



МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
ВОРОНЕЖСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
ИНСТИТУТ

КИРСАНОВ Н. М.

На правах рукописи

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ СТАЛЬНОГО КАРКАСА
ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ

ВОРОНЕЖ
1957 г.

Методическое пособие составлено в помощь студентам факультета промышленного и гражданского строительства, выполняющим курсовой проект стального каркаса промышленного здания.

В пособии дана последовательность работы над проектом, приведена учебная и справочная литература. Ссылки на литературу даны с помощью квадратных скобок.

Особое внимание обращено на составление возможных комбинаций нагрузок, выбору наибольших усилий и моментов.

В пособии принята методика расчета строительных конструкций по предельным состояниям в соответствии со строительными нормами и правилами (СН и П) и НИТУ 121—55. Учтены также «Основные положения по унификации конструкций производственных зданий» — 1955 г.

Кафедра стальных и деревянных конструкций.

ВВЕДЕНИЕ

Курсовой проект — расчет и конструирование стального каркаса промышленного здания — следует за расчетно-графическим упражнением по проектированию рабочей площадки промышленного здания.

Исходные данные к проекту следующие: назначение здания, количество и величина пролетов, отметки головок рельсов, грузоподъемность кранов, район строительства.

Архитектурную часть студент решает эскизно: находит типы и размеры кровельного и стенового ограждения, размеры оконных и фонарных проемов.

По указанию руководителя расчет стального каркаса может быть выполнен лишь для части здания. Однако компоновочное решение системы связей должно быть показано на чертежах для всего здания.

СОСТАВ ПРОЕКТА.

1. Компоновочная часть.

- а) Предварительное определение основных размеров рамы.
- б) Компоновка связей каркаса.

2. Технический проект (стадия КМ).

- а) Сбор нагрузок на раму и определение веса элементов.
- б) Статический расчет рамы.
- в) Расчет ригеля, колонны, конструирование базы и основных узлов рамы. Один из конструктивных элементов по согласованию с руководителем рассчитывается в двух-трех вариантах.
- г) Составление монтажных схем и перечня отправочных или монтажных марок.

Объем графической части технического проекта — 1 лист.

назначение длин панелей и схемы решетки ригеля см. [1] стр. 414, 438—442, [6] гл. 3, § 1—2. Кровельные настилы см. [9], крупнопанельные плиты [10].

4. Определение размеров фонаря: его пролета, размеров световых или аэрационных проемов, увязка их со стандартными размерами рам остекления или жалюзей см. [1] стр. 446—449, [6] гл. 4.

5. Подсчет вертикальных размеров колонн по заданной отметке рельса. Для этого нужно вычислить высоту подкрановой балки в зависимости от шага колонн и высоту рельса [6] стр. 175, 215. Затем по каталогу кранов определяются надрельсовые габариты крана. Каталоги кранов имеются в книгах: [11], [13] т. 9, [14]. Разность между пролетом цеха и пролетом крана назначается в зависимости от грузоподъемности крана, см. [6] стр. 13. Необходимо также учесть заглубление колонны под отметкой пола на 60—80 см.

Литература: [1], пример на стр. 419, [6] гл. 2, § 1.

При выборе крана следует руководствоваться не только заданной грузоподъемностью и пролетом крана, но и режимом его работы. К производствам с тяжелым режимом работы относятся цехи, указанные в п. 6 НИТУ 121—55, а также некоторые машиностроительные производства. Краны легкого режима устанавливаются для монтажа и ремонта оборудования. Краны, не относящиеся к названным группам, имеют средний режим работы.

6. Установление поперечных размеров колонн. Требуется увязать размеры колонн с размерами крана по каталогу, проверить зазор между краном и внутренней гранью колонны. Согласно «Основным положениям по унификации» [5] наружная грань колонны должна располагаться на расстоянии 250 или 500 мм от продольной разбивочной оси здания. Поэтому разбивочная ось может не совпадать с центром тяжести сечения надкрановой части колонны.

Минимальный проход между колонной и краном тяжелого режима принимается 0,4 м; для кранов среднего и легкого режима — зазор 0,06 м.

Если данная проверка не удовлетворяется, то допускается дополнительное уменьшение пролета крана еще на 0,5 м (т. е. увеличение λ на 0,25 м).

Литература указана в предыдущем пункте.

7. Назначение длины температурных блоков, см. [3], п. 88.

§ 2. Компоновка связей.

Для рассматриваемых вариантов требуется эскизно на черновике изобразить в мелком масштабе следующие схемы связей:

1. По верхним поясам ригелей (план).
2. По нижним поясам ригелей (план).
3. Вертикальные связи между фермами (продольный разрез).
4. Вертикальные связи между колоннами (продольный разрез).
5. Связи по фонарям (планы и разрезы).

Необходимо четко представить себе назначение каждого вида связей, проследить последовательность передачи усилий по элементам нагруженных связей, а также уменьшение расчетных длин элементов каркаса благодаря постановке связей (связи для обеспечения устойчивости сжатых элементов).

ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ (стадия КМ)

§ 3. Сбор нагрузок на поперечную раму.

Сбор нагрузок на каркас (рис. 3) и подсчет собственного веса элементов по весовым коэффициентам, приведенным в курсе [1], производится в следующей последовательности:

1. Вычисление веса 1 м² кровли, куда входят: плиты настила, пароизоляция, утеплитель, выравнивающий слой, кровельный ковер — в зависимости от назначения здания.

См. справочники: [9, 10].

2. Определение снеговой нагрузки на 1 м² горизонтальной проекции покрытия в зависимости от снегового района. См. [1] приложение 1, [2], глава II-Б 1, § 4 или [8], стр. 273.

3. Приближенное вычисление веса прогонов, приходящегося на 1 м² площади цеха. См. [1], стр. 470. Расчет прогона, см. [8], стр. 137—145.

4. Определение собственного веса ферм с учетом веса связей на 1 м² площади цеха. См. [1], стр. 471.

5. Вычисление веса каркаса фонаря на 1 м² площади цеха. См. табл. там же.

