**1. Компоновка конструктивной схемы каркаса**

**1.1 Исходные данные**

Конструктивное решение промышленного здания:



Пролет здания L = 18 м., шаг колонн В = 6 м., длина здания ℓ = 24 м.

Температурный режим здания – холодный

Тип фермы – 6, тип решетки-6, длина панели решетки ℓ =1,5 м.



**2. Расчет стропильной фермы**

**2.1 Выбор расчетной схемы**

Ферма балочного типа опирается шарнирно (передает только опорные реакции).

**2.2 Сбор нагрузок**

На стропильную ферму действуют несколько видов нагрузки:

– постоянная нагрузка – собственный вес фермы, вес конструкции покрытия, вес конструкции связи, опорные моменты от жесткости узлов и т.д.

– временно кратковременная нагрузка – снеговая нагрузка, ветровая

– Постоянные нагрузки на покрытие.

Таблица 1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вид нагрузки | gН | гF | g |
| Гидроизоляция (4 слоя рубероида)  Пароизоляция (1 сл рубероида)  Профилированный настил  Стальные волнистые листы  Пароизоляция  Прогоны сплошные  У | 0,2  0,05  0,14  0,15  0,05  0,08  УgН=0,62 | 1,3  1,3  1,1  1,1  1,3  1,05 | 0,26  0,065  0,154  0,165  0,07  0,084  Уg=0,728 |

Определяем единичную силу действующую на узлы фермы от постоянной нагрузки: gПОС.= Уg\*В\*г = 0,728\*6\*0,95=4,1496 кн

Определяем единичную силу Р= gПОС\*a=4.1496\*1.5=6.2244 кН

– Временная нагрузка:

* Снеговая нагрузка

,



где п 5.7 [3], табл. 4 [2], п. 5.3. [2], (район строительства г. Иркутск -2) .



Диаграммы усилий от вертикальной единичной нагрузки

* Ветровая нагрузка

При шарнирном сопряжении на ферму передаются усилия от ветровой нагрузки. Ферма симметричная, определяем усилия в стержнях фермы при действии ветра слева.

– Активное давление ветра , где



=0,38 кн/мІ п. 6.4 [3], нормативный скоростной напор ветра, табл. 5, п. 6.4 район 3-г. Иркутск



с =0,8 п. 6.6 [3], аэродинамический коэффициент, учитывающий конфигурацию здания для активного давления ветра, с=0,6 – для пассивного давления

к = 1, п. 6.5. [3], коэффициент учитывающий изменение давления ветра по высоте: ***гf*** =1.4 п. 6.11/3/.к=0,59 при высоте верха фермы 8 м



– Пассивного давление ветра , где



- 0,38 кн/мІ п. 6.4 [3], нормативный скоростной напор ветра,



Определение аэродинамических коэффициентов на покрытии (приложение 4 схема 2 (2))

Tg a=8/12=0,666 (7), а=33 град

Се1=0,3

Се2=-0.4

Давление ветра на верхнем поясе на ветрен. стороны покрытия



Давление ветра на верхнем поясе подветренной стороны покрытия фермы



Расчетная узловая нагрузка на верхнем поясе на ветряной стороны покрытия фермы



**2.3 Статический расчет**

Статический расчет фермы производим от каждого вида нагрузки. При расчете определяем усилия в каждом стержне фермы. Расчет фермы производим графически, т.е. построение диаграммы Максвелла-Кремоны. (рис. 7, рис. 8) Результаты расчета сводятся в таблицу усилий.

