И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект должен состоять из пояснительной записки и графической части.

3.1. *Объем и содержание пояснительной записки*

Пояснительная записка является составной частью курсового проекта и должна содержать весь расчетно-технический материал.

Пояснительная записка должна иметь следующие пункты в указанной последовательности:

- титульный лист (на русском и английском языке);
- задание на курсовой проект;
- аннотация (на русском и английском языке);
- содержание;
- введение;
- основная часть;
- заключение;
- список используемой литературы;
- приложение.

Во введении освещается роль сварки в создании надежных и экономичных строительных и машиностроительных конструкций, формулируются основные задачи курсовой работы.

Основная часть пояснительной записки включает разделы:

1. Краткое описание конструкции крана и условий его работы;

2. Выбор не менее двух (из 3-х…4-х, указанных в нормативном документе) марок сталей (обычной и повышенной прочности) для элементов конструкции с учетом их свариваемости, механических свойств.

3. Определение допускаемых напряжений для основного металла и металла шва.

4. Выбор схемы моста крана. Определение основных размеров конструкции.

5. Определение нагрузок, действующих на кран, составление расчётной схемы.

6. Балка коробчатого сечения

• Построение линий влияния и определение с использованием их изгибающих моментов и перерезывающих сил в сечениях главной балки.

• Определение размеров поперечного сечения главной балки в двух вариантах для сталей обычной и повышенной прочности.

• Проверка прочности и жёсткости главной балки в двух вариантах её конструкции.

• Проверка местной устойчивости главной балки в двух вариантах её конструкции. Выбор места расположения и размеров ребер жесткости (при необходимости).

• Проверка прочности поясных швов и стыков балки в двух вариантах её конструкции.

• Выбор конструкции и расчет узлов сопряжения главной балки с концевой балкой.

7. Балка решётчатого типа

1. Построение линий влияния и определение с использованием их усилий в стержнях вертикальной и горизонтальной вспомогательных ферм.

2. Подбор сечений стержней вертикальной и горизонтальной вспомогательных ферм.

3. Расчёт прочности узлов ферм и сварных швов.

8. Концевая балка

• Подбор сечения концевой балки моста.

• Проверочный расчет на прочность и расчет монтажного стыка.

• Выбор конструкции и расчет узлов сопряжения главной и вертикальной вспомогательной ферм с концевой балкой.

9. Площадка обслуживания

• Расчет ограждения площадки обслуживания.

• Расчет размеров консолей, поддерживающих площадку обслуживания, толщины листов настила, сварных швов.

10. Определение по технологической себестоимости наиболее экономичного варианта изготовления балки.

11. Список использованной литературы и нормативных документов.

В заключении кратко формулируются основные выводы по курсовому проекту. Дается оценка степени рациональности расходования материала на спроектированную конструкцию.

Объем пояснительной записки должен составлять 25…35 страниц, ее оформление должно соответствовать **ГОСТ 7.9-07 (ИСО 214-76).**

3.2. *Объем и содержание графической части работы*

Графическая часть включает

1. Сборочный чертеж главной балки моста.
2. Рабочий чертеж одной половины концевой балки.
3. Общий вид моста крана.

Все чертежи должны содержать необходимое количество видов, разрезов и размеров для сборки и монтажа моста крана с обозначением сварных швов по ГОСТ 2.312 ЕСКД, указанием сварочных материалов, пространственного положения сварки и методов контроля.

4. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЯХ КРАНОВ

4.1. *Характеристика конструкций кранов.*

Мостовые краны являются типовым оборудованием производственных цехов и предназначены для перемещения грузов внутри пролета. Грузоподъемность мостовых кранов достигает 500 т, ширина пролета – 50 м. Кабина крановщика обычно располагается у края моста (рис. 4.1).

Мостовой кран (рис. 4.1), состоит из моста 11, имеющего возможность перемещения на ходовых колесах 3, которые установлены в концевых балках 4, по подкрановым путям 2, уложенным на выступах верхней части стены или колонн цеха. По верхнему (а в некоторых конструкциях – по нижнему) поясу балок моста поперек пролета цеха передвигается крановая тележка 8, снабженная подъемным механизмом 7 с грузозахватным элементом.

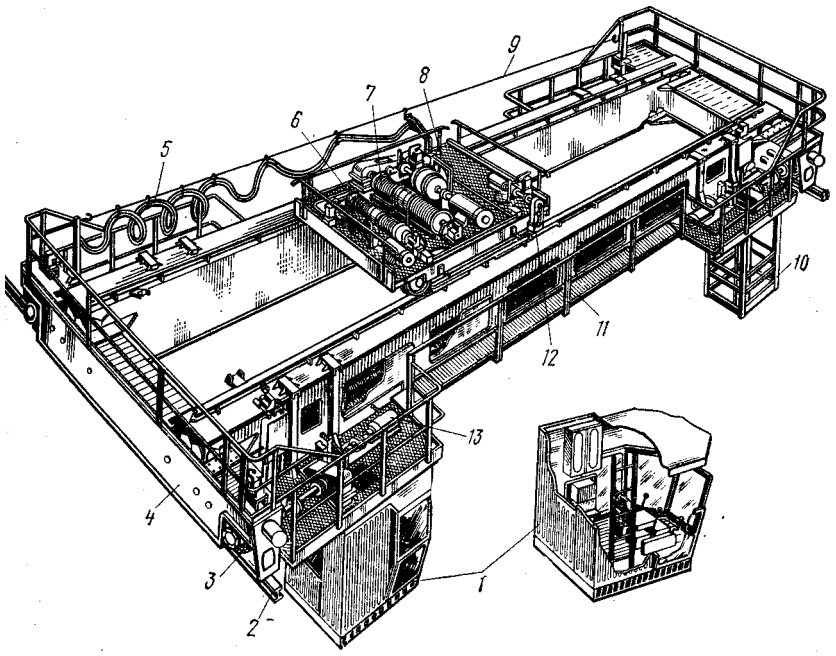

Рис. 4.1. Мостовой электрический кран:
1 – кабина управления; 2 – подкрановый путь; 3 – ходовое колесо; 4 – концевая балка; 5 – гибкий кабель; 6 – вспомогательный механизм подъёма; 7 – главный механизм подъёма; 8 – крановая тележка; 9 – проволока для подвески гибкого кабеля; 10 – специальная площадка; 11 – мост; 12 – механизм передвижения тележки; 13 – механизм передвижения крана

В зависимости от назначения крана на тележке можно размещать различные типы механизмов подъема или два механизма подъема, один из которых является главным 7, а второй, меньшей грузоподъемности, – вспомогательным 6. Механизм передвижения крана 13 установлен на мосту крана; механизм передвижения тележки 12 – непосредственно на тележке. Управление всеми механизмами совершается из кабины 1, прикрепленной к мосту крана.

Ток для питания электродвигателей подается по цеховым троллеям, обычно изготовляемым из прокатной стали углового профиля, прикрепляемым к стене здания. Для подачи тока на кран применяются токосъемы скользящего типа, прикрепляемые к металлоконструкции крана, башмаки которых скользят по троллеям при перемещении моста крана. Для обслуживания цеховых троллеев на кране предусмотрена специальная площадка 10.

Для осуществления токоподвода к двигателям, расположенным на тележке, обычно используются троллеи, изготовляемые из круглой или угловой стали.

Для их установки требуются специальные стойки на площадке, идущей вдоль главной балки. Поэтому в последних конструкциях мостовых кранов токоподвод к тележке осуществляется с помощью гибкого кабеля 5. В этом случае между двумя стойками, установленными около концевых балок, натягивается проволока 9, к которой на специальных подвесках подвешен по спирали гибкий кабель, складывающийся при подходе тележки к одному концу моста, а при подходе тележки к другому концу моста – растягивающийся с небольшим провесом. Применение гибкого токоподвода упростило конструкцию, повысило надежность эксплуатации и снизило массу крана, так как позволило отказаться от стоек и площадки для их размещения и обслуживания.

На металлической конструкции (металлоконструкции) грузоподъемной машины, являющейся остовом машины, монтируются все рабочие механизмы, приводы, системы управления. На изготовление металлоконструкций расходуется значительное количество металла. Металлоконструкция машины оказывает влияние на долговечность и надежность работы механизмов и грузоподъемной машины в целом, поэтому при конструировании и расчете особое внимание необходимо обращать на совершенствование конструктивных форм и методов расчета металлоконструкций, на экономию металла при одновременном обеспечении надежности, долговечности, удобства обслуживания и ремонта.

Металлические конструкции должны быть транспортабельны для перевозок их по железнодорожным или водным путям, или автомобильным транспортом.

Наибольшее распространение получили крановые мосты следующих конструкций:

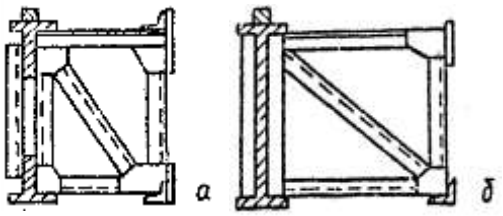

Рис. 4.2. Схемы поперечных сечений решётчатых мостов:
а) с фермами; б) с главной балкой двутаврового сечения и фермами жёсткости

Решетчатая конструкция (рис. 4.2). Основные достоинства таких конструкций – это легкость и жесткость. Но решетчатые мосты имеют существенные недостатки, такие как высокая трудоемкость изготовления, низкая усталостная прочность.