6. Подсчет вертикальных нагрузок на узлы ригеля рамы. Производится по формулам 10.11 и 10.12 курса [1]. Этот подсчет подробно изложен в примере на стр. 228 [7].

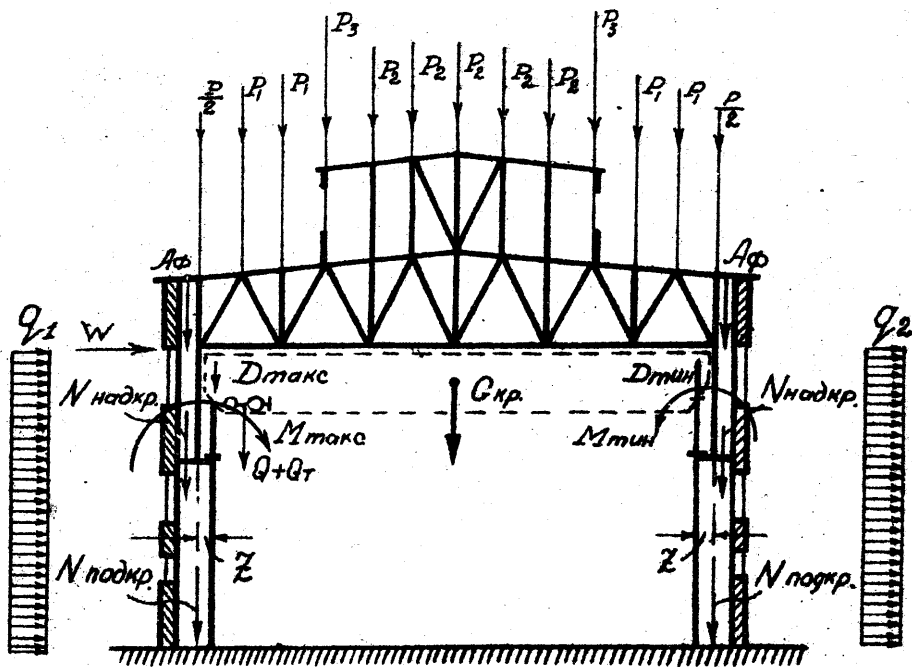


Рис. 3.

7. При шаге колонн 12 м. и более требуется определить вес подстропильных ферм. Общий вес фермы определяется по формуле:

$$G_{пф} = a_{пф} B_{пф}^2 \quad (1)$$

$B_{пф}$ — пролет подстропильной фермы.

$a_{пф}$ — весовой коэффициент подстропильной фермы, который определяется по интерполяции, для суммарных нормативных нагрузок на покрытие, изменяющихся в пределах

$$150 \div 300 \text{ кг/м}^2:$$

а) Для подстропильных ферм, расположенных в плоскости средних рядов колонн многопролетного здания:

$$L_1 + L_2 = 36 \text{ м.} \quad a_{пф} = 5 \div 10 \text{ кг/м}^2$$

$$L_1 + L_2 = 60 \text{ м.} \quad a_{пф} = 8 \div 16 \text{ кг/м}^2$$

Здесь L_1 и L_2 — соседние пролеты, прилегающие к подстропильной ферме.

б) Для подстропильных ферм, расположенных в плоскости крайнего ряда колонн (то же для однопролетных зданий):

$$L = 18 \text{ м.} \quad a_{пф} = 5 \div 6 \text{ кг/м}^2$$

$$L = 36 \text{ м} \quad a_{пф} = 5 \div 10 \text{ кг/м}^2$$

8. Определение веса фахверка (стенового каркаса). Стены толщиной в полтора кирпича и более, а также в один кирпич при высоте до 15 метров следует проектировать самонесущими так, чтобы вес стен не передавался на колонны. См. [4]. В таком случае стены нужно соединять с каркасом лишь для передачи ветровых нагрузок и для обеспечения устойчивости их.

9. Сбор нагрузок на надкрановую часть колонны. В постоянную расчетную нагрузку на надкрановую часть колонны входят следующие слагаемые:

а) Опорные давления ригелей прилегающих пролетов в предположении шарнирного опирания их на колонну (без учета веса снега).

б) Реакции подстропильных ферм. Вычисляются с учетом давления на них промежуточных ферм и собственного веса подстропильных ферм. См. п. 7, формула (1).

Для колонн по крайним рядам при наличии фахверка:

в) нагрузка от веса стенового ограждения в надкрановой части стены. Подсчитывается по объему или по площади стены в зависимости от вида материала ограждения.

г) Нагрузка от веса фахверка. Ориентировочный вес элементов фахверка составляет 5—14 кг на 1 м² пола здания в зависимости от веса стенового материала и от высоты здания (см. [7], табл. 49).

д) Вес остекления определяется по размерам световых проемов. Вес одного квадратного метра остекления может быть принят 30 кг/м² при одинарном и 55 кг/м² при двойном остеклении.

Кроме этого, отдельно подсчитывается давление от снеговой нагрузки, передаваемой стропильными и подстропильными фермами.

10. Собственный вес подкрановых балок определяется по формуле примера на стр. 472 курса [1].

11. Сбор постоянных нагрузок на подкрановую часть колонны. В сумму нагрузок должны войти (с учетом коэффициентов перегрузки):

а) Постоянная нагрузка на надкрановую часть колонны.

б) Вес стенового ограждения, фахверка и остекления опре-

деляется так же, как для надкрановой части, но по размерам, соответствующим подкрановой части стены. Для подсчета веса стены высота ее принимается от верха цокольной части до низа подкрановой балки, так как вес цоколя передается на фундамент.

- в) Опорные реакции от веса двух подкрановых балок.
- г) Собственный вес колонны. См. [7], таблица 49.

12. Вертикальная нагрузка на колонны от давления кранов. См. [1], стр. 467, пример на стр. 471.

Максимальное давление одного колеса крана определяется по каталогу кранов, см. [11, 13, т. 9, 14] или по формуле (14, 1) курса [1].

Для получения наибольшего давления кранов на колонну должны быть построены линии влияния опорных давлений подкрановых балок. Положение колес на линии влияния определяется размерами кранов, приведенными в каталогах.

