

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ) ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Директор ЮТИ ТПУ
_____ Д.А. Чинахов
« ____ » _____ 2020 г.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
Задания и методические указания по выполнению курсового проекта
для студентов заочной формы обучения
направления 15.03.01 «Машиностроение»
профиль «Оборудование и технология сварочного производства»

Издательство
Юргинского технологического института (филиал)
Томского политехнического университета
2020

УДК 621.791

Проектирование сварных конструкций: Задания и методические указания по выполнению курсового проекта для студентов заочной формы обучения направления 15.03.01 «Машиностроение», профиль «Оборудование и технология сварочного производства».

Составитель

К.т.н., доцент ЮТИ

А.В. Крюков

Рецензенты

К.т.н., доцент ЮТИ

Д.П. Ильященко

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром ЮТИ «__» _____ 2020 г.

Общие положения

Фермами называются решётчатые конструкции, работающие, как и балки, на изгиб. Конструкция фермы состоит из отдельных стержней, которые соединяются в узлах и образуют геометрически неизменяемую систему. Нагрузка на ферму действует, как правило, в узлах, поэтому во всех её стержнях возникают только продольные усилия сжатия или растяжения при работе в целом на изгиб. Благодаря этому металл в фермах используется более рационально, чем в балках, и они экономичнее балок по массе, но более трудоёмки в изготовлении. Поэтому применяют фермы для перекрытия больших пролётов при относительно небольших нагрузках. В современном строительстве фермы применяют в самых разнообразных сооружениях.

Фермы состоят из верхнего и нижнего поясов, соединённых между собой решёткой из раскосов и стоек. Расстояние между узлами решётки фермы называется панелью, расстояние между её опорами – пролётом. Разнообразие областей применения и конструктивных решений ферм позволяет классифицировать их по различным признакам;

по назначению – фермы мостов, покрытия (стропильные и подстропильные), транспортные эстакады, грузоподъёмных кранов, гидротехнических затворов и других сооружений;

по очертанию поясов – фермы с параллельными поясами, полигональные, арочные и треугольные. Очертание поясов зависит главным образом от назначения фермы и принятой конструктивной схемы всего сооружения;

по системе решётки – фермы с треугольной решёткой и треугольной с дополнительными стойками решёткой, фермы с раскосной, шпренгельной решёткой и решётками специальных типов: крестовой, ромбической, полураскосной.

Система решётки зависит от схемы приложения нагрузок и специальных требований к ферме. Наиболее проста треугольная решётка. Дополнительные стойки ставят в тех случаях, когда в месте их расположения прикладываются сосредоточенные силы или когда хотят уменьшить длину панели верхнего, сжатого пояса.

Особенностью раскосной решётки является то, что все раскосы имеют усилия одного знака, а стойки – противоположного; при восходящем направлении раскосов стойки сжаты, а при нисходящем – растянуты. Шпренгельная решётка применяется при более частом приложении сосредоточенных сил к верхнему поясу. Фермы с крестовой решёткой применяются обычно при двухсторонней нагрузке. Крестовые раскосы проектируют из гибких элементов или тяжёлых; они воспринимают только растягивающие усилия, а при сжатии выключаются из работы. Благодаря этому фермы с крестовой решёткой рассчитываются как статически определяемые системы. Решётки ромбическая и

полурабкосная обладают повышенной жёсткостью и применяются иногда в конструкциях с большими поперечными силами.