Ветер справа=ветер слева

Расчет усилий в стержнях фермы

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № стержня | Усилия, Р=1 | Усилия от постоян нагр, Р=6.23, кН | Усилия от снеговой нагрузки,  Р=11,52, кН | | Усилия от ветровой нагрузки | | | | Расчетные усилия, максимальные, Nmax, кН | | |
| слева | | справа | |
| ш=1 | ш=0,9 | ш=1 | ш=0,9 | ш=1 | ш=0,9 | № усилий | Сжатие: (–) | Растяжение: (+) |
| № усилий | | **1** | **2а** | **2б** | **3а** | **3б** | **4а** | **4б** |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| В-П |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| А-1 | 2,1 | 12,78 | 24,192 | 21,77 | 1.5255 | 1.373 | 1.5255 | 1.373 | 1.2.3.4 |  | 40 |
| Б-2 | 2,1 | 12,78 | 24,192 | 21,77 | 1.0926 | 0.983 | 1.0926 | 0.983 | 1.2.3.4 |  | 39.16 |
| В-5 | -5,5 | -29,82 | -63,36 | -57,02 | 0.0289 | 0.026 | 0.0289 | 0.026 | 1.2 | 93.18 |  |
| Г-6 | -5,5 | -29,82 | -63,36 | -57,02 | -0.4041 | -0.3637 | -0.4041 | -0.3637 | 1.2.3.4 | 94 |  |
| Д-8 | -9,7 | -58,8 | -111,74 | -100,5 | -0.6449 | -0.58 | -0.6449 | -0.58 | 1.2.3.4 | 171.8 |  |
| Е-9 | -9,6 | -58,8 | -110,6 | -99,54 | -1.0778 | -0.97 | -1.0778 | -0.97 | 1.2.3.4 | 171.5 |  |
| Ё-11 | -9,3 | -56,6 | -107,14 | -96,42 | 0.5625 | 0.5 | 0.5625 | 0.5 | 1.2 | 203.56 |  |
| Ж-12 | -9,2 | -56,6 | -105,9 | -95,31 | 0.1296 | 0.1166 | 0.1296 | 0.1166 | 1.2 | 162.5 |  |
| З-14 | -9,2 | -56,6 | -105,9 | -95,31 | 1.9591 | 1.76 | 1.9591 | 1.76 | 1.2 | 162.5 |  |
| И-15 | -9,2 | -56,6 | -105,9 | -95,31 | 1.4437 | 1.3 | 1.4437 | 1.3 | 1.2 | 162.5 |  |
| К-17 | -9,2 | -56,6 | -105,9 | -95,31 | 3.1542 | 2.84 | 3.1542 | 2.84 | 1.2 | 162.5 |  |
| Л-18 | -9,7 | -58,8 | -111,74 | -100,5 | 2.6388 | 2.37 | 2.6388 | 2.37 | 1.2 | 170.54 |  |
| М-20 | -5,5 | -29,82 | -63,36 | -57,02 | 1.5063 | 1.356 | 1.5063 | 1.356 | 1.2 | 93.18 |  |
| Н-21 | -5,5 | -29,82 | -63,36 | -57,02 | 1 | 0.9 | 1 | 0.9 | 1.2 | 93.18 |  |
| О-24 | 2,1 | 12,78 | 24,192 | 21,77 | -1.3895 | -1.25 | -1.3895 | -1.25 | 1.2 |  | 37 |
| П-25 | 2,1 | 12,78 | 24,192 | 21,77 | -1.9044 | -1.714 | -1.9044 | -1.714 | 1.2 |  | 37 |
| НП |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1-Т | -2 | -12,4 | -23,04 | -20,74 | 6.175 | 5.54 | 6.175 | 5.54 | 1.2 | 35.44 |  |
| З-Т | -4,3 | -24,8 | -49,536 | -44,58 | 4.485 | 4.036 | 4.485 | 4.036 | 1.2 | 74.336 |  |
| 4-С | -4,3 | -24,8 | -49,536 | -44,58 | 4.485 | 4.036 | 4.485 | 4.036 | 1.2 | 74.336 |  |
| 7-С | 8,3 | 49,6 | 95,616 | 86,05 | 7.093 | 6.384 | 7.093 | 6.384 | 1.2.3.4 |  | 159.4 |
| 10-С | 9,5 | 57,87 | 109,44 | 98,5 | 5.709 | 5.138 | 5.709 | 5.138 | 1.2.3.4 |  | 178.73 |
| 13-С | 8,3 | 49,6 | 95,616 | 86,05 | 3.327 | 2.99 | 3.327 | 2.99 | 1.2.3.4 |  | 151.87 |