Вычислив сумму ординат линии влияния от двух сближенных кранов и зная давление одного колеса, находим с учетом коэффициента перегрузки давление кранов на колонну. См. формулы (4.IX) пособия [7].

13. От вращающейся вертикальной нагрузки кранов возникают моменты, приложенные к колоннам на уровне опирания подкрановых балок. Величина момента равна произведению давления (найденного в п. 12), на эксцентриситет от оси подкрановой балки до центра тяжести сечения колонны, см. [1], стр. 467.

14. Определение нагрузки на раму от поперечного торможения кранов, см. [1], стр. 468, [7], стр. 322.

15. Подсчитывается ветровая нагрузка, передаваемая на поперечную раму. См. [1], стр. 469, [2], глава II-Б, 1, § 4.

§ 4. Статический расчет рамы.

Приступая к расчету поперечной рамы, студент должен проанализировать, каким образом сложное сооружение заменяется упрощенной расчетной схемой, выяснить применимость этих упрощений к данному промышленному зданию. См. [1], стр. 474.

Затем выбираются методы расчета рамы и назначаются расчетные схемы для двух групп нагрузок — для вертикальных, приложенных непосредственно к ригелю, и для «горизонтальных» нагрузок (внецентренное крановое давление, поперечное торможение кранов, ветровая нагрузка).

Рекомендации по выбору соотношений между жесткостями элементов рамы, см. [1], стр. 476, [6], стр. 252, [7], стр. 324.

По указанию руководителя расчет рамы на один из видов загрузки может быть проделан точным методом с необходимыми проверками, а на другие загрузки — приближенно, по таблицам [6], [12] том 3, или по графикам [15]. Рамы с шарнирно опертыми ригелями рассчитываются по формулам [6], стр. 274.

§ 5. Таблица расчетных моментов и усилий.

Комбинации нагрузок

Таблица расчетных моментов и усилий (таблица № 1) заполняется после расчета плоской рамы (§ 4).

Продольные силы в таблицу можно вносить лишь от вертикальных нагрузок, так как из расчета рамы на горизонтальные нагрузки величины продольных сил в стойках получаются небольшими и для упрощения расчета ими можно пренебречь.

Таблица завершается составлением для каждого сечения комбинаций усилий, которые могут дать наибольшие напряжения в сечениях: для основного сочетания нагрузок — это либо наибольший момент и соответствующая ему продольная сила и либо наибольшая продольная сила и соответствующий ей момент; для дополнительного сочетания нагрузок — наибольший момент и действующая при этом сила.

Таблица № 1 приведена здесь в сокращенном виде. Возможен более тщательный подбор сечения, если:

1) Комбинацию «N макс. и соответствующий M» подсчитать отдельно для положительного и отрицательного момента (что необходимо для расчета несимметричного сечения колонны).

2) Эти комбинации (N макс. и $\pm M$) найти и для дополнительного сочетания.

При составлении возможных комбинаций усилий необходимо учитывать следующее:

1. Моменты и продольные силы от постоянной нагрузки (собственный вес конструкций) должны входить как обязательные слагаемые в любую комбинацию, если даже от этого уменьшается суммарное расчетное усилие.

Например, в таблице 1 при подсчете отрицательных моментов в сечении 1—1 учтен положительный момент от постоянной нагрузки (+1,40—8,76—14,98=—22,34 тм).

2. Снеговая нагрузка является временной нагрузкой, поэтому моменты и продольные силы от нее добавляются в суммарное воздействие лишь тогда, когда совпадают с ним по знаку.

3. Количество кранов, от которых учитываются воздействия на одну раму, определяется заданием. Для однопролетной ра-

мы, обычно принимается нагрузка от двух кранов. Предполагается также, что возможно совпадение наибольшего вертикального давления и поперечного торможения двух кранов.

4. Торможение кранов можно учитывать лишь одновременно с вертикальным давлением кранов. Это очевидно, если кран не оказывает вертикального давления на данную раму, то он не может передавать поперечное торможение на нее. Например, в таблице 1 при сборе отрицательных моментов в сечении 3—3 момент от торможения ($-2,26 \text{ тм}$) не может быть учтен, так как он меньше положительного момента от вертикального давления кранов ($+3,29 \text{ тм}$).

5. Поперечное торможение может быть приложено к любой из стоек рамы в данном пролете. Принимается, что направление силы торможения не зависит от положения крановой тележки в пролете. Поэтому, например, в таблице № 1 при сборе положительных моментов в сечении 1—1 принят момент от тележки, расположенной у правой колонны, а торможение направлено влево и приложено к левой стойке. (Схемы нагрузок 1, 2, 4, 6).

6. Ветровая нагрузка в сумме с основными дает новое сочетание — дополнительное, при котором величины усилий от учитываемых нагрузок, кроме собственного веса, умножаются на коэффициент 0,9 см. 11, стр. 325, 121, глава II-Б, 1, § 3.

§ 6. Возможные варианты конструктивных решений элементов

Следующий раздел курсового проекта — расчет элементов рамы. Требуется, чтобы один из элементов был запроектирован в двух-трех вариантах и выбрано лучшее решение его с точек зрения удобства эксплуатации сооружения, экономии металла, простоты изготовления и монтажа конструкции.

Могут быть предложены следующие примерные варианты проектируемых элементов.

1. Варианты сквозного ригеля.

а) Исследование влияния вида решетки на вес фермы: треугольная и раскосная решетка, с восходящим и нисходящим опорными раскосами, с внеузловой нагрузкой по верхнему поясу и шпренгельная решетка и т. п.

б) Сопоставление типов сечений элементов фермы: из углов, составленных различным образом, трубчатые сечения, корбчатые из штампованных профилей. Предлагаемые сечения

должны быть обоснованы с точки зрения технологии изготовления конструкции. Сопоставление следует проводить по стоимости, так как различные виды проката металла имеют различную цену [16].

2. Варьирование компоновки шатра здания.

а) Сопоставление сквозных и сплошных прогонов.

б) Беспрогонные и прогонные решения.

в) Шаг ферм 6 м при шаге колонн 12 м (с подстропильной фермой) и шаг ферм 12 м с применением прутковых прогонов или крупнопанельного настила пролетом 12 м.