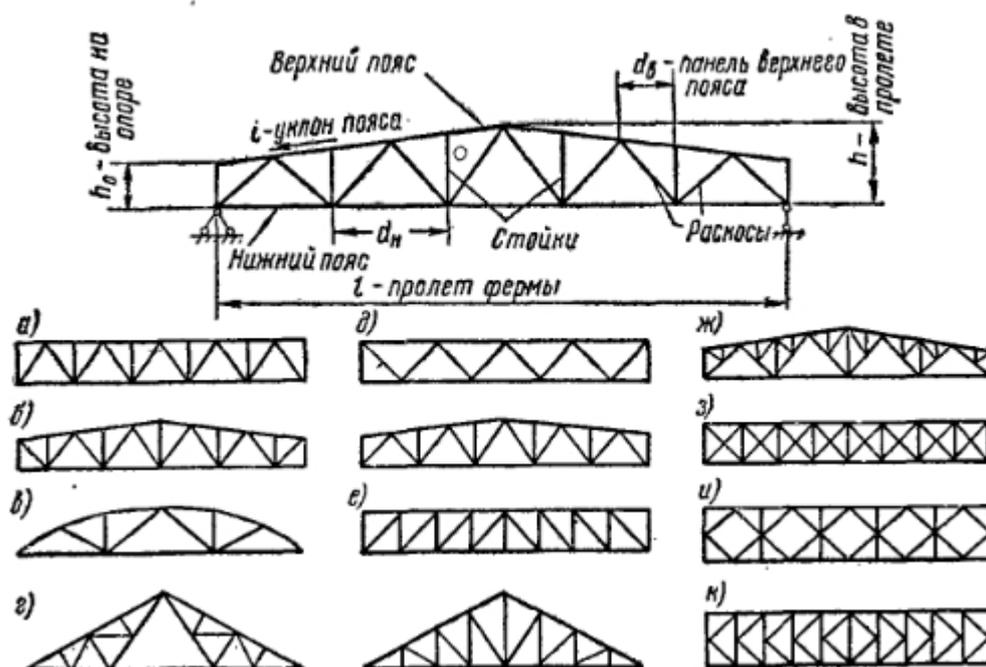


Рисунок 1 Очертания поясов ферм и типы решётки:

- а – с параллельными поясами; б – полигональные; в – арочные (сегментные); г – треугольные; д – с треугольной решёткой; е – с раскосной решёткой; ж – со шпренгельной решёткой;
- з, и, к – со специальными решётками

Компоновка фермы

Расчётная высота фермы h в коньке (по осям элементов на схеме) не должна превышать 3,8 м с тем, чтобы полная высота (с учётом размеров стержней и выступающих косынок) не выходила за пределы железнодорожного габарита 3,9 м.

Если длина фермы такова, что даже при предельно допустимом отношении h/L ($1/9$ для полигональной фермы и $1/10$ для ферм с параллельными поясами) высота фермы h выходит за пределы железнодорожного габарита, приходится идти на изготовление фермы на месте монтажа или на разбивку фермы (с помощью монтажных стыков) на габаритные секции с высотой менее 3,9 м.

Желательно, чтобы высота фермы на опоре $h_{оп}$ для полигональных ферм была в пределах $1/11 \div 1/15$ длины фермы. $h_{оп}$ вычисляется по принятой высоте в коньке и принятому уклону поясов и округляется с точностью до 100 мм. Стандартной для цехов в России является высота 2200 мм. Ей соответствует стандартный набор оконных переплётов.

Стандартный шаг ферм для промышленных зданий 6 м, 12 м. В данном учебном проекте рекомендуется использовать шаг 6 м.

Чтобы обеспечить свободное расширение и сжатие конструкций здания цеха при изменении температуры, при длине цеха свыше 60 м желательно, а при длине свыше 100 м обязательно разбивать его на температурные отсеки, каждый из которых может расширяться или сжиматься самостоятельно. Длина температурного отсека 60 ÷ 100 м. Крайние фермы смежных отсеков опираются на самостоятельные колонны. Расстояние между продольными осями этих ферм обычно 400 мм.

Конструкции покрытий

В конструкциях покрытий наибольшее распространение получили два конструктивных решения: с применением продольных прогонов и без них. В первом случае по стропильным фермам укладывают с шагом 1,5 или 3 м лёгкие несущие элементы – прогоны, на которые опираются мелкогабаритные кровельные плиты; во втором – непосредственно на фермы кладут крупногабаритные плиты или панели, совмещающие функции прогонов и плит.

Наиболее простыми прогонами являются балки из прокатных швеллеров или двутавров (при шаге стропильных ферм 6 м). Прогоны устанавливают на верхний пояс фермы в её узлах.

Для покрытий по прогонам неотапливаемых зданий применяют мелкогабаритные железобетонные плиты с асфальтовой стяжкой (выравнивающим слоем) и рубероидным ковром, волнистые асбестоцементные листы усиленного профиля, волнистые листы из стали или алюминиевых сплавов, а также плоские стальные листы толщиной 3-4 мм.