Коробчатая конструкция (рис. 4.3). Мосты с главными балками коробчатого типа в настоящее время имеют наибольшее распространение. По сравнению с решетчатыми они характеризуются меньшей трудоемкостью изготовления, меньшей высотой. К недостаткам относится большая металлоемкость при больших пролетах.

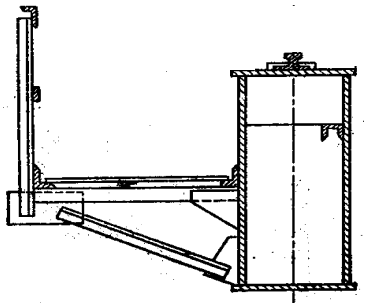

Рис. 4.3. Схема поперечного сечения коробчатого моста

4.2. *Назначение и условия работы.*

Исходным моментом для расчета и проектирования конструкций подъёмно-транспортных машин (ПТМ) является режим работы. Применительно к кранам режимы работы делят на легкий – Л, средний – С, тяжелый – Т и весьма тяжелый – ВТ. В некоторых странах используют деление на три группы – Л, С и Т. Режимы работы грузоподъемных машин устанавливаются в зависимости от следующих факторов [2, 3]:

- годового и суточного использования крана, т. е. отношения действительного времени его эксплуатации к общему времени существования машины;
- использования металлоконструкций по грузоподъемности, оцениваемого отношением средней массы поднимаемого груза к номинальной грузоподъемности;
- температуры окружающей среды и условий эксплуатации. Минимальный срок эксплуатации определяют обычно максимально возможным количеством циклов работы металлоконструкций в номинальном режиме нагружения. Чем интенсивнее используется металлоконструкция, тем короче общая продолжительность ее жизни и тем тяжелее считается режим работы.

Легкий режим характерен в основном для монтажных кранов, которые часто используют несколько раз в течение рабочего дня. Для большинства сварных металлоконструкций предельное количество циклов нагружения в но-

минальном режиме принимают 2…2,2 млн. циклов. Поэтому, если монтажный кран используют для подъема грузов в среднем 10 раз в течение смены, то при 250 рабочих днях в году предельное количество циклов нагружения будет достигнуто через 800 лет. К этой группе относятся краны ремонтных цехов и машинных залов.

Средний режим работы характерен для ПТМ, работающих с регулярными перерывами в цехах машиностроительных заводов, на строительных площадках и т. д. Предельное число нагружений достигается через 30…40 лет. К этой группе относятся краны механических, сборочных и ремонтно-механических цехов.

При тяжелом и весьма тяжелом режимах загрузка почти непрерывная и предельное число циклов в номинальном режиме работы может быть достигнуто в течение 15…20 лет. К этой группе относятся технологические краны цехов и складов на заводах с крупносерийным производством, краны литейных цехов и краны металлургического производства.

5. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ МОСТА КРАНА КОРОБЧАТОГО СЕЧЕНИЯ

Задание. Рассчитать и спроектировать металлоконструкцию мостового крана с балками коробчатого типа.

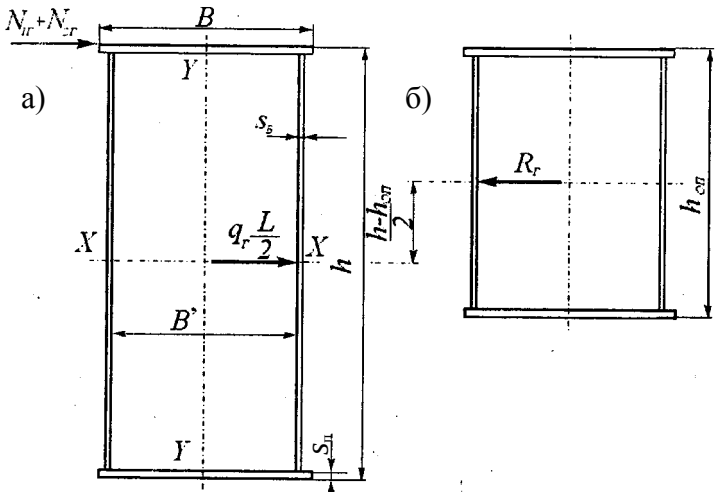

Рис. 5.1. Основные размеры коробчатого сечения главной пролетной балки в главном – *а*) и опорном – *б*) сечениях, а также координаты приложения горизонтальных инерционных нагрузок

Основной задачей при проектировании металлических конструкции моста крана является выбор размеров сечения удовлетворяющих условию прочности и устойчивости при минимальном весе конструкции.

Несмотря на имеющиеся рекомендации, выбрать размеры элементов балки (рис. 5.1) одно-

кратным расчетом не удается, поскольку рекомендации являются приближенными, а толщины стенки $s_{ст}$ и полки $s_п$ к тому же округляются в соответствии со стандартами на стальной прокат. Поэтому проектирование сварных конструкций моста производится методом последовательного приближения, суть которого заключается в следующем.

После выбора и округления величин $s_{ст}$ и $s_п$ проводится проверка моста на прочность, жесткость и устойчивость. При указанной проверке может случиться, что одно или несколько условий из них могут оказаться невыполненными. В этом случае необходимо переконструировать сечение, или изменить материал с учетом факторов, влияющих на невыполненные условия.

Изменив размеры сечения балки моста в соответствии с конструктивными соображениями, делают проверку прочности, жесткости и устойчивости.

Таким образом, расчет и проектирование балок моста является примером типичной инженерной задачи, решаемой методом последовательного приближения. Поэтому при решении подобных задач используют ЭВМ, существенно сокращающие сроки проектирования, освобождающие инженера от непроизводительных затрат рабочего времени.

Объем и содержание курсового проекта см. п. 3.

5.1. *Порядок выполнения курсового проекта с мостом крана коробчатого типа*

Курсовой проект рекомендуется выполнять в такой последовательности:

• определить расчетные нагрузки;

• построить линии влияния и определить внутренние силовые факторы в опорном сечении, четверти и середине пролета;

• предварительно выбрать материал с учетом его свариваемости, допускаемые напряжения (расчетные сопротивления) и основные размеры конструкции;

• произвести проверку на жесткость и прочность;

• при необходимости скорректировать размеры сечений или изменить материал металлоконструкции;

• спроектировать и проверить прочность стыковых и поясных сварных соединений;

• провести расчет местной устойчивости сжатых поясов балки и принять решение о необходимости установки ребер жесткости;

• спроектировать и проверить на прочность концевую балку моста;

• разработать чертежи металлоконструкции и оформить пояснительную записку.

5.2. *Определение расчетных нагрузок*

При расчете кранового моста учитывается вес следующих элементов:

Q – вес от поднимаемого груза;

$P_{ГБ}$ – вес главной балки моста;

$P_{пл}$ – вес площадки с настилом;

$P_{мех}$ – вес механизма передвижения;

$P_{МУ}$ – вес моторного узла;

P_T – вес крановой тележки;

P_K – вес кабины управления.

Основными нагрузками, воспринимаемыми мостовыми кранами, являются:

• вертикальные постоянные нагрузки (рис.5.2);

• вертикальные подвижные нагрузки от колес крановой тележки – N_1 и N_2 на рис. 5.2;

• горизонтальные инерционные нагрузки, возникающие при разгоне и торможении моста;

• скручивающий момент от горизонтальных инерционных нагрузок (рис.

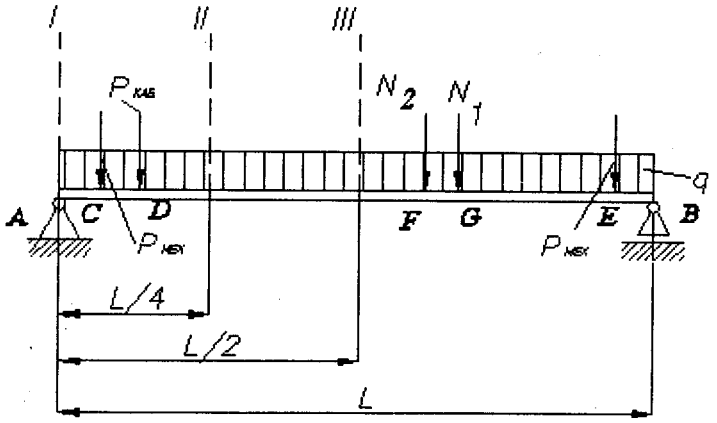

Рис. 5.2. Схема вертикальных нагрузок на пролетную балку мостового крана (на которой установлены кабина управления и механизмы перемещения).

5.1).

5.2.1. *Определение вертикальных постоянных нагрузок*

Вертикальные постоянные нагрузки делятся на сосредоточенные и распределенные.