г) Продольное и поперечное расположение прогонов.

3. Варианты колонны:

а) Колонны сплошного и сквозного сечения.

б) Постоянного по высоте сечения (с консолью) и ступенчатые.

в) Сквозные колонны из различных прокатных элементов.

4. В отдельных случаях может быть предложен расчет подкрановой балки с вариантами сплошного и сквозного сечения. Тогда вместо рабочего проекта фермы должен быть выполнен чертеж сквозной подкрановой балки.

Не следует ограничиваться перечисленными вариантами. Более ценной является разработка новых решений, способных конкурировать между собой.

Для сокращения расчетных операций при варьировании усилия в элементах сквозного ригеля можно определить по упрощенной расчетной схеме от вертикальной нагрузки (при шарнирном опирании) и подобрать сечения основных элементов (поясов, нескольких раскосов) с тем, чтобы, выбрав основной вариант, рассчитать его более подробно.

Для сопоставления вариантов колонн достаточно подобрать их сечения. Вес других элементов, не входящих в сечение, должен учитываться конструктивными коэффициентами.

§ 7. Расчет сквозного ригеля.

1. Расчетные схемы и комбинации нагрузок

На протяжении существования сооружения возможны не только различные комбинации нагрузок на ригель, но может меняться и сама расчетная схема ригеля. -

Задачей расчета является выбор таких расчетных схем и комбинаций нагрузок, соответствующих данному ригелю, которые давали бы наибольшие усилия в элементах и преимущественно сжатию, так как сжатие для стержня опаснее чем растяжение.

Обычно для промышленных каркасов рассматриваются следующие расчетные схемы и комбинации нагрузок на ригель:

а) Шарнирное опирание ригеля. Несмотря на то, что при расчете рамы принято жесткое защемление ригеля, в период монтажа возможно шарнирное опирание его на колонны, которое определяется тем, что после установки ферм не обеспечивается окончательная затяжка болтов или не ставятся заклепки в опорных узлах, но при этом могут быть уложены прогоны, настил, утепление и другие элементы кровли, а также приложена снеговая нагрузка. Такая расчетная схема и нагрузки дают наибольшие усилия в поясах ригеля.

б) Защемление ригеля на опорах проявляется после затяжки болтов в опорных узлах или после постановки заклепок.

Схема с защемленным ригелем позволяет выявить сжатие в крайних панелях нижнего пояса и наибольшие усилия в средних раскосах при загрузке рамы «горизонтальными» нагрузками.

2. Таблица усилий в элементах сквозного ригеля

Усилия, возникающие в элементах ригеля при различных загрузках, рекомендуется свести в таблицу (см. табл. 2).

Третья и четвертая графы таблицы заполнены усилиями от единичных моментов, найденных построением диаграммы Максвелла-Кремоны от пары сил $H = \frac{1}{h_0}$, где h_0 высота ригеля на

опоре. При симметричной схеме ригеля усилия в этих колонках обратно симметричны.

В пятую графу таблицы помещены суммарные усилия от постоянной нагрузки (от собственного веса покрытия) и от снега, найденные с помощью диаграммы усилий в предположении шарнирного опирания фермы.

Следующие две графы (6 и 7) получены умножением соответствующих числовых значений третьей графы на левый рамный момент и четвертой графы на правый момент, возникающий в защемленном ригеле от действия на него постоянной и временной нагрузок.

Например, из таблицы 1 для расчета должны быть взяты следующие моменты: $M_{\text{лев.}} = M_{\text{пр.}} = -6,02 - 4,81 = -10,83$ тм.

В восьмой графе для шарнирно опертой фермы записаны суммарные усилия от постоянной и снеговой нагрузок. Усилия от снеговой нагрузки здесь умножены на коэффициент дополнительного сочетания 0,9, так как при определении расчетных усилий графа 8 складывается с 9-й и 10-й, в которые входят усилия от ветровой нагрузки.

В девятый и десятый столбцы внесены усилия в раскосах и стойках от нагрузок, дающих наибольшее горизонтальное смещение рамы (внецентренное вертикальное давление кранов, поперечное торможение кранов, ветровая нагрузка) и от вертикальных нагрузок (вес покрытия и снеговая нагрузка), см. рис. 4. Как упоминалось, такая комбинация нагрузок образует дополнительное сочетание, так как в нее входит ветровая нагрузка, поэтому моменты от временных нагрузок должны быть умножены на 0,9.

Комбинация «горизонтальных» нагрузок выбирается так, чтобы разность опорных моментов была наибольшей.

Например, из таблицы 1:

Момент на левой опоре:

$$M_{\text{лев.}} = -6,02 + 0,9 \cdot (-4,81 + 2,11 + 0,95 + 5,07) = -3,03 \text{ тм.}$$

На правой опоре:

$$M_{\text{прав.}} = -6,02 + 0,9 \cdot (-4,81 - 5,59 - 5,55 - 4,22) = -24,20 \text{ тм.}$$

Чтобы не ошибиться при выборе расчетных моментов, рекомендуем предварительно построить эпюры моментов (рис. 4).

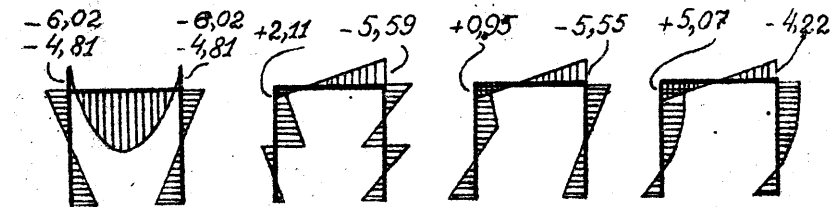


Рис. 4.

Если рамный момент от ветровой нагрузки не превышает 10% от суммы моментов, создаваемых другими нагрузками, то ветровую нагрузку в эту комбинацию включать не следует. В таком случае графа 8 может быть исключена, а графы 9 и 10 будут входить в основное сочетание.