Для тёплых кровель в качестве кровельных плит, укладываемых по прогонам, широко применяют стальной профилированный настил, армоцементные и асбестоцементные плиты.

Профилированные листы укладывают по прогонам, расположенным обычно через 3 м по разрезной или неразрезной схеме. Листы крепят к прогонам самонарезающими болтами.

Для беспрогонного покрытия широкое распространение получили различного вида крупнопанельные унифицированные железобетонные плиты шириной 1,5 и 3 м и длиной 6 и 12 м.

Определение нагрузок действующих на ферму

Воспользуемся программой сателлитом BeCT к SCAD Office для определения значений нагрузок.

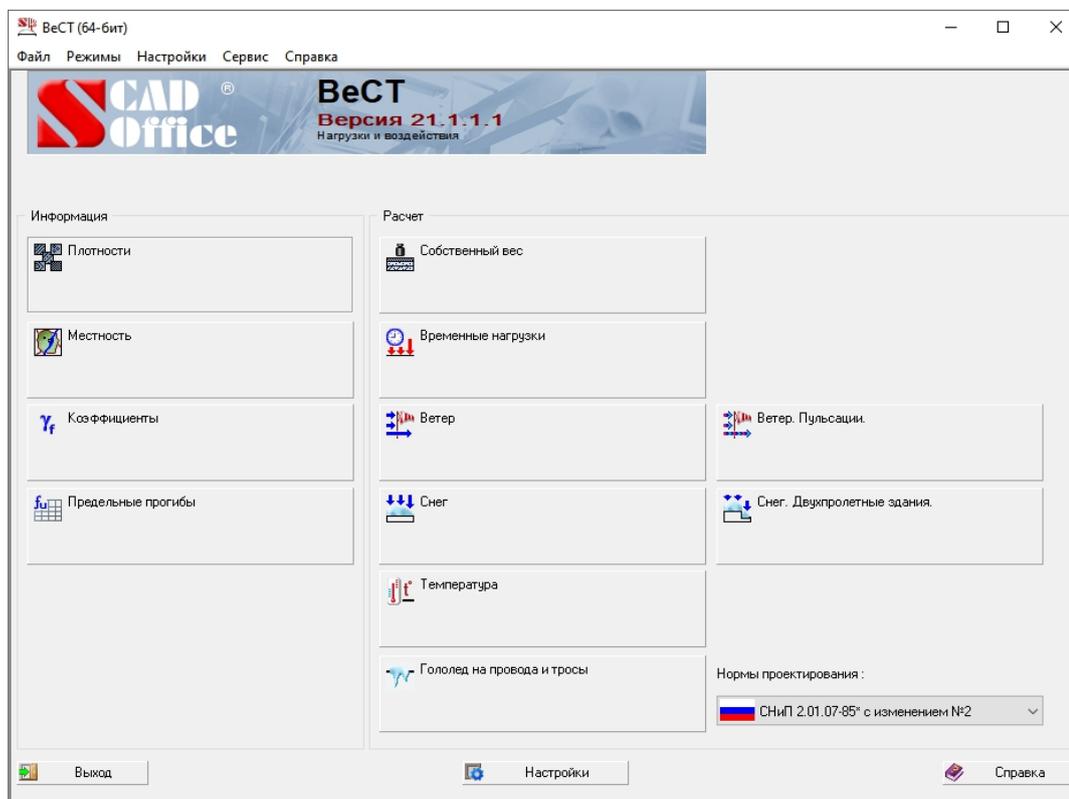


Рисунок 2 Основное окно программы «Вест»

В разделе «Местность» выберем один из городов России, в котором предполагается строительство.

Определим значения нагрузки от веса кровли и веса снега в зимний период. На следующих рисунках показаны окна соответствующих режимов программы «Вест».

При необходимости можно вручную подобрать элементы кровли из соответствующих разделов точно определить нагрузку. В рассматриваемом примере используем один из predetermined packets «Трёхслойная панель». Эта сборка соответствует широко распространённому в наше время элементу «сэндвичпанель». В указанную сборку входят два металлических настила, утеплитель и пароизоляция. Так как производителей «Сэндвичпанелей» много, то вес реальных элементов может отличаться. В этом случае составляющие компоненты можно заменить или удалить.