К распределенным относятся вес главной балки (приближенно определяется по рис. 5.3) и вес площадки с настилом, приведенный в задании.

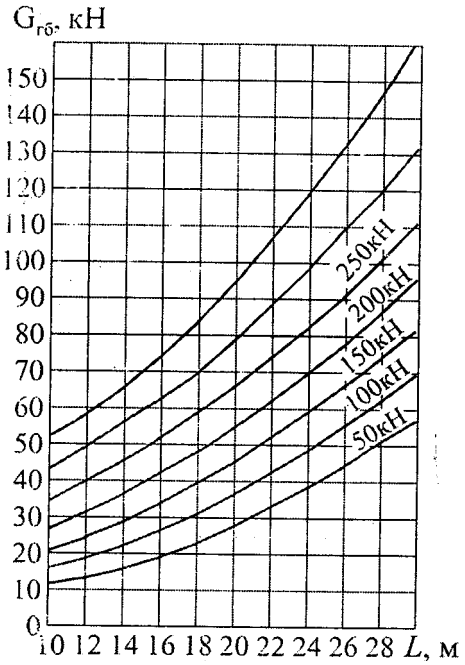

Рис. 5.3. Ориентировочные данные о весе главной (пролетной) балки мостового крана

К сосредоточенным нагрузкам относятся вес кабины управления и механизмов перемещения. Величины нагрузок и места расположения центров тяжести (координаты приложения нагрузок) также приведены в задании. При определении вертикальных сосредоточенных и распределенных нагрузок учитывается коэффициент перегрузки K, зависящий от скорости движения моста. Для V до б0 м/мин K = 1,0. Для V свыше 60 м/мин K = 1,1.

5.2.2. *Определение вертикальных подвижных нагрузок*

Подвижными являются нагрузки от ходовых колес тележки:

$$N_1 = N_2 = ¼ (P_T + \mu Q)$$

где P_T – вес тележки (определяется по графику на рис. 5.4);

Q – вес поднимаемого груза;

μ – коэффициент перегрузки, зависящий от режима работы крана. При легком режиме - μ = 1,1, при *среднем* - μ = 1,2, при тяжелом - μ = 1,3.

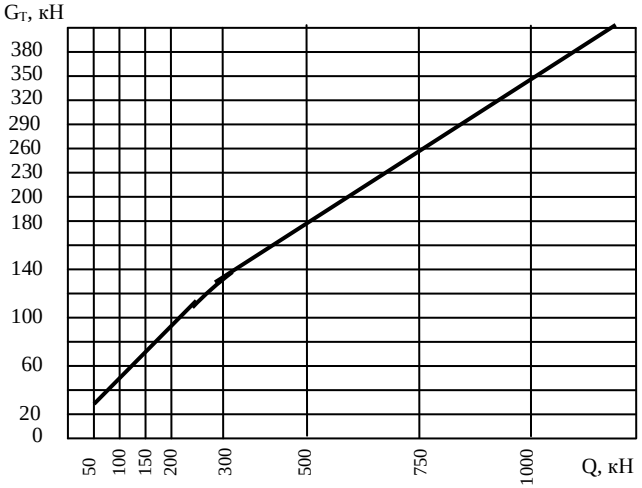

Рис. 5.4. Вес тележки в зависимости от грузоподъемности крана

5.2.3. *Определение горизонтальных нагрузок*

Горизонтальные нагрузки возникают вследствие разгона и торможения крана, т.е. являются инерционными. Места их приложения соответствуют местам приложения вертикальных нагрузок. Величину инерционной горизонтальной нагрузки от каждого элемента необходимо принимать равной 0,1 от веса элемента.

Скручивающий момент от горизонтальной инерционной нагрузки зависит от расположения центров тяжести опорного и главного сечений (см. рис. 5.1) и определяется после выбора основных размеров балки.

5.3. *Определение внутренних силовых факторов*

Расчетные нагрузки, действующие на главную балку, – изгибающие моменты в вертикальной и горизонтальной плоскости, а также перерезывающие усилия определяются по линиям влияния [2, 7, 11].

Перерезывающие усилия определяются для опорного сечения и сечения в четверти пролета – сечения I и II (рис. 5.2). Изгибающие моменты в вертикальной и горизонтальной плоскости необходимо определить в середине и четверти пролета – сечения Ш и II (рис. 5.2). При определении силовых факторов, действующих необходимо предполагать, что подвижная нагрузка находится в месте максимальных ординат линии влияния, т.е. крановая тележка располагается одним колесом над рассматриваемым сечением.

Результаты расчетов рекомендуется заносить в таблицу, пример оформления, которой приведен в таблице 5.1

Таблица 5.1

Пример сводной таблицы содержащей расчетные величины изгибающих моментов и перерезывающих сил

Силовой фактор	№ сечения	Площадь линии влияния			Ордината линии влияния					Величина силового фактора, кН (или кН·м)			
		+ F	–F	Σ F	$\varphi_{мех1}$	$\varphi_{мех2}$	$\varphi_{КАБ}$	φ_{N1}	φ_{N2}	От постоянной и распределённой нагрузки qΣ F	От постоянной и сосредоточенной нагрузки qΣ $P_i\varphi_i$	От подвижной нагрузки Σ $N_i\varphi_i$	Суммарная величина фактора
Перерезывающие силы	I												
	II												
Изгибающие моменты в вертикальной плоскости	II												
	II I												
Изгибающие моменты в горизонтальной плоскости	II												
	II I												

Примечание. При расчете балки на статическое нагружение в таблицу заносятся максимальные значения силовых факторов, а при расчете на усталость максимальные и минимальные значения.

5.4. *Построение линий влияния*

Определение расчетных усилий в балках методом линий влияния.

Расчетные усилия в балках часто удобно определять методом линий влияния. Этот метод особенно целесообразен при нахождении усилий в балках от движущихся систем грузов, которые могут занимать различные положения на изучаемой конструкции, например, от веса тележек, перемещающихся по балкам крана.

Метод линий влияния принят при расчете не только балок, но и ферм, рамных конструкций и особенно при расчете мостов крановых и других инженерных сооружений.

Линия влияния выражает зависимость усилия (или деформации) в каком-либо заданном сечении балки или элементе фермы от положения груза в них. Линии влияния в практических расчетах всегда строят от одного груза, равного единице, и после этого построения ее используют для определения усилий (или деформаций) в изучаемом сечении или элементе при любом заданном загружении от нескольких сосредоточенных сил или распределенных нагрузок.

Методика построения линий влияния приведена в [2, 7, 10]

5.5. *Предварительный выбор материала, допускаемых напряжений и основных размеров главной балки моста*

5.5.1. *Выбор материала металлоконструкции*

Марку материала для изготовления металлоконструкций назначают с учетом характера нагружения конструкции, степени ответственности, условий эксплуатации и технологических свойств стали (в первую очередь свариваемости) согласно нормативным документам, регламентирующим проектирование и изготовление строительных конструкций. Проектирование стальных металлоконструкций осуществляется согласно строительным нормам и правилам [13].

Материал, принятый для изготовления балки должен входить в перечень материалов для сварных конструкций, работающих в особо тяжелых условиях согласно таблице 50 [13]. Поскольку эксплуатация крана осуществляется в закрытом помещении, при выборе материала нет необходимости в учете климатической зоны. Марки стали соответствующие классам строительной стали по ГОСТ 27772 необходимо выбирать по таблице 51, *б* [13].

Для изготовления металлоконструкции рекомендуется выбирать сталь класса С255 по ГОСТ 27772 марки 18сп по ГОСТ 23570, поскольку она достаточно дешева и обладает хорошей свариваемостью.

5.5.2. *Выбор расчетных сопротивлений (допускаемых напряжений)*

Расчетные сопротивления изгибу R_Y и сдвигу R_S определяются согласно пункту 3 [13]. При этом значения пределов прочности и текучести строительных сталей в зависимости от класса стали и толщины определяются по таблице 51 [13]. Коэффициент условий работы γ_c необходимо принимать равным 0,9.

5.5.3. *Выбор основных размеров*

Основными размерами кранового моста являются длина моста *L* и высота главной балки h. Величина *L* дана в задании на курсовой проект. Высоту балки определяем по формуле (1).

Обычно высота мостовых балок коробчатого сечения находится:

$$h = \left(\frac{1}{16} \ldots \frac{1}{20}\right). \tag{5.1}$$

Для уточнения высоты используют формулу, полученную из условия обеспечения прочности балки при наименьшем весе:

$$h \geq \sqrt{\frac{M_B^{\Sigma}}{s_B[\sigma]}}, \tag{5.2}$$

где M_B^{Σ} – максимальный расчетный изгибающий момент в вертикальной плоскости;

[σ] – допускаемые напряжения на растяжение (расчетное сопротивление по пределу текучести);

s_B – толщина вертикальных листов.

Толщину стенки предварительно можно назначить: для кранов грузоподъемностью до 200 кН – 6 мм, свыше 300 кН – 8 мм. Толщина горизонтальных листов $S_г$ – должна быть не менее 6 мм. При необходимости увеличения момента сопротивления сечения при постоянной высоте балки, прежде всего, увеличивают толщину горизонтальных листов.