3. Определение расчетных усилий в элементах ригеля

В поясах наибольшие усилия возникают при шарнирном опирании фермы. В таблице № 2 эти усилия записаны в графе 5. Наибольшее усилие в какой-либо панели принимается за расчетное для всего пояса или части его (см. [6], гл. 3, § 3в). Если это усилие находится под фонарем, а за его пределами к верхнему поясу приложена внеузловая нагрузка, то необходимо сделать проверки верхнего пояса, как внецентрично сжатого стержня по формулам (16—20) ННТУ 121—55.

В крайних панелях нижнего пояса при жестком защемлении ригеля может появиться сжатие:

а) от больших «горизонтальных» нагрузок без учета снега на покрытие;

б) в многопролетных рамах от вертикальных нагрузок.

Появлению сжатия в нижнем поясе способствует и то, что весь рамный распор от действующих нагрузок прикладывается к нижнему поясу. Распор определяется, как продольное усилие в ригеле, равное поперечной силе в верхнем сечении колонны (4—4).

Например, сжатие в нижнем поясе может быть найдено суммированием следующих усилий (см. табл. 2):

1) Усилие от постоянной нагрузки при шарнирном опирании + 7,80 т.

2) Сжатие при жестком защемлении от той же нагрузки — 2,39 т.

3) Усилие от рамных моментов крановой и ветровой нагрузок — см. рис. 4 — (дополнительное сочетание) — 4,95,0,9 = —4,46 т.

4) Рамный распор от постоянной нагрузки — 0,63 т.

5) Распор от крановых и от ветровой нагрузок — 7,20,0,9 = —6,48 т.

Таким образом, в крайней панели нижнего пояса появляется сжатие — 6,16 т.

Расчетные усилия в стойках и раскосах подсчитываются по таблице № 2 отдельно от основного сочетания (вертикальные нагрузки) и от дополнительного (вертикальные и горизонтальные).

За расчетную комбинацию принимается та, которая дает в данном стержне наибольшее усилие, преимущественно сжатие.

4. Подбор сечений и проверка несущей способности элементов сквозного ригеля

Типы сечений, подбор и проверка сечений стропильных ферм см. [1], стр. 347—357, [6], гл. 3, § 3, § 4, см. пример [7], стр. 226.

Опорный раскос обычно принимается из тех же уголков, что и верхний пояс, но составленных широкими полками, если уголки неравнобокие.

Для сокращения записей рекомендуем все расчеты свести в таблицу, форма ее дана в курсе [1], стр. 355. После того, как подобраны все сечения, по согласованию с руководителем выбираются 4—6 профилей для дальнейшего проектирования фермы.

5. Расчет узлов сквозного ригеля

Конструирование и расчет узлов фермы см. [1], стр. 357—363, [6], гл. 3, § 4, [7], стр. 233.

Определение длин швов в узлах также можно свести в таблицу (таблица 3).

Таблица 3

№ элемента	Расчетное усилие	Требуемая площадь шва	Площадь швов у пера, у обушка	Высота швов	Расчетная длина швов	Принятая длина
	кг	см ²	см ²	см	см	см

Примечание: высоту швов рекомендуется принимать, по возможности, минимальную 5—6 мм.

6. Сопряжение сквозного ригеля с колонной

Узлы сопряжения сквозного ригеля с колонной осуществляются на черных болтах или заклепках, см. [1], стр. 481—486, [6], стр. 110—111.

Рамный момент для расчета болтов нижнего узла находится суммированием моментов от боковых горизонтальных нагрузок и от постоянной вертикальной нагрузки. Например, из таблицы 1 находим:

$$M = -6,02 + (+2,11 + 5,55 + 5,07) \cdot 0,9 = +5,44 \text{ тм.}$$

Наибольшее усилие отрыва в верхнем узле появится при отрицательном моменте. В таблице 1 это схемы нагрузок 1, 2, 4, 8, дающие момент, равный $M = -24,17$ тм.

$$N = 26,3 \text{ т.}$$

Для расчета вертикальных швов опорной фасонки выбирается максимальный момент в этом сечении рамы независимо от знака и соответствующая опорная реакция фермы.

§ 8. Расчет каркаса фонаря

Расчет и конструирование элементов фонаря производится так же, как и элементов фермы. Крайние стойки, испытывающие поперечный изгиб, рассчитываются как внецентренно сжатые элементы. См [1], стр. 489—491, [6], гл. 4, по формулам НиТУ (16—20).

§ 9. Подбор сечений колонн и проверка их несущей способности

Тип и ширина сечения, а также высота колонны были определены при компоновке рамы (§ 1).

Отыскание точных размеров элементов сечения (подбор сечения) и проверку несущей способности производим отдельно для надкрановой и подкрановой частей колонны, как для внецентренно сжатых элементов: [3], формулы 16—19.

Пример по подбору и проверке сечения колонны рассмотрен в пособии [7] на стр. 268—275.

Расчетные усилия отдельно в надкрановой и подкрановой частях (M и N) определяются по наибольшему моменту сопротивления из таблицы 4, в которой графы M и N заполняются всеми суммарными комбинациями нагрузок из таблицы 1 для рассчитываемой части колонны.

Таблица 4

	M	N	$1 = \frac{M}{N}$	$\frac{\rho_x}{\varphi_x} + 1$	$N \left(\frac{\rho_x}{\varphi_x} + 1 \right) = M \text{ ядр.}$	$W_{гр} = \frac{M \text{ ядр.}}{mR}$
п/п	тм	т	м	м	тм	см ³

ρ_x — ядровое расстояние:

$$\rho_x = \frac{2r_x^2}{h} \quad (2)$$

h — высота сечения (см. § 1, пункт 6).

r_x — радиус инерции, см. таблицу сечений [1], стр. 846 или [6], стр. 314.

φ_x — коэффициент продольного изгиба определяется по предварительно принятой гибкости.

При проверке устойчивости колонны из плоскости рамы по формуле (19) НиТУ 121—55 в выражении «с» принимается эксцентриситет от максимального момента в пределах средней трети высоты данного участка колонны (НиТУ, пункт 48в). Величину этого момента следует подсчитать по суммарной эпюре рамных моментов от нагрузок, входящих в расчетную комбинацию M и N .