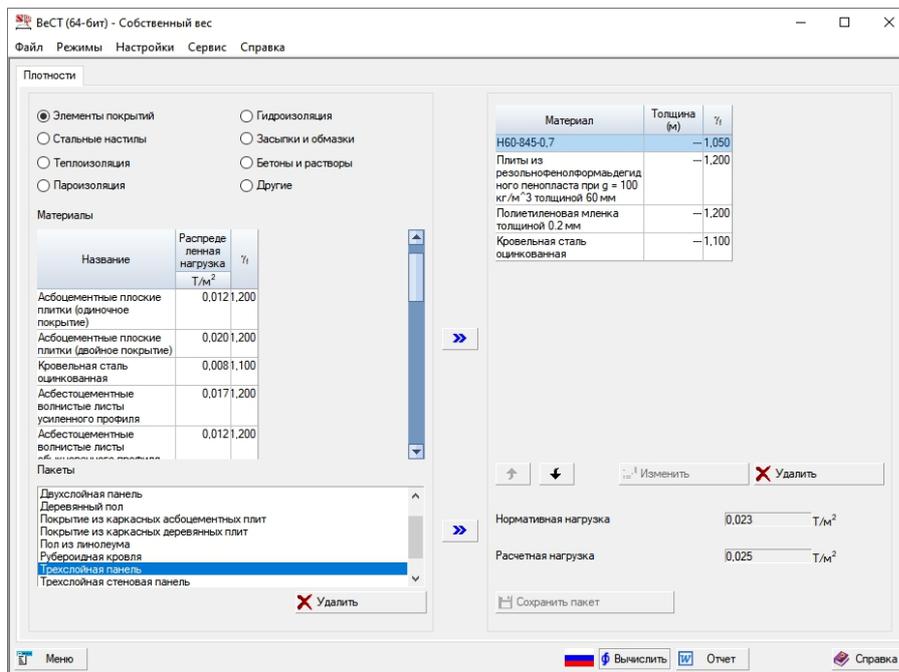


Рисунок 3 Расчёт нагрузки от собственного веса кровли

При нажатии кнопки «Вычислить» программа вычислит величины расчётной и нормативной нагрузки. При необходимости можно сохранить отчёт в файл Microsoft Word.

Далее определим нагрузку от веса снега. Для этого зайдём в соответствующий раздел программы.

Для определения значений нормативной и расчётной нагрузки необходимо заполнить геометрические размеры здания.

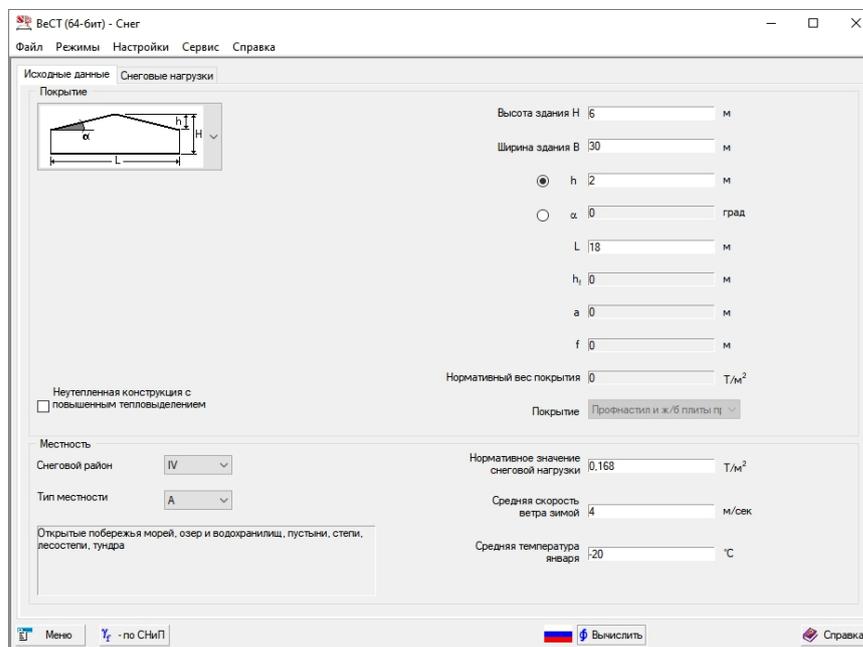


Рисунок 4 Расчёт нагрузки от снега

Полученные значения используются для загрузки фермы.