Ширина горизонтальных листов выбирается из условия обеспечения горизонтальной жесткости:

$$B = (^1/_2 \ldots ^1/_3)h \tag{5.3}$$

и из условия обеспечения пространственной жесткости:

$$B = (^1/_{40}...^1/_{50})L, \qquad (5.4)$$

причем эта ширина не должна быть менее 350 мм. Ширина балки на просвет B' должна быть меньше величины B на 40…50мм. Опорное сечение балки $h_{оп}$, равно примерно половине высоты главной балки h. Длину скоса на концах балки назначают равной 0,1...0,2L.

5.5.4. *Определение скручивающего момента от горизонтальных инерционных нагрузок*

Поскольку горизонтальные инерционные нагрузки приложены эксцентрично относительно центра тяжести опорного сечения, во всей балке при разгоне и торможении возникает скручивающий момент. Согласно рис. 5.1 величина скручивающего момента $M_{кр}$ определяется как сумма скручивающего момента от распределенной нагрузки

$$M_{кр}^{q} = -q_{Г}\frac{L}{2}\left(\frac{h}{2}-\frac{h}{2}\right), \qquad (5.5)$$

где $q_Г$ – горизонтальная распределенная нагрузка и скручивающего момента от подвижной нагрузки

$$M_{кр}^{N} = \left(N_1^{Г} - N_2^{Г}\right)\frac{h_{оп}}{2}, \qquad (5.6)$$

где $N_1^{Г}$, $N_2^{Г}$ – горизонтальная нагрузка от ходовых колес тележки.

5.6. *Проверка жесткости главной балки моста*

Допустимый прогиб балки в середине пролета от действия статически приложенной подвижной нагрузки не должен превышать величины $f_{ДОП}$ = L/700.

По линиям влияния моментов определяется величина момента от тележки с грузом.

Расчетный прогиб от наибольшего изгибающего момента в середине пролета определяется выражением:

$$f_{ÐÀÑ} = \frac{M_{ÑÒÀÒ} L^2}{10E \cdot J_x} \le f_{ÄÎÏ} \ , \qquad (5.7)$$

где E – модуль упругости первого рода;

J_x – наибольший главный момент инерции сечения;

M_{CTAT} – величина наибольшего изгибающего момента от тележки с грузом равная $(P_T + Q)\ (\varphi_{N1} + p\ \varphi_{N2})$.

В случае невыполнения условия (5.7) необходимо изменить размеры сечения главной балки в сторону увеличения момента инерции сечения относительно оси ***x***.

5.7. *Проверка прочности главной балки моста*

При проверке прочности в середине пролета балки (сечение III) учитываются только нормальные напряжения от изгибающих моментов вертикальной и горизонтальной плоскости. Распределение нормальных напряжений определяется по формулам:

$$\sigma^B(y) = \frac{M_B^{\Sigma}}{J_x} y, \sigma^{\Gamma}(y) = \frac{M_{\Gamma}^{\Sigma}}{J_y} x. \qquad (5.8)$$

Максимального значения нормальные напряжения от изгибающего момента достигают на наибольшем удалении от нейтральной линии. Наиболее удалена от осей *x-x* и *y-y* точка с координатами *B/2* и *h/2* причем направление σ^B и σ^{Γ} в этой точке совпадает, поэтому условие прочности для данного сечения выглядит следующим образом:

$$\sigma_{MAX}^B = \frac{M_B^{\Sigma}}{J_x}\frac{h}{2} = \frac{M_B^{\Sigma}}{W_x}, \sigma_{MAX}^{\Gamma} = \frac{M_{\Gamma}^{\Sigma}}{J_y}\frac{B}{2} = \frac{M_{\Gamma}^{\Sigma}}{W_y}, \sigma_{CYMM} = \sigma_{MAX}^H + \sigma_{MAX}^{\Gamma} \le R_y \cdot \gamma_C \ . \qquad (5.9)$$

В четверти пролета балки (сечение II) кроме нормальных напряжений от вертикального и горизонтального изгибающих моментов имеются касательные напряжения от перерезающей силы. Расчет в этом случае ведется по эквивалентным напряжениям в месте приварки горизонтальных листов к стенкам.

Нормальные напряжения от изгибающих моментов в вертикальной и горизонтальной плоскостях определяются по формуле (5.8) для соответствующих координат *x* и *y*.

Распределение касательных напряжений от перерезывающей силы вдоль оси *y-y* определяются по формуле:

$$\tau_Q(y) = \frac{QS_x(y)}{J_x s(y)}, \tag{5.10}$$

где Q – наибольшая поперечная сила балки;

$S_x(y)$ – статический момент части сечения находящейся выше координаты y относительно центра тяжести балки;

$s(y)$ – толщина балки в месте с координатой y.

Для места приварки горизонтальных листов к стенкам S_x будет равен статическому моменту полки, а $s = 2\ s_B$

Касательные напряжения от скручивающего момента:

$$\tau_{êð} = \frac{M_{êð}}{2Fs_{Â}}, \tag{5.11}$$

где F – площадь прямоугольника, ограниченная осями симметрии стенок и поясных листов.

Проверка на прочность заключается в сравнении рабочих напряжений с расчетными сопротивлениями (допускаемыми напряжениями):

$$\sigma^{B} = \frac{M_B^{\Sigma}}{J_x}\left(\frac{h}{2} - \delta_{Ã}\right), \quad \sigma^{Ã} = \frac{M_Ã^{\Sigma}}{J_y}\left(\frac{B'}{2} + \delta_B\right), \quad \sigma_{ÑÓÌ} = \sigma^{Â} + \sigma^{Ã} \le R_y\gamma_C;$$

$$\tau_{СУММ} = \tau_Q + \tau_{кр} \le R_x\gamma_C;$$

$$\sigma_{ЭКВ} = \sqrt{\sigma^2_{СУММ} + 3\tau^2_{СУММ}} \le 1{,}3R_y\gamma_C. \tag{5.12}$$

В опорном сечении (сечение I) рассчитываются касательные напряжения в сечении соответствующем нейтральной оси балки. Касательные напряжения от перерезывающей силы вдоль оси определяются по формуле (5.10) Для оси симметрии S_x будет равен статическому моменту половины сечения, а $s = 2s_B$. Касательные напряжения от изгибающего момента определяются по формуле (5.11). Условие прочности в этом случае выглядит следующим образом:

$$\tau_{СУММ} = \tau_Q + \tau_{кр} \le R_x\cdot\gamma_C. \tag{6.13}$$

Отклонение рабочих напряжений от допускаемых в формулах (5.9), (5.12) и (5.13) не должно составлять более ± 5%, в ином случае сечение балки изменяется в нужную сторону, либо может быть выбрана другая марка стали.

5.8. *Проверка местной устойчивости стенок*

В сжатых поясах потеря устойчивости происходит, когда напряжения сжатия превышают критические значения. Для повышения местной устойчивости вертикального листа, устанавливают ребра жесткости. Постановка вертикальных и горизонтальных ребер жесткости необходима, если $h/s_B > 160$. В случае если $80 < h/s_B < 160$ устанавливаются только вертикальные ребра жесткости, при $h/s_B < 80$ устанавливать ребра жесткости не нужно.

Толщину ребра принимают $s_P >$ 3 мм + h/450. Расстояние между ребрами жесткости должно составлять не менее 1,2h. Расстояние от верхнего горизонтального листа до места приварки горизонтального ребра жесткости должно составлять ($^1/_4$... $^1/_5$)h.

5.9. *Проектирование сварных соединений*

В ходе выполнения курсового проекта необходимо выбрать способы сварки, типы сварных соединений, вспомогательные материалы и методы контроля качества сварки.

Поясные швы наиболее рационально сваривать сваркой под слоем флюса, для сварки стыковых швов может быть использована ручная дуговая сварки покрытыми электродами. При проектировании сварных соединений необходимо учитывать требования пунктов 12.6…12.13 [13]. Форму разделки кромок и размеры элементов шва необходимо принимать по ГОСТ 5264, ГОСТ 8713 и ГОСТ 14771. Вспомогательные материалы выбираются по таблице 55 [13].

Стыковые сварные соединения необходимо проектировать так, чтобы обеспечить равную прочность соединений и основного металла – обеспечить полный провар по длине и толщине, выбрать соответствующие сварочные материалы, заложить в конструкторскую документацию использование неразру-

шающих методов контроля сварных швов. При соблюдении перечисленных требований сварные соединения строительных сталей не нуждаются в дополнительном расчете на прочность.

При проектировании поясных швов необходимо рассчитать минимальную величину катета *k* углового шва. Расчет проводится на срез по двум сечениям – по металлу шва и по металлу границы сплавления. Допускаемые напряжения на срез для сварных швов R_{Wf} и металла границы сплавления R_{WZ} выбираются согласно таблице 3 [13].

Поясные швы являются связующими и воспринимают срезающие усилия. Срезающие усилия, приходящиеся на единицу длины шва, определяются по формуле

$$T = \frac{QS_x}{J_x}, \tag{5.14}$$

где Q – перерезывающая сила, действующая в опорном сечении;

Sx – статические момент пояса относительно оси *x*;

J_x – момент инерции опорного сечения относительно оси *x*.