Для получения экономичных сечений колонн высоких зданий, где существенное значение имеет обеспечение устойчивости стойки из плоскости рамы (отметка рельса больше 12—14 м) рекомендуется ставить дополнительную распорку вертикальных связей между колоннами, что исключает необходимость сильно развивать сечение относительно оси $Y-Y$.

§ 10. Сопряжение надкрановой и подкрановой частей колонны между собой

Основные соображения по выбору типа стыка, см. [1], стр. 520—523. Конструктивное оформление узла дано в руководстве по проектированию [6], рис. 30, 32, 43—48 и др.

Расчет швов сопряжения сквозной колонны производится по усилию:

$$N_{ветви} = N_{надкр} \cdot \frac{F_{ветви}}{F_0} + \frac{M}{p} \quad (3)$$

$N_{надкр}$ и M — расчетная продольная сила и рамный момент надкрановой части колонны в месте стыка (см. табл. 1).

F_0 — общая площадь сечения колонны.

$F_{ветви}$ — площадь сечения соответствующей ветви;

p — расстояние между швами (высота сечения надкрановой части колонны).

Усилие, найденное по формуле (3), может быть принято для расчета (в запас прочности) стыка полок сплошной колонны в предположении, что стенка колонны в стыке не передает усилий.

§ 11. Конструирование и расчет базы колонны

База внецентренно сжатой колонны, как правило, имеет развитые траверсы и жесткое прикрепление анкеров для передачи рамного момента на фундамент, см. [1], стр. 511—519, [3], пункты 79, 80.

Примеры конструкций базы, см. [6], рис. 5, 14—18, 34—36, 51, 52, а также [7], фиг. 169—172. Таблицу анкерных болтов см. [6], стр. 44. Пример расчета базы, см. [7], стр. 293.

Максимальные усилия в анкерах возникают при действии на базу наибольших моментов и наименьших продольных сил. Этому условию соответствует сумма горизонтальных нагрузок без учета снега в вертикальных нагрузках.

Так как при этом, обычно, учитывается ветровая нагрузка, то данная комбинация нагрузок рассматривается, как дополнительное сочетание нагрузок, см. [1], стр. 325.

Например, из таблицы 1 следует две комбинации нагрузок:

$$M=1,40-(8,76+14,98+13,29) \cdot 0,9=-31,93 \text{ тм.}$$

$$N=34,5+(77,1+33,8) \cdot 0,9=103,9 \text{ т.}$$

$$M=+1,40-13,29 \cdot 0,9=-10,56 \text{ тм.}$$

$$N=34,5 \cdot 0,9=31 \text{ т.}$$

§ 12. Проверка соотношений жесткостей элементов рамы

Необходимо проверить соотношения жесткостей ригеля и частей колонны, чтобы убедиться в правильности предварительного выбора этих соотношений при расчете рамы (см. § 4).

Фактические моменты инерции надкрановой и подкрановой частей колонны найдены при проверке напряжений в сечениях (см. § 9), момент инерции ригеля находится по формуле (14, 7) курса [1], (7, 6) руководства [6] или (10.IX) пособия [7].

Если полученные соотношения отличаются от принятых на 30%, то, обычно, производится пересчет рамы, однако в данном случае можно ограничиться качественным анализом ошибки в определении изгибающих моментов, благодаря несовпадению принятых и фактических жесткостей.

§ 13. Экономические показатели выполненного проекта

Требуется вычислить и привести следующие экономические показатели:

1) Общий расход металла на каркас здания.

Для этого подсчитываются веса отдельных элементов и их количество.

Вес ферм определяется по спецификации детализировочного чертежа, вес колонн — по подобранному сечению с введением конструктивного коэффициента на вес дополнительных деталей, которые не входят в сечение ($K=1,2$).

Вес подкрановой балки, расчет которой не предусмотрен программой данного проекта, может быть определен по весовым коэффициентам примера [1], стр. 472. Вес подстропильной фермы и расход металла на фахверк найдены в § 3. Вес связей может быть принят, как 15—20% от общего веса стропильных ферм.

2) Расход стали на 1 м² площади здания. Этот показатель вычисляется для спроектированных элементов (фермы, колонны) и суммарный по всем элементам. Следует сопоставить полученные результаты с расходом металла на подобные сооружения и сделать выводы (см. [7], таблицы 47, 49).

3) Общая стоимость стального каркаса. Находится, исходя из общего веса и стоимости одной тонны металла по ценнику [17].

4) Стоимость каркаса, приходящаяся на один кубический метр полезного объема здания.

§ 14. Углубленная проработка темы курсового проекта

В качестве углубления курсового проекта или в качестве кружковых тем могут быть рассмотрены различные вопросы компоновки, уточнения расчета как всего каркаса, так и отдельных его элементов, предложения по конструированию, изготовлению и монтажу различных конструкций промышленного здания:

1) участие в пространственной работе каркаса элементов покрытия, связей и других продольных элементов;

2) устойчивость сжатых элементов каркаса;

3) влияние податливости узлов рамы на величины усилий в ее элементах;

4) горизонтальные смещения колонн и прогибы тормозных ферм;

5) расчет фахверка, прогонов, подкрановых балок, колонн и других элементов каркаса с учетом стесненного кручения или с учетом развития пластических деформаций;

6) учет совместной работы фонаря и ригеля;

7) применение подвешенного транспорта, уточненный расчет системы ферм на вертикальную временную нагрузку;

8) определение собственных весов элементов каркаса промышленного здания различными методами;

9) вопросы унификации и экономичной компоновки каркасов промзданий;

10) способы определения устойчивости элементов фермы при монтаже;

11) расчет каркаса на сейсмические и другие динамические нагрузки.

§ 15. Содержание пояснительной записки и ее оформление

Пояснительная записка выполняется по форме, принятой для курсовых проектов на кафедре.

Для записки может быть использована обычная школьная тетрадь, на обложке которой указывается: наименование института, название курсового проекта, фамилия и группа, год выполнения. Задание подшивается перед первой страницей.

На первой странице помещается оглавление.