Определение усилий в стержнях фермы

Усилия в стержнях фермы определяют графическим или аналитическим способом. В фермах с наклонными поясами проще находить усилия графическим способом при помощи диаграммы усилий Кремоны. Делается это в следующем порядке: определяют опорные реакции фермы, цифрами и буквами маркируют поля между силами и стержнями, строят диаграмму усилий, причём обход узлов выполняют с таким расчётом, чтобы в узле было не более двух неизвестных усилий. В фермах со шпренгелями узловые нагрузки первоначально собирают по основным узлам (как будто шпренгелей нет) и для такой схемы фермы строят диаграмму усилий. Затем отдельно рассматривают шпренгельный элемент как самостоятельную ферму, и в ней при помощи диаграммы Кремоны находят усилия от силы на стойку шпренгеля. После этого к усилиям основной фермы добавляют усилия от шпренгельного элемента на участках их совпадения, которые и будут расчётными для шпренгельной фермы. Для схем с фонарём диаграмму Кремоны для фонаря строят отдельно.

Расчётные длины стержней ферм

Стержни ферм работают на продольные усилия сжатия растяжения. Несущая способность сжатого стержня (определяемая потерей устойчивости) зависит от его расчётной длины:

$$l_p = \mu l,$$

где μ – коэффициент, зависящий от способа закрепления концов стержня;

l – геометрическая длина стержня (расстояние между центрами узлов), см. таблицу 1.

Таблица 1

Расчетные длины стержней

Направление продольного изгиба стержня	Расчётная длина		
	поясов	опорных раскосов и стоек	промежуточных раскосов и стоек
В плоскости фермы.	l	l	$0,8l$
Из плоскости фермы.	l_1	l	l

Подбор сечений стержней ферм

Стропильные и подстропильные фермы для покрытий проектируются большей

частью с тавровыми сечениями из парных уголков. Такие сечения очень удобны в конструктивном отношении, обеспечивая простое соединение стержней в узлах. Кроме этого, комбинируя типы уголков (равнополочные или неравнополочные) и их соединение в сечении (большими или малыми полками в сторону), можно конструировать стержни с различным радиусом инерции.

Подбор сечения сжатых стержней обычно начинают с элементов, имеющих большее усилие. Первоначально требуемую площадь двух уголков определяют по формуле:

$$F_{mp} = \frac{N}{\varphi R};$$

где N – расчётное усилие в стержне;

φ – коэффициент продольного изгиба, которым ориентировочно задаются: 0,7-0,9 при подборе поясов; 0,6-0,8 при подборе элементов решётки;

R – расчётное сопротивление стали.

Затем по сортаменту подбираются близкие по требуемой площади уголки, выписываются геометрические характеристики сечения из двух уголков и определяются гибкости стержня в обоих направлениях (в плоскости и из плоскости фермы) по формулам:

$$\lambda_x = \frac{l_x}{r_x} \quad \text{и} \quad \lambda_y = \frac{l_y}{r_y};$$

где l_x и l_y – расчётная длина стержня в плоскости и из плоскости фермы.

Для сжатых стержней следует выбирать по сортаменту уголки с наиболее тонкими полками, так как сечения из них обладают большей жёсткостью и несущей способностью (даже по сравнению с сечениями, имеющими большую площадь, но более толстостенными). Наибольшая гибкость стержней нормирована, она зависит от вида элемента фермы и её материала (стали или алюминиевых сплавов). Поэтому, определив гибкости стержней, их следует сравнить с предельными.

Удовлетворив условию предельной гибкости, проверяют напряжения в принятом сечении:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_{мин} F_{бр}} \leq R,$$

где $\varphi_{мин}$ – коэффициент продольного изгиба, принимаемый по большей из гибкостей λ_x или λ_y ;

F – площадь сечения выбранных уголков.

Если напряжение окажется больше расчётного сопротивления или значительно меньше его, то надо взять другие уголки и в том же порядке проверить их расчётом.