Условие прочности поясного шва определяются выражением:

$$\tau_f = \frac{T}{2\beta_f k} \le R_{wf}\gamma_{wf}\gamma_C, \tau_Z = \frac{T}{2\beta_z k} \le R_{wz}\gamma_{wz}\gamma_C, \tag{5.15}$$

где β_f и β_z – коэффициенты пропорциональности между расчетной шириной шва и величиной катета, которые необходимо принимать равными 0,7 и 1,0 соответственно;

γ_{wf} и γ_{wz} – коэффициенты условий работы шва, которые принимать равными 0,85.

Расчетную минимальную величину катета находят из неравенства (5.15), в случае если она оказалась меньше минимально допустимой в строительных нормах и стандартах, то необходимо выбрать минимальное значение, предписываемое нормативной документацией.

Сварные швы узла сопряжения главной и концевой балки рассчитываются на восприятие силы $P = 1{,}2\ Q^{\Sigma}_{PAC}$. Эта сила передается двумя швами. Требуемая длина швов определяется по формуле

$$l_{CB} = \frac{P}{2h_B R_{wf}}. \qquad (5.16)$$

Главные балки опираются на концевые балки. Расчёт концевой балки приведён в разделе 7.

6. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ МОСТА КРАНА РЕШЁТЧАТОГО ТИПА

Задание. Рассчитать и спроектировать металлоконструкцию мостового крана с балками решётчатого типа.

6.1. *Порядок выполнения курсового проекта с мостом крана решётчатого типа*

Курсовой проект рекомендуется выполнять в такой последовательности:

• определить расчетные нагрузки;

• построить линии влияния и определить внутренние силовые факторы в пяти сечениях, пролета;

• предварительно выбрать материал с учетом его свариваемости, допускаемые напряжения (расчетные сопротивления) и основные размеры конструкции;

• произвести проверку на прочность и жесткость;

• при необходимости скорректировать размеры сечений или изменить материал металлоконструкции;

• спроектировать и проверить прочность узлов сварных соединений;

• спроектировать и проверить на прочность концевую балку моста;

• разработать чертежи металлоконструкции и оформить пояснительную записку.

6.2. *Основные размеры крановых мостов решетчатого типа.*

Вертикальная ферма 1 (рис. 7.1), воспринимающая через рельсы основную нагрузку от веса тележки с грузом называется главной фермой. При большой грузоподъемности крана главная ферма заменяется балкой двутаврового профиля. Параллельно главным фермам располагаются вертикальные фермы жесткости 2. Ферма жесткости соединяется с главной двумя горизонтальными фермами связей 3. Верхняя ферма связей воспринимает горизонтальные

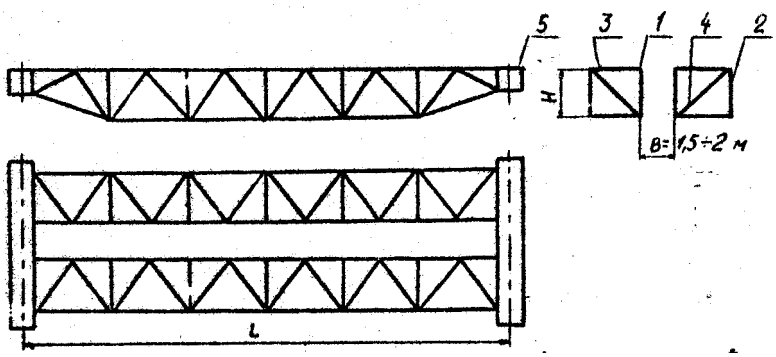

Рис. 6.1.. Схема металлоконструкции моста решётчатого типа:

1 – главная ферма (или балка двутаврового профиля); 2 – ферма жёсткости; 3 – ферма связей; 4 – рамные раскосы; 5 – концевая балка.

нагрузки, возникающие при торможении крана. Нижняя ферма связей и рамные раскосы 4 служат для придания жесткости пространственной конструкции моста. Главная ферма и ферма жесткости крепятся к концевым балкам 5, в которых располагаются ходовые колеса крана.

Исходя из опыта эксплуатации крановых мостов из низкоуглеродистых сталей, высота главной фермы H (рис. 6.1) назначается в зависимости от длины пролета по формуле

$$H = (1/10\ldots1/16)L. \qquad (6.1)$$

Для крана с главными балками двутаврового профиля и фермами жесткости, высота главной балки определяется из двух условий: жесткости и минимального веса [1,8,9].

Высота балки из условия жесткости равна

$$H = \frac{[\sigma]_p L}{6E(f_{\max}/L)}, \qquad (6.2)$$

где $[\sigma]_p$ – допускаемые напряжения для материала балки;

E – модуль упругости материала;

F_{max}/L – норма жесткости для балки, принимается в пределах 1/600…1/700.

Формула (6.2) справедлива для расчета балок из низкоуглеродистых сталей.

Высота балки из условия минимального веса

$$H = (1{,}3\ldots1{,}4)\sqrt{\frac{M}{S_в[\sigma]_p}}, \qquad (6.3)$$

где $S_в$ – толщина вертикального листа, принимается в пределах 5…12 мм.

M – изгибающий момент в опасном сечении балки может быть принят в

первом приближении равным

$$M = \frac{QL}{4} \quad , \tag{6.4}$$

где Q – грузоподъемность крана.

В качестве высоты балки принимают наибольшую из вычисленных по формулам (6.2) и (6.3).

Длина панели вертикальных ферм обычно принимается равной $1/12L$, нижней фермы связей – $1/6L$ [1, 2, 10]. Длину скоса на концах ферм принимают в пределах $(0{,}1\ldots0{,}2)L$.

Минимальная база крана $B_к$ (рис. 6.1) выбирается из условия отсутствия перекосов моста при его передвижении. Обычно $B_x \geq (1/7...1/5)L$ [2]. При тяжелом режиме работы крана $B_к \geq 1/5\ L$.

6.3. *Определение расчетных нагрузок*

6.3.1. *Определение расчетных нагрузок на главную ферму.*

Для определения расчетных нагрузок находится масса основных узлов крана. Она определяется ориентировочно, исходя из опыта проектирования и эксплуатации мостовых кранов. Для крановых мостов решетчатой конструкции обычно принимаются:

Масса главной фермы

$$m_{гл.ф} = 10Q(L-5) + 700 \ \text{[кг]}, \tag{6.5}$$

где Q - грузоподъемность крана в тоннах.

Масса фермы жесткости

$$m_{ф.ж.} = 0{,}5\ m_{гл.ф}. \tag{6.6}$$

Масса горизонтальной фермы связей

$$m_{ф.с.} = 1/3 m_{гл.ф}. \tag{6.7}$$

Масса одной площадки с настилом $m_{пл}$ принимается в пределах 1400…1800 кг, масса троллеев $m_{тр} \approx 1000$ кг, масса кабины с электрооборудованием $m_к \approx 2000$ кг. Центр тяжести кабины обычно располагается на расстоянии 2,5 м от опоры

крана. Масса механизма передвижения $m_{мех}$ составляет 1000…2000 кг.

Масса тележки m_T определяется из номограммы (рис. 5.4).

Расчетные нагрузки на главную ферму определяются по следующим формулам.

1. Постоянная распределенная нагрузка, Н/м

$$q = 9{,}8k_n \frac{m_{гл.ф} + m_{ф.с} + 0{,}5m_{пл}}{L}, \qquad (6.8)$$

где k_n = 1,1 коэффициент, зависящий от скорости передвижения крана [1].

2. Постоянная сосредоточенная нагрузка со стороны механизма передвижения, Н:

от массы механизма передвижения

$$P_{мех} = 9{,}8k_n \frac{m_{мех}}{2}; \qquad (6.9)$$

от массы кабины

$$P_к = 9{,}8k_n \frac{m_к}{2}. \qquad (6.10)$$

3. Подвижные нагрузки от ходовых колес тележки, Н

$$N_1 = N_2 = 9{,}8(0{,}25m_T) + 0{,}25Qk_Q, \qquad (6.11)$$

где k_Q - коэффициент, учитывающий влияние силы инерции при подъеме и опускании груза. Принимается равным 1,2 для среднего режима работы [1, 10].

4. Распределенная горизонтальная инерционная нагрузка, Н/м

$$q_г = 0{,}1q \qquad (6.12)$$

где q - постоянная распределенная нагрузка, вычисляемая по формуле (6.8).