Пояснительная записка должна иметь общую нумерацию параграфов. Ниже приводится план пояснительной записки.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

§ 1. Назначение сооружения. Обоснование выбранного материала для его возведения.

В этом параграфе должно быть изложено назначение сооружения, характеристика таких его особенностей, которые интересуют строителя: температурный и влажностный режим, виды технологических нагрузок (крановые и др.), противопожарные требования и сделано обоснование применения стали для каркаса данного промышленного здания.

Объем параграфа — 1 страница.

Литература: [12, т. 1; 13, т. 14].

§ 2. Компоновка рамы стального каркаса.

§ 3. Компоновка связей.

§ 4. Сбор нагрузок на поперечную раму.

§ 5. Статический расчет рамы.

§ 6. Расчет сквозного ригеля.

§ 7. Расчет каркаса фонаря.

§ 8. Подбор сечений колонны.

§ 9. Сопряжение надкрановой части колонны с подкрановой.

§ 10. Конструирование и расчет базы колонны.

§ 11. Проверка соотношений жесткостей элементов рамы.

§ 12. Экономические показатели выполненного проекта. Исползованная литература.

В конце записка подписывается студентом и указывается дата окончания проектирования.

При оформлении пояснительной записки должны быть соблюдены следующие требования:

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

2. Рисунки и таблицы должны быть пронумерованы. Рекомендуется ссылаться на них в тексте.

3. Формулы необходимо сопровождать пояснением условных обозначений, если они не являются общепринятыми и встречаются в тексте первый раз.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Стрелецкий Н. С. Стальные конструкции, 1952 г.

2. Строительные нормы и правила, часть II, 1955 г. (СНиП).

3. Нормы и технические условия проектирования стальных конструкций (НиТУ 121—55).

4. Технические правила по экономному расходованию металла, леса и цемента в строительстве. 1954 г. (ТП 101—54).

5. Основные положения по унификации производственных зданий. 1955 г.

6. Стальные конструкции одноэтажных промышленных зданий. Руководство по проектированию. КТИС. 1952 г.

7. Муханов К. К. Проектирование стальных конструкций. 1956 г.

8. Тахтамышев А. Г. Стальные конструкции. 1955 г.

9. Бюллетень строительной техники. 1951 г. №№ 13, 14.

10. Крупные сборные железобетонные элементы для покрытий промышленных зданий. Рационализаторские и изобретательские предложения в строительстве, вып. 81. 1954 г.

11. Справочник: Инженерные сооружения. 1950 г.

12. Справочник Промстройпроекта, т. 1, Архитектура промышленных зданий, т. 3. Металлические конструкции. 1935 г.

13. Энциклопедический справочник машиностроения, т. 9, 14. 1946 г.

14. Кифер Л. Г. и Абрамович И. И. Атлас грузоподъемных машин. 1956 г.

15. Бычков Д. В. Графики и таблицы для расчета рам. 1950 г.

16. Прейскурант № 01—02 оптовых цен на сталь обыкновенного качества. 1955 г.

17. Ценник № 1 средних районных сметных цен на материалы, детали и конструкции. Часть II. Строительные конструкции и детали. 1956 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Состав проекта	3
Компоновочная часть	
§ 1. Компоновка рамы стального каркаса	4
§ 2. Компоновка связей	7
Технический проект (КМ)	
§ 3. Сбор нагрузок на поперечную раму	7
§ 4. Статический расчет рамы	10
§ 5. Таблица расчетных моментов и усилий. Комбинации нагрузок	11
§ 6. Возможные варианты конструктивных решений элементов	12
§ 7. Расчет сквозного ригеля	13
§ 8. Расчет каркаса фонаря	18
§ 9. Подбор сечений колонн и проверка их несущей способности	18
§ 10. Сопряжение надкрановой и подкрановой частей колонны между собой	19
§ 11. Конструирование и расчет базы колонны	20
§ 12. Проверка соотношений жесткостей элементов рамы	20
§ 13. Экономические показатели выполненного проекта	20
§ 14. Углубленная проработка темы курсового проекта	21
§ 15. Содержание пояснительной записки и ее оформление	22
Литература	23

Ответ. за выпуск КЛЕПИКОВ Л. В.

ЛЕ01476. Объем 1^{1/2} л. Заказ 540-57 г. Тираж 400 экз.

1-я тип. Воронежского Облуправления культуры.

		Правило знаков М		Подкрановая часть				Надкрановая часть		
				1 - 1		2 - 2		3 - 3		
				М	N	М	N	Q	М	N
Основное сочетание	1	Собственный вес		+ 1,40	34,5	- 3,66	20,1	- 0,63	- 3,66	18
	2	Снеговая нагрузка		+ 1,12	12,2	- 2,92	12,2	- 0,51	- 2,92	12
	3	Тележка слева		- 8,76	77,1	- 29,35	77,1	- 3,20	+ 7,21	-
	4	Тележка справа		+ 4,78	33,8	- 14,88	33,8	- 3,20	+ 3,28	-
	5	Поперечное торможение		± 14,98	-	± 2,26	-	± 0,90	± 2,26	-
	6			± 12,43	-	± 0,27	-	± 0,50	± 0,27	-
	7	M макс и соответствующее N	Нагрузки	1, 2, 4, 6						1, 3, 5
	8		+ M, N	+ 22,28	80,5	-	-	-	+ 5,81	1
		N макс и соответствующее M	Нагрузки	1, 3, 5		1, 2, 3, 6				1, 2
			- M, N	- 22,34	111,6	- 38,19	109,4			- 6,58
	M макс и соответствующее N	Нагрузки	1, 2, 3, 5		1, 2, 3, 6				1, 2	
		M, N	- 21,22	123,8	- 38,19	109,4			- 6,58	
Дополнительное сочетание	9	Ветровая нагрузка слева		- 13,29	-	+ 1,26	-	+ 1,30	+ 1,26	
	10	" справа		+ 11,16	-	- 0,76	-	- 0,90	- 0,76	
		M макс и соответствующее N	Нагрузки	1, 2, 4, 6, 10						1, 3, 5
			+ M, N	+ 30,24	75,9	-	-			+ 6,00
			Нагрузки	1, 3, 5, 9		1, 2, 3, 6, 9				1, 2
	- M, N	- 31,91	103,9	- 35,42	109,5			- 6,97		