Усилия в панелях верхнего пояса фермы имеют различные значения, и, казалось бы, надо подбирать разные сечения. Однако такая ферма имела бы много стыков и была трудоёмка в изготовлении. Поэтому при пролётах ферм 18-24 м принимают единое сечение пояса по всей длине, а при больших пролётах пояс делают из двух сечений.

Длинные гибкие элементы решётки фермы могут быть легко погнуты, искривлены при перевозке, монтаже или других случайных воздействиях, поэтому напряжения в раскосах и стойках ферм (исключая опорный раскос) проверяют с введением коэффициента условий работы m , учитывающего эти факторы:

$$\sigma = \frac{N}{m\varphi F} \leq R$$

где $m = 0,8$ – для элементов решётки при гибкости их более 60.

Из этих же соображений для любых сечении стержней ферм не применяют уголки менее чем 50*4 мм.

Подбор сечения растянутых стержней также целесообразно начинать с элементов, имеющих наибольшие усилия. Требуемая площадь определяется по формуле

$$F = N / R.$$

Выбрав по сортаменту ближайшие по площади уголки, выписывают геометрические характеристики сечения, составленного из двух уголков, и определяют гибкости стержня в плоскости и из плоскости фермы. Если гибкость выбранного элемента не превосходит предельной, то проверяют фактические напряжения в стержне по формуле:

$$\sigma = N / F_{mp} \leq R$$

Усилия в раскосах по мере их приближения к середине фермы уменьшаются, поэтому фактором, определяющим сечение средних раскосов, является предельная гибкость. Если средние раскосы имеют небольшое растяжение (примерно до 100 кН), то при случайной односторонней нагрузке (например, монтаже плит покрытия, очистке снега и др.) усилие может уменьшиться и перейти в сжатие. Учитывая это, в средних растянутых раскосах не допускают гибкость более 150 (подбирают по сжатой гибкости).

Если при подборе сечений верхних или нижних поясов принимаются различные по длине сечения, то необходимо следить за тем, чтобы смещение центров тяжести уголков (эксцентриситет осей) не превышало 5% высоты пояса, иначе в узле возникнут

значительные изгибающие моменты.

При определении радиусов инерции сечения из двух уголков необходимо знать расстояние в свету между параллельными полками, которое определяется толщиной фасонки фермы. Эта толщина зависит от усилий в стержнях фермы и может быть принята по таблице 2. Фасонки обычно принимают одинаковой толщины, однако в фермах больших пролётов допускается опорные фасонки делать на 2 мм толще, чем промежуточные.

Таблица 2

Рекомендуемые толщины фасонки

Наибольшее расчётное усилие в опорном раскосе, кН	До 200	200-450	450-750	750-1150	1150-1650	1650-2250	2250-3000	3000-3800	До 5000
Толщина фасонки, мм	8	10	12	14	16	18	20	22	25

Конструирование узлов

Осевые линии стержней фермы образуют её геометрическую схему.

Сначала к осевым линиям привязывают поясные уголки. Элементы располагают на геометрической схеме так, чтобы центры тяжести сечения совпадали с осевыми линиями. Чтобы уменьшить сварочные напряжения, края элементов решётки не доводят до поясов на расстояние 40-50 мм.

Далее рассчитывается необходимая длина швов для крепления стержней в узле, и по этой длине швов определяют требуемые размеры фасонки.

Длины швов рассчитывают по формулам:

$$l_{ш}^{об} = \frac{N \frac{b-z}{b}}{2 \cdot 0.7 h_{ш} R_y^{св}};$$

$$l_{ш}^n = \frac{N \frac{z}{b}}{2 \cdot 0.7 h_{ш} R_y^{св}},$$

где z – расстояние от центра тяжести уголка до его обушка;

b – ширина полки уголка.

Раскосы и стойки крепят к узловым фасонкам на расчётные усилия в этих стержнях. Крепление поясов к фасонкам в тех случаях, когда сечение поясов не изменяется, рассчитывается на разность усилий в смежных панелях пояса. Эти швы по расчёту часто получаются небольшой длины, однако их обычно принимают сплошными по всей длине

фасонки минимальной толщины.