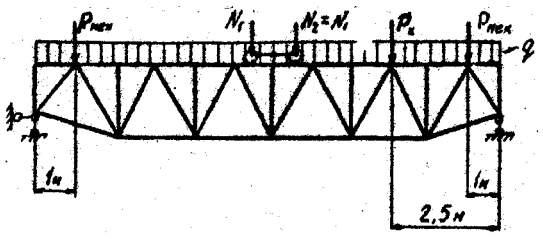

Рис.6.2. Расчетная схема главной фермы (балки)

5. Сосредоточенная горизонтальная инерционная нагрузка, Н:

от массы механизма передвижения

$$P_{мех.г} = 0{,}1P_{мех};$$

от массы кабины

$$P_{к.г} = 0{,}1P_к.$$

6. Поперечные подвижные горизонтальные инерционные нагрузки от хо-

довых колес тележки, Н

$$N_{12} = N_{22} = 0{,}98\left(\frac{m_T}{4} + \frac{Q}{4}\right) \qquad (6.13)$$

Расчетные нагрузки используются для составления расчетных схем главной фермы (балки) и фермы связей (рис.7.2 и 7.4)

6.3.2. *Определение расчетных нагрузок на вертикальную вспомогательную ферму*

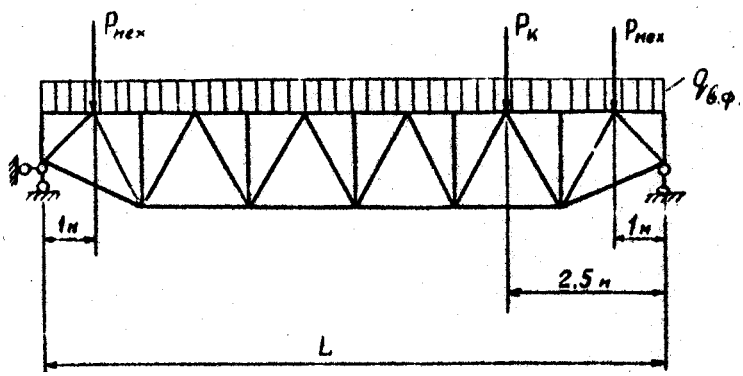

Рис. 6.3. Расчетная схема вспомогательной фермы жесткости

1. Постоянная распределенная нагрузка, Н/м

$$q_{âô} = 9{,}8k_n \frac{m_{âô} + m_{ôñ} + 0{,}5m_{ïë}}{L} \qquad (6.14)$$

2. Постоянная сосредоточенная нагрузка от механизма передвижения, Н

$$P_{мех} = 9{,}8k_n \frac{m_{мех}}{2} \qquad (6.15)$$

3. Постоянная сосредоточенная нагрузка от кабины, Н

$$P_к = 9{,}8k_n \frac{m_к}{2}. \qquad (6.16)$$

4. Горизонтальная распределенная нагрузка от собственной массы фермы, Н/м

$$q_{г.вф} = 0{,}1q_{вф} \qquad (6.17)$$

5. Сосредоточенная горизонтальная инерционная нагрузка от механизма передвижения: $P_{мех.г} = 0{,}1P_{мех}$; от кабины $P_{к.г} = 0{,}1P_к$.

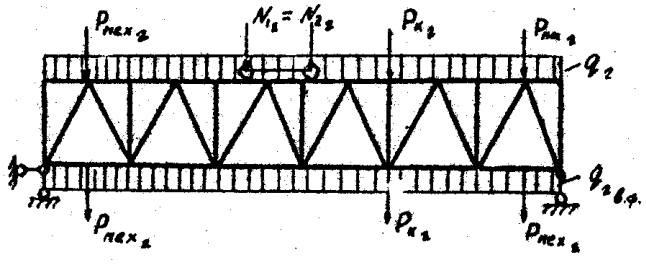

Рис. 6.4. Расчетная схема горизонтальной фермы связей

С использованием расчетов по формулам (6.14, 6.15, 6.16) составляется расчетная схема вспомогательной фермы жесткости (рис. 6.3), а с использованием расчетов по формулам (6.12, 6.13, 6.17) схема горизонтальной фермы связей (рис.6.4).

6.4. *Расчет металлоконструкции моста крана решетчатого типа*

6.4.1. *Определение усилий в стержнях главной фермы*

Усилия в стержнях ферм крановых мостов определяется с помощью линий влияния. Ввиду симметрии главной фермы относительно вертикальной оси линии влияния отроятся для стержней той половины фермы, на которой располагается кабина управления (рис. 6.5). Методика построения линий влияния приведена в [2, 7, 10].

Усилия в стержнях определяются по формуле

$$N = \sum P_i y_i + \sum q_i \varpi_i \qquad (6.18)$$

где P_i – величина i-той сосредоточенной силы;

q_i – величина i-той распределенной нагрузки;

y_i – ордината линии влияния, построенной для данного стержня, под i-той рассредоточенной силой;

ω – площадь линии влияния данного стержня под i-той распределенной нагрузкой.

Подвижная нагрузка от тележки с грузом рассматривается как две сосредоточенные силы. Усилие от них в каждом стержне определяется как $N_1(y_2 + y_3)$ (рис. 6.5), где $(y_2 + y_3)$ – максимальная сумма ординат, соответствующая наиболее неблагоприятному положению тележки для данного стержня. Результаты расчетов сводятся в таблицу 6.1.

Таблица 6.1

Определение усилий в стержнях фермы

Группа элементов	Обозначение элементов	ω_i	$q_i\omega$	y_1	y_2	y_3	y_4	y_i	$\Sigma P_i y_i$	N
Раскосы	1'2 3'4									
Верхний пояс										
Нижний пояс										
Стойки										

6.4.2. *Подбор сечений элементов главной фермы.*

Стержни главной фермы испытывают переменную нагрузку – воздействие перемещения тележки с грузом. Поэтому допускаемые напряжения для основного металла в зоне сварных соединений снижаются:

$$[\sigma] = \gamma [\sigma]_P , \qquad (6.19)$$

где γ - коэффициент снижения допускаемых напряжений, если наибольшие напряжения цикла растягивающие

$$\gamma = \frac{c}{a - br} . \qquad (6.20)$$

Если наибольшие напряжения сжимающие, то

$$\gamma = \frac{c}{b - ar} . \qquad (6.21)$$

где $r = \frac{N_{\min}}{N_{\max}}$ характеристика цикла нагружения;

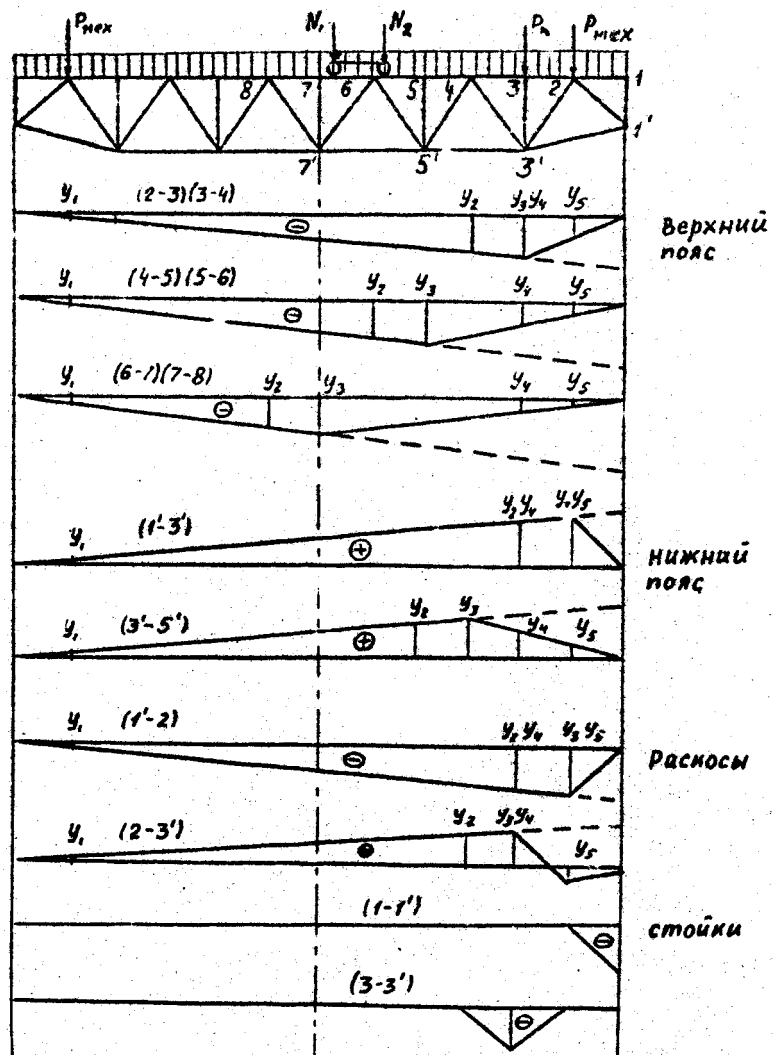

Рис. 6.5. Линии влияния для расчета главной фермы

N_{max} – максимальное по абсолютной величине усилие в стрежне, определяемое по линиям влияния при наиболее неблагоприятном положении тележки;

N_{min} – при знакопостоянном цикле нагружения (стержни поясов, стойки) это наименьшее усилие, определяемое при наиболее благоприятном положении тележки, соответствующее условию $(y_2 - y_3)$ – min; при знакопеременном цикле (раскосы) это наибольшее усилие противоположного усилию N_{max} знака;

a, *b*, *c* – коэффициенты, зависящие от эффективного коэффициента концентрации напряжений, марки стали и числа циклов нагружения. Коэффициенты определяются по таблицам [5, с. 153].