Таблица № 1

		Правило знаков М		Подкрановая часть					Надкрановая часть							
				1 - 1		2 - 2		Q	3 - 3		4 - 4		Q			
				M	N	M	N		M	N	M	N				
Основное сочетание	1	Собственный вес		+ 1,40	34,5	- 3,66	20,1	-0,63	-3,66	18,9	- 6,02	15,3	-0,63			
	2	Снеговая нагрузка		+ 1,12	12,2	- 2,92	12,2	-0,51	-2,92	12,2	- 4,81	12,2	-0,51			
	3	Тележка слева		- 8,76	77,1	-29,35	77,1	-3,20	+7,21	-	+ 2,11	-	-3,20			
	4	Тележка справа		+ 4,78	33,8	-14,88	33,8	-3,20	+3,28	-	- 5,59	2	-3,20			
	5	6	Поперечное торможение		±14,98	-	± 2,26	-	±0,90	±2,26	-	± 0,95	-	±0,50		
	7			8		±12,43	-	± 0,27	-	±0,50	±0,27	-	± 5,55	-	±0,50	
		M макс и соответствующее N	Нагрузки	1, 2, 4, 6						1, 3, 5						
			+ M, N	+22,28	80,5	-	-	-	+5,81	18,9	-	-				
			Нагрузки	1, 3, 5		1, 2, 3, 6				1, 2		1, 2, 4, 8				
		N макс и соответствующее M	- M, N	-22,34	111,6	-38,19	109,4			-6,58	31,1	-21,97	27,5			
	Нагрузки		1, 2, 3, 5		1, 2, 3, 6				1, 2		1, 2, 4, 8					
	M, N	-21,22	123,8	-38,19	109,4			-6,58	31,1	-21,97	27,5					
Дополнительное сочетание	9	Ветровая нагрузка слева		-13,29	-	+ 1,26	-	+1,30	+1,26	-	+ 5,07	-	-3,50			
	10	" справа		+11,16	-	- 0,76	-	-0,90	-0,76	-	- 4,22	-	+3,50			
		M макс и соответствующее N	Нагрузки	1, 2, 4, 6, 10						1, 3, 5, 9						
			+ M, N	+30,24	75,9	-	-			+6,00	18,9	-	-			
			Нагрузки	1, 3, 5, 9		1, 2, 3, 6, 9				1, 2, 10		1, 2, 4, 8, 10				
	- M, N	-31,91	103,9	-35,42	100,5			-6,97	29,9	-24,17	26,3					

ск КЛЕПИКОВ Л. В.

57 г. Тираж 400 экз.

ния культуры

Таблица № 2

	Номера стержней	Рамные моменты слева и справа		Основное сочетание			Дополнительное сочетание			Расчетные усилия	
				шарнирное опирание фермы пост.нагр. + снег	рамные моменты от вертик. нагрузки		шарнирное опирание фермы пост.нагр. + снег	рамные моменты от верт. и гориз. нагр.			
					-10,83	-10,83		-3,03	-24,20		
1	2	M=-1	M=-1	5	6	7	8	9	10	11	12
Верхний пояс	1-В	+0,454	0	0	+4,92	0	0	-	-	+4,92	-
	3-Г	+0,267	+0,090	-21,90	-	-	-	-	-	-	-21,90
	4-Д	+0,267	+0,090	-21,90	-	-	-	-	-	-	-21,90
	6-Е	+0,144	+0,144	-23,70	-	-	-	-	-	-	-23,70
	7-Ж	+0,144	+0,144	-23,70	-	-	-	-	-	-	-23,70
	9-И	+0,090	+0,267	-21,90	-	-	-	-	-	-	-21,90
	10-К	+0,090	+0,267	-21,90	-	-	-	-	-	-	-21,90
	12-Л	0	+0,454	0	0	+4,92	0	0	+9,01	+9,01	0
Нижний пояс	2-Н	-0,348	-0,050	+13,90	-3,77	-0,54	-	-	-	+13,90	-
	5-Н	-0,198	-0,118	+24,30	-2,14	-1,28	-	-	-	+24,30	-
	8-Н	-0,118	-0,198	+24,30	-1,28	-2,14	-	-	-	+24,30	-
	1-Н	-0,050	-0,348	+13,90	-0,54	-3,77	+13,29	+0,07	-6,88	+13,90	-6,16*
Раскосы	1-2	-0,136	+0,086	-18,10	-1,47	+0,71	-17,30	-0,41	+1,60	+10,88	-18,86
	2-3	+0,108	-0,050	+10,25	+1,17	-0,54	+9,84	+0,33	-1,21	-	-
	4-5	-0,096	+0,044	-3,45	-1,04	+0,48	-3,11	-0,29	+1,07	-	-4,21
	5-6	+0,080	-0,038	+0,95	+0,87	-0,41	+0,92	+0,24	-0,92	+1,41	-
	7-8	-0,038	+0,080	+0,95	-0,41	+0,87	+0,92	-0,12	+1,94	+2,74	-
	8-9	+0,044	-0,096	-3,45	+0,48	-1,04	-3,11	+0,13	-2,20	-	-5,32
	10-11	-0,050	+0,108	+10,25	-0,54	+1,17	+9,84	-0,15	+2,62	+12,30	-
	11-12	+0,066	-0,136	-18,10	+0,71	-1,47	-17,30	+0,20	-3,30	-	-20,40
Стойки	1-А	-	-	-1,48	-	-	-1,41	-	-	-	-1,48
	3-4	-	-	-4,06	-	-	-3,91	-	-	-	-4,06
	6-7	-0,030	-0,030	-1,65	-0,32	-0,32	-1,58	+0,04	-0,60	-	-2,29
	9-10	-	-	-4,06	-	-	-3,91	-	-	-	-4,06
	12-М	-	-	-1,48	-	-	-1,41	-	-	-	-1,48

*) Усилие в нижнем поясе -6,16 вычислено вне таблицы.