Разность усилий в поясе, где к нему подходят только стойки, равна нулю. Крепление стойки к фасонке и пояса к фасонке здесь производится на расчётное усилие в стойке. При опирании на верхний пояс стропильных ферм крупнопанельных железобетонных плит, когда толщина полок уголков при шаге ферм 6 м составляет менее 10 мм, а при шаге ферм 12 м – менее 14 мм, целесообразно усиливать поясные уголки в местах опирания.

Если уголки пояса прерываются в узле, они должны быть перекрыты уголковыми или листовыми накладками. Решение с листовыми накладками более универсальное, так как уголковыми накладками можно перекрывать уголки только с одинаковой толщиной полок. Работа узла с прерванными поясами достаточно сложна, поэтому рассчитывается он в значительной степени условно. Уголок с большим усилием обычно заводится на 300-500 мм за центр узла, между соединяемыми поясами оставляют зазор 40-50 мм. Толщину накладки принимают не менее толщины фасонки, а площадь её должна быть не менее площади выступающего пера меньшего пояса.

Чтобы сечения элементов ферм из двух уголков работали как единый стержень, эти уголки соединяются между собой прокладками. Соединительные прокладки располагаются по длине сжатых стержней на расстоянии $l \leq 40r$, по длине растянутых стержней $l \leq 80r$ (где r – радиус инерции уголка относительно главной оси, параллельной плоскости расположения прокладок), причём между узлами должно быть не менее двух прокладок.

При отсутствии соединительных прокладок под воздействием сжимающей силы каждый уголок работал бы отдельно. Несущая способность двух отдельных уголков меньше, чем несущая способность тех же уголков, но соединённых прокладками, так как одиночный уголок имеет значительно большую гибкость. Прокладки делают шириной 60-80 мм, длиной на 20-50 мм больше ширины уголков. Для всех уголков одной фермы следует иметь не более двух - трёх типоразмеров прокладок.

Требования к работе

Графическая часть проекта состоит из трёх листов формата А1 (формат 594x841 мм). По согласованию с преподавателем, ведущим проект, количество листов может быть сокращено или увеличено.

Чертежи, схемы и таблицы должны быть выполнены в соответствии с требованиями ЕСКД (ГОСТ 2.301-68 и др.).

На первом листе графической части отображают диаграммы Максвелла-Кремоны для симметричной, асимметричной и единичной нагрузки. Результаты расчёта

напряжений в стержнях фермы сводятся в таблицу.

На Втором листе помещают общий вид фермы в совмещённом масштабе: осевые линии вычерчиваются в одном из масштабов 1:25, 1:50, 1:75, 1:100, а стержни и косынки вычерчиваются в более крупном (1:10, 1:20) масштабе, обеспечивающем наглядность. Оставшееся место занимают чертежами узлов фермы. Узлы вычерчивают в масштабе 1:5.

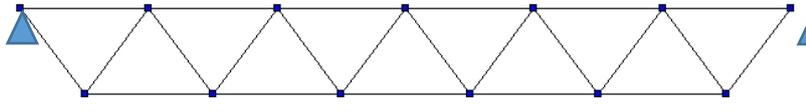
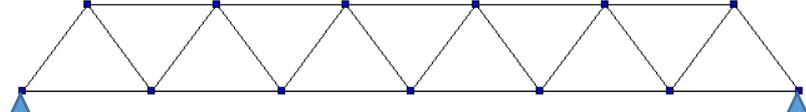
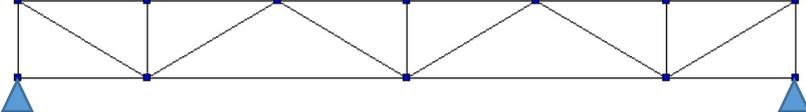
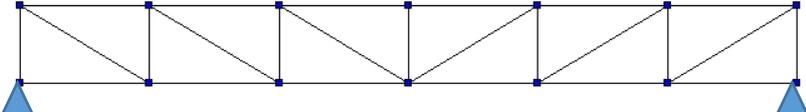
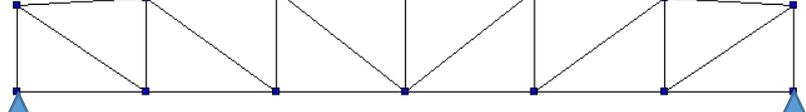
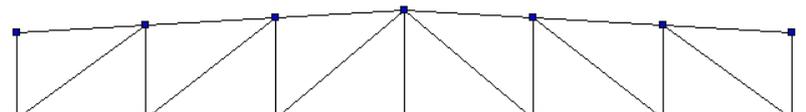
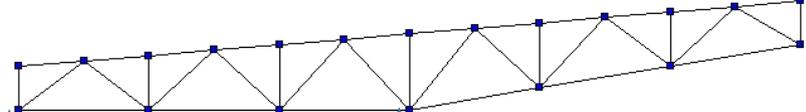
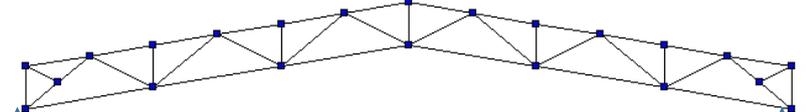
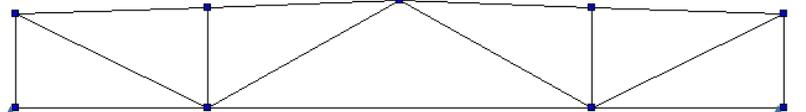
На третьем листе изображают остальные узлы фермы, связи и узлы крепления связей и дают детализовку отдельных элементов ферм.