При расчете ферм значения γ и $\gamma[\sigma]_p$ определяются для каждого стержня.

Стержни верхнего пояса главной фермы – испытывают действие изгибающего момента от тележки с грузом. Панельный момент от колеса тележки определяется в вертикальной и горизонтальной плоскостях по формулам

$$M = \frac{N_1 d}{6}\ ; \qquad M_2 = \frac{N_{1г} d}{6}, \tag{6.22}$$

где N_1 и $N_{1г}$ – усилие от колеса тележки в вертикальной и горизонтальной плоскостях;

d – длина панели.

Сечение поясов подбирается по наиболее нагруженному стержню. Сначала определяется требуемая площадь сечения и компонуется сечение:

$$F_{TP} = \frac{N}{\varphi_m [\sigma]_p}, \tag{6.23}$$

где N - максимальное усилие в поясе;

φ_m - коэффициент снижения допускаемых напряжений, рекомендуется задаваться им в пределах 0,5…0,6.

Для скомпонованного сечения определяют площадь F, моменты сопротивления W_x и W_y, момент инерции J_y.

Напряжения в поясе от продольной силы и изгибающих моментов составляют

$$\sigma = -\frac{N}{F} - \frac{M}{W_x} - \frac{M_г}{W_y} \le \gamma [\sigma]_P. \tag{6.24}$$

Проверка устойчивости пояса производится по формуле

$$\sigma = \frac{N}{F \cdot \varphi \cdot C} \le \gamma [\sigma]_P \tag{6.25}$$

где φ коэффициент продольного изгиба, определяемый по таблицам [3,4,7] в зависимости от гибкости λ

$$\lambda = \frac{d}{r} \le [\lambda] \tag{6.26}$$

где $r = \sqrt{\frac{J_y}{F}}$ - радиус инерции сечения;

[λ] = 120 – допускаемая для сжатого пояса гибкость;

С – коэффициент, определяемый по формуле

$$C = \frac{\beta}{1 + \alpha m} \ , \qquad (6.27)$$

где $m = \frac{\sigma_M}{\sigma_N} = \frac{MF}{W_x N}$ – относительный эксцентриситет;

α и β - коэффициенты, определяемые по таблицам [7, с.360; 9, с.236] в зависимости от типа сечения.

Проверка устойчивости в плоскости изгиба производится по формуле

$$\sigma = \frac{N}{F\varphi_m} \qquad (6.28)$$

где φ_m – коэффициент, зависящий от произведения $m\eta$ [9, с.235];

m – относительный эксцентриситет;

η = 1,45 - 0,0031 - коэффициент.

В результате проверок по формулам (6.24, 6.25 и 6.28) хотя бы одна из величин σ должна попадать в интервал (0,95% …1,05 %)$\gamma[\sigma]_P$.

Подбор сечений сжатых раскосов и стоек производится методом последовательного приближения [7]. Задаваясь коэффициентом φ = 0,6…0,7, определяют требуемую площадь сечения стержня

$$F_{TP} = \frac{N}{\varphi\gamma[\sigma]_P} \qquad (6.29)$$

где N – усилие в стержне.

По F_{TP} компонуется сечение и определяется на устойчивость и на допускаемую гибкость по формулам (6.30, 6.31).

$$\sigma = \frac{N}{\varphi F} \le \gamma[\sigma]_P \qquad (6.30)$$

где φ – уточненный коэффициент продольного изгиба.

$$\lambda = \frac{l}{r_{\min}} [\lambda], \qquad (6.31)$$

где l – длина стержня;

r_{min} – минимальный радиус инерции сечения.

Подбор сечений (рис. 6.6) растянутых поясов и раскосов производится по F_{TP} и λ

$$F_{TP} = \frac{N}{\gamma[\sigma]_P}, \qquad \lambda = \frac{l}{r_{\min}} \le [\lambda]. \tag{6.32}$$

Подбор сечений производится для наиболее нагруженных стержней фермы, т.к. число различных размеров профилей ограничивается условием технологичности [8, с.147] в зависимости от длины фермы.

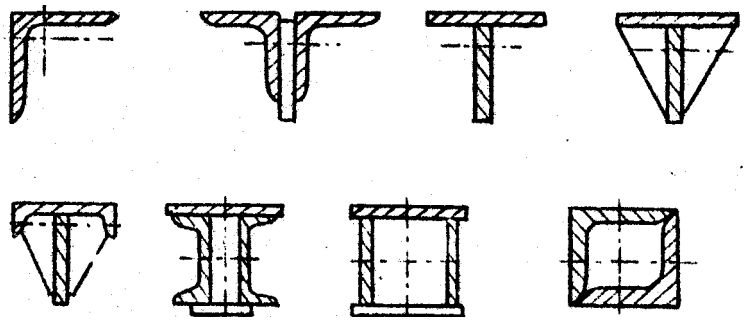

Рис. 6.6. Поперечные сечения верхнего пояса ферм

Требования рационального конструирования узлов ферм изложены в [7, 8, 11]. Для соединения стержней в узле обычно используют косынки различных конструкций. Требуемая длина швов, соединяющих стержень с косынкой определяется по формуле

$$L = \frac{N}{\beta \cdot k \cdot [\tau']} \tag{6.33}$$

где β – коэффициент, зависящий от способа сварки [8];

k – катет шва;

$[\tau']$ – допускаемые напряжения для металла шва.

Если сечение стержня выполнено из уголков, то распределение усилий между фланговыми швами неравномерно. Для равнополочных уголков усилие со стороны обушка составляет $0{,}7N$, а с противоположной стороны – $0{,}3N$. Пропорционально этому назначается длина фланговых швов. Необходимо также учитывать, что длина флангов швов не должна быть меньше 40 мм.

Длина шва, прикрепляющего косынку к поясу, определяется как

$$L = \frac{T}{2\beta k[\tau']} \tag{6.34}$$

где T – равнодействующая усилий стержней, сходящихся в узле, которая сдвигает косынку относительно пояса.

Если верхний пояс главной фермы выполнен из сварного тавра, то делается проверка прочности поясных швов по методике, изложенной в [8, с.216].

Кроме глазной фермы расчету подлежат верхняя вспомогательная и верхняя горизонтальная ферма связи. Так как геометрическая схема вертикальной

вспомогательной фермы такая же, как и у главной, то и линии влияния аналогичны. Ординаты на линиях влияния определяются в соответствии с расчетной схемой вертикальной вспомогательной фермы (рис.6.3). Для горизонтальной фермы связей линии влияния строятся отдельно, расчетная схема - приведена на рис. 6.4. Усилия в стержнях ферм определяются в соответствии с разделом 6.3.1, результаты вносятся в таблицы по форме табл.1. По найденным усилиям производится подбор сечений стержней и расчет сварных швов. Важной особенностью вертикальной вспомогательной фермы является то, что на нее не действует подвижная нагрузка от тележки.

6.4.3. *Проверка жесткости кранового моста*

Допускаемый прогиб фермы в середине пролета составляет (1/600…1/700)L [1, 2, 10], где L - длина фермы.

Прогиб кранового моста определяется по формуле

$$f = \frac{ML^2}{8EJ_{ср}} \le [f], \qquad (6.35)$$

где E – модуль упругости материала фермы;

$J_{ср}$ – момент инерции фермы в середине пролета.

$$J_{ср} = (F_в \cdot F_н)\frac{h^2}{4}, \quad (65)$$

где $F_в$ и $F_н$ - соответственно площади верхнего и нижнего поясов в середине пролета;

h – расстояние между центрами тяжести поясов в середине пролета;

M – максимальный изгибавший момент, действующий на главную ферму. При расположении тележки в центре пролета изгибающий момент равен:

$$M = 9{,}8\frac{Q + m_T}{8L}(L - B_T)^2, \qquad (6.36)$$

где Q – грузоподъемность крана, *кг*;

m_T – масса тележки, *кг*;

B_T – расстояние между осями колес тележки.

Решётчатые балки опираются на концевые балки. Расчёт концевой балки приведён в разделе 7.

7. РАСЧЕТ КОНЦЕВОЙ БАЛКИ.

Главные балки опираются на концевые балки. Расчёту подлежит концевая балка, расположенная со стороны кабины управления и механизма передвижения крана как наиболее нагруженная. На концевую балку действуют: опорное давление со стороны главных балок (ферм и вспомогательных ферм), изгибающие моменты в плоскости, изгибающие моменты от инерционных сил торможения тележки (тормозными являются два колеса тележки) в горизонтальной плоскости, перерезывающие силы от вертикальной нагрузки.

7.1. Определение расчётных нагрузок на концевую балку и основных размеров

Опорное давление со стороны главных балок определяется с использованием следующих расчетных схем (рис. 7.1).