| 16-С | 9,5 | 57,87 | 109,44 | 98,5 | 0.6073 | 0.546 | 0.6073 | 0.546 | 1.2.3.4 |  | 168.53 |
| 19-С | 8,3 | 49,6 | 95,616 | 86,05 | -0.604 | -0.544 | -0.604 | -0.544 | 1.2 |  | 145.2 |
| 22-С | -4,4 | -24,8 | -50,688 | -45,62 | 4.218 | 3.796 | 4.218 | 3.796 | 1.2 | 96.3 |  |
| 23-Р | -4,4 | -24,8 | -50,688 | -45,62 | 4.218 | 3.796 | 4.218 | 3.796 | 1.2 | 96.3 |  |
| 25-Р | -2 | -12,4 | -23,04 | -20,74 | 2.109 | 1.9 | 2.109 | 1.9 | 1.2 | 35.44 |  |
| Раскос | | | | | | | | | | | |
| 5–4 | 10,4 | 60,07 | 119,8 | 107,82 | 2.5737 | 2.316 | 2.5737 | 2.316 | 1.2.3.4 |  | 185 |
| 3–2 | 2,5 | 13,86 | 28,8 | 25,92 | 1.8895 | 1.7 | 1.8895 | 1.7 | 1.2.3.4 |  | 46.44 |
| 8–7 | 1,6 | 10,52 | 18,432 | 16,588 | -0.6964 | -0.627 | -0.6964 | -0.627 | 1.2 |  | 29 |
| 7–6 | -4,3 | -29,23 | -49,536 | -44,58 | -0.4327 | -0.39 | -0.4327 | -0.39 | 1.2.3.4 | 79.63 |  |
| 11–10 | -0,9 | -5,32 | -10,368 | -9,33 | -2.019 | -1.82 | -2.019 | -1.82 | 1.2.3.4 | 19.7 |  |
| 10–9 | -0,2 | -1,5 | -2,304 | -2,0736 | 1.6074 | 1.45 | 1.6074 | 1.45 | 1.2 | 24.54 |  |
| 14–13 | 2,1 | 11,88 | 24,192 | 21,77 | -3.2816 | -2.952 | -3.2816 | -2.952 | 1.2 |  | 36 |
| 13–12 | 2,1 | 11,88 | 24,192 | 21,77 | 2.8226 | 2.54 | 2.8226 | 2.54 | 1.2.3.4 |  | 38.9 |
| 17–16 | -0,2 | -1,5 | -2,304 | -2,0736 | -1.6357 | -1.47 | -1.6357 | -1.47 | 1.2.3.4 | 7.07 |  |
| 16–15 | -1 | -6,4 | -11,52 | -10,37 | 2.2572 | 2.03 | 2.2572 | 2.03 | 1.2 | 17.9 |  |
| 20–19 | -4,1 | -29,22 | -47,232 | -42,5 | 1.2766 | 1.15 | 1.2766 | 1.15 | 1.2 | 76.45 |  |
| 19–18 | 1,5 | 10,52 | 17,28 | 15,55 | 0.43 | 0.387 | 0.43 | 0.387 | 1.2.3.4 |  | 28.66 |
| 24–23 | 2,5 | 13,86 | 28,8 | 25,92 | -2.3591 | -2.123 | -2.3591 | -2.123 | 1.2 |  | 42.66 |
| 22–21 | 10,4 | 60,07 | 119,8 | 107,82 | -4.3819 | -3.944 | -4.3819 | -3.944 | 1.2 |  | 179.9 |
| Стойка |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2–1 | -1 | -6,2 | -11,52 | -10,37 | -0.845 | -0.76 | -0.845 | -0.76 | 1.2.3.4 | 19.41 |  |
| 4–3 | -8 | -49,6 | -92,16 | -82,94 | -2.994 | -2.7 | -2.994 | -2.7 | 1.2.3.4 | 147.7 |  |
| 6–5 | -1 | -6,2 | -11,52 | -10,37 | -0.845 | -0.76 | -0.845 | -0.76 | 1.2.3.4 | 19.41 |  |
| 9–8 | -0,9 | -6,2 | -10,368 | -9,33 | -0.845 | -0.76 | -0.845 | -0.76 | 1.2.3.4 | 18.26 |  |
| 12–11 | -1 | -6,2 | -11,52 | -10,37 | -0.845 | -0.76 | -0.845 | -0.76 | 1.2.3.4 | 19.41 |  |
| 15–14 | -1 | -6,2 | -11,52 | -10,37 | 1.057 | 0.95 | 1.057 | 0.95 | 1.2 | 17.7 |  |
| 18–17 | -1 | -6,2 | -11,52 | -10,37 | 1.057 | 0.95 | 1.057 | 0.95 | 1.2 | 17.7 |  |
| 21–20 | -1 | -6,2 | -11,52 | -10,37 | 1.057 | 0.95 | 1.057 | 0.95 | 1.2 | 17.7 |  |
| 23–22 | -8 | -49,6 | -92,16 | -82,94 | 4.524 | 4.07 | 4.524 | 4.07 | 1.2 | 141.76 |  |
| 25–24 | -1 | -6.2 | -11,52 | -10,37 | 1,055 | 0,95 | 1,055 | 0,95 | 1,2 | 17,72 |  |