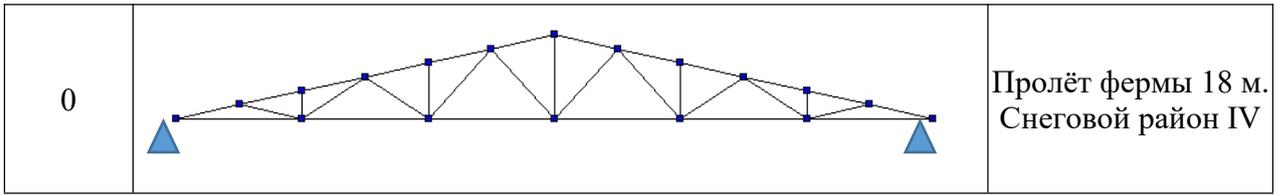
К проекту прилагается пояснительная записка. В записке приводятся и поясняются все расчёты, сделанные при проектировании.

Выбор варианта задания

Конструктивное оформление фермы выбирается из таблицы задания. Номер варианта определяется по последней цифре зачётной книжки.

Задания для проектирования

№ варианта	Схема фермы	
1		Пролёт фермы 18 м. Снеговой район IV
2		Пролёт фермы 15 м. Снеговой район V
3		Пролёт фермы 16 м. Снеговой район III
4		Пролёт фермы 18 м. Снеговой район VI
5		Пролёт фермы 12 м. Снеговой район V
6		Пролёт фермы 18 м. Снеговой район II
7		Пролёт фермы 14 м. Снеговой район V
8		Пролёт фермы 16 м. Снеговой район IV
9		Пролёт фермы 15 м. Снеговой район VI



Список используемой литературы

1. Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций: Учебное пособие. М.: Высшая школа, 1982. – 272 с.
2. Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Технология изготовления, автоматизация производства и проектирование сварных конструкций: Учебное пособие. М.: Высшая школа, 1983. – 344 с.
3. Мандриков А.П., Лялин И.М. Проектирование металлических конструкций: Учебное пособие. М.: Стройиздат, 1973.
4. Васильев А.А. Металлические конструкции: Учебное пособие. М.: Стройиздат, – 1968.
5. СНИП-П-23-81. Стальные конструкции.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Задания и методические указания по выполнению курсового проекта
для студентов заочной формы обучения
направления 15.03.01 «Машиностроение»
профиль «Оборудование и технология сварочного производства»

Составитель Крюков Артем Викторович

Печатается в редакции составителя

Подписано к печати _____ г.
Формат 60x84/16. Бумага офсетная.
Плоская печать. Усл. печ. л. _____. Уч.-изд. л. _____.
Тираж _____ экз. Заказ _____. Цена свободная.
ИПЛ ЮТИ ТПУ. Ризограф ЮТИ ТПУ.
652000, Юрга, ул. Московская, 17.