На расчетных схемах нагрузки $P_{мех}$, $P_к$, N_1, N_2, q и q' определяются по формулам (6.8, 6.9, 6.10). Тележка устанавливается в крайнее положение, и рас-

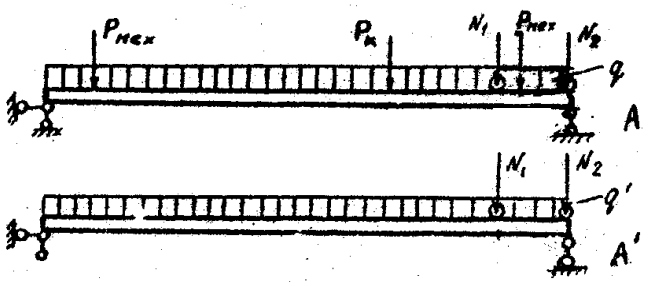

Рис. 7.1. К определению нагрузки на концевую балку

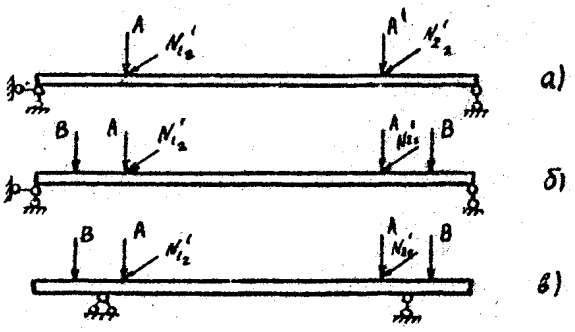

Рис. 7.2. Расчетные схемы концевых балок:
а) для мостов с балками коробчатого профиля; *б*) и *в*) для мостов решетчатого типа

считываются реакции опор А и А', затем определяются горизонтальные инерционные нагрузки А и А' по формуле (6.23). Составляется расчетная схема концевой балки (рис. 7.2, *а*).

В расчетных схемах концевых балок для мостов решетчатого типа (рис. 7.2, *б* и *в*), усилия А определяются как реакция опоры главной фермы (рис.6.3) при условии, что тележка ($N_2 = N_1$) находится в крайнем правом положении. Усилие В определяется как реакция опоры вспомогательной фермы (рис.6.4).

Усилия N'_{12} и N'_{22} равны N_{12} и N_{22} и могут быть вычислены по формуле (6.13) варианты расчетной схемы (рис. 7.2, *б* и рис. 7.2, *в*) приведены для концевых балок различной конструкции.

После составления расчетной схемы строятся эпюры изгибающих моментов в вертикальной и горизонтальной плоскостях и эпюра перерезывающих сил.

Так как балка должна обладать достаточной жесткостью в двух плоскостях, сечение ее выбирается коробчатого типа (рис. 7.3). Обычно концевая балка (рис. 7.4) состоит из двух половин (1), соединяемых с помощью накладок (2) болтами. Косынка (3) служит для сборки концевой балки с главной балкой (фермой).

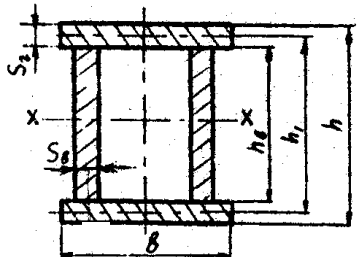

Рис. 7.3. Основные размеры сечения балки коробчатого типа

Высота балки принимается равной высоте опорного сечения главной балки (фермы). Толщина стенки 6…8 мм, ширина балки не менее 300 мм, остальные размеры сечения определяются по методике, изложенной в разделе 6.7. Производится проверка прочности по формулам (5.9, 5.10, 5.11, 5.12).

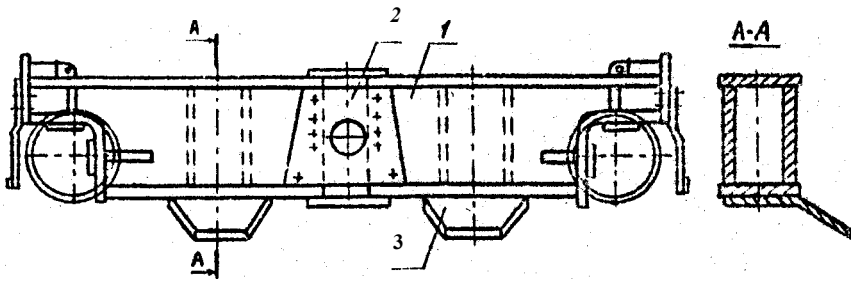

Рис. 7.4. Концевая балка мостового крана: 1 – балка коробчатого профиля; 2 – накладка; 3 – косынка

Размеры опорных концов балки определяются в зависимости от размеров крановых колес, которые крепятся на балке [11, с.288].

7.2. Расчёт болтового соединения монтажного стыка

Расчету подлежит монтажный стык, соединяющий две половины концевой балки. Болтовое соединение испытывает воздействие изгибающего момента перерезывающей силы. Диаметр болта, определяется по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4T}{n_{ср}\pi[\tau]}} \qquad (7.1)$$

где $n_{ср}$ – число рабочих срезов одного болта;

$[\tau]$ – допускаемые напряжения на срез материала болта;

T – усилие на болт крайнего ряда.

$$T = \sqrt{\left(\frac{N_1}{n}\right)^2 + \left(\frac{Q}{mn}\right)^2}, \qquad (7.2)$$

где Q – перерезывающая сила в сечении стыка;

m, n – число рядов (см. рис.8.5);

N_1 – усилие на болт крайнего ряда от действия изгибающего момента,

$$N_1 = \frac{M_{cm} \cdot y_1}{n\sum y_i^2}, \qquad (7.3)$$

где M_{cm} – часть изгибающего момента, приходящаяся на одну стенку балки;

y_1 – расстояние между крайними горизонтальными рядами;

$\sum y_i^2$ – сумма квадратов расстояний между горизонтальными рядами (см. рис.7.5).

Размещение болтов в конструкции определяется следующими условиями: минимальное расстояние между центрами 3,5d; максимальное расстояние 5d; минимальное расстояние от центра болта до края элемента 2,5d.

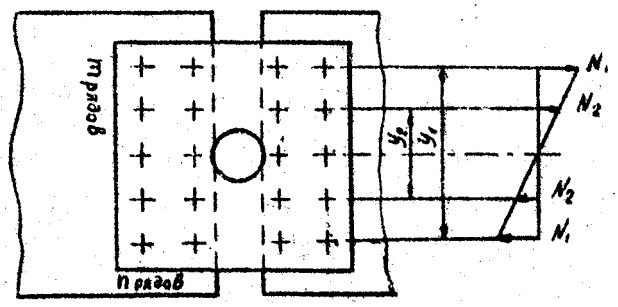

Рис. 7.5. Схема работы болтового соединения, воспринимающего изгибающий момент.

8. ЗАЩИТА КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект защищается перед комиссией, состоящей из двух преподавателей кафедры. Защита является открытой, т.е. допускается присутствие всех желающих. График защиты курсовых проектов вывешивается не позднее, чем за одну неделю до начала защиты.

В процессе защиты студент должен сделать трехминутный доклад по существу работы и ответить на вопросы членов комиссий.

Оценка определяется с учетом качества выполнения и оформления, степени самостоятельности и уровня защиты работы.

Подготовка курсового проекта и его защита должны быть завершены в строгом соответствии с графиком учебного процесса. Студенты, не представившие проект в срок или получившие неудовлетворительные оценки при защите, допускаются к повторной защите по рекомендации комиссии при соответствующем решении кафедры.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА
И НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

1. СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции» (актуализированная редакция СНиП II-23-81*).
2. ГОСТ 2.312 ЕСКД. Условные изображения и обозначения швов сварных соединений.
3. ГОСТ 12.2.070. Краны грузоподъемные. Сварка стальных конструкций.
4. ГОСТ 2246. Проволока стальная, сварочная.
5. ГОСТ 5264. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
6. ГОСТ 8713. Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
7. ГОСТ 9467. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы.
8. ГОСТ 14771. Дуговая сварка в защитных газах. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
9. Чернышов Г.Г., Шашин Д.М. Оборудование и основы технологии сварки металлов плавлением и давлением [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - СПб: Лань, 2013. 464 с. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/reader/book/12938/#1
10. Проектирование заготовок в машиностроении. Практикум: учебное пособие / С.С. Клименков. - М.: НИЦ ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2013. - 269 с. - (Высшее образование: Бакалавриат).
11. Козловский С.Н. Введение в сварочные технологии. [Электронный ресурс]: учебное пособие. - СПб: Лань Пресс, 2011. - 416 с. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/reader/book/700/#414
12. Климов А.С., Смирнов И.В., Кудинов А. К., Кудинова Г. Э. Основы технологии и построения оборудования для контактной сварки. [Электронный ресурс]: учебное пособие. - СПб: Лань, 2011. - 336 с. – Режим доступа:

https://e.lanbook.com/reader/book/1551/#1

13.Юрьева, Валентина Леонидовна. Проектирование сварных и литых рам для установки приводов. [Электронный ресурс]: пособие / В. Л. Юрьева, В. В. Рощин, 2012. – 32 с. – Режим доступа: http://e-library.kai.ru/reader/hu/flipping/Resource-1686/812216.pdf/index.html