**2.4 Подбор сечений стержней фермы**

Стержни фермы рассчитываются, как центрально сжатые на устойчивость или как центрально растянутые на прочность.

Расчетная длина сжатого стержня в плоскости фермы и из плоскости:



где ***мx(y)*** – коэффициент расчетной длины при потере устойчивости в плоскости (***x-x***) и из плоскости (***y-y***) фермы табл. 11/1/; ***l0x(0y)*** – геометрическая длина стержня (расстояние между точками закрепления от смещения в плоскости ***x-x***(***y-y***)).

Точками закрепления узлов фермы от поперечного смещения могут являться связи, плиты покрытия, прогоны и т.п. Расчетная длина стержней заносится в таблицу 3.

В таблице производим расчет максимального усилия растяжения и сжатия в каждом стержне.

Принимаем марку стали ВСт3пс6–10 мм табл. 50 [1]; группа 2

Rуn = 245 мПа; Run = 370 мПа; Rу = 240 мПа; Ru = 240 мПа табл. 51 [1]

Подбор сечений сжатых стержней начинается с определения требуемой площади:



где ***N*** – расчетное сжимающее усилие, действующее в стержне, кН (табл. 2);

***гс*** =0,9 – коэффициент условий работы (табл. 6/1/); ***ц*** =0,99 – коэффициент продольного изгиба, определяется по табл. 72/1/ в зависимости от гибкости стержня л.

В первом приближении коэффициент ***ц*** можно определить по заданной гибкости:

* для поясов легких ферм ***л*** = 60ч80.
* для решетки легких ферм ***л***=100ч120.

По полученной требуемой площади по сортаменту подбирается подходящий профиль с условием ***Ax ≥ Aтр***. Из сортамента выписываются основные геометрические характеристики сечения: ***Ax, ix; iy***, результаты заносятся в таблицу 3.

Требуемая площадь сечения растянутого стержня определяется из условия прочности по формуле:



где ***N*** – расчетное растягивающее усилие, действующее в стержне (табл. 2), кН; ***гс*** – коэффициент условий работы (табл. 6/1/).

По требуемой площади по сортаменту подбирается подходящий профиль с условием ***Аx ≥ Атр***. Из сортамента выписываются основные геометрические характеристики сечения: ***Аx***, ***ix, iу***, результаты заносятся в таблицу 3.

По полученным усилиям подбираем сечения растянутых и сжатых стержней, производим проверки прочности для сжатых стержней:



для растянутых стержней:



проверка жесткости:

***лx(y)=lx(y)/ix(y)≤[л].***

**2.5 Конструирование и расчет узлов ферм**

Для построения узлов фермы и определения габаритов фасонок определяем длины сварных, соединяющих стержни.

Назначаем характеристики швов:

Сварка полуавтоматическая. Сварочная проволока Св 08. Расчетные характеристики сварного углового шва:

***Rwƒ=180*** МПа – табл. 56/1/; ***γwƒ=1*** – п. 11.2/1/; ***γс=1,1*** – табл. 6/1/; ***βƒ=0,7*** – табл. 34;

***Rwz=0,45Run=0,45⋅370=166.5*** МПа – табл. 3/1/; ***γс=1,1*** – табл. 6/1/; ***γwz=1***-п. 11.2/1/; ***βz=1*** – табл. 34;

Принимаем ***kƒ=5*** мм (табл. 38).

Для расчета принимается максимальная длина.

Полная длина сварного шва состоит из шва на обушке и шва на пере



где ; – длина сварного шва соответственно на обушке и на пере.



Длина шва на обушке и на пере определяется из равенства статических моментов относительно центра тяжести сечения создаваемых швом на обушке и швом на пере.

,



конструктивный ферма стропильный стержень

где ***h*** – высота сечения стержня; ***z0*** – расстояние от обушка до центра тяжести сечения.

Расчетные характеристики сварного углового шва:

разрушение по металлу шва



разрушение по границе сплавления:



Длина сварного шва определяется из выражения:

;



Полученные длины сварных швов приведены в таблице 4 «Расчетные длины сварных швов»

Таблица 4. Расчет длины сварных швов

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| №Стерж | Nmax | LwО | LwП | Lw |
| Верхний пояс | | | | |
| А-1 | 40 | 43,5 | 14,5 | 58 |
| Б-2 | 39.16 | 43 | 14 | 57 |
| В-5 | -93.18 | 101 | 34 | 135 |
| Г-6 | -94 | 102 | 34 | 136 |
| Д-8 | -171.8 | 186 | 62 | 248 |
| Е-9 | -171.5 | 186 | 62 | 248 |
| Ё-11 | -203.56 | 220 | 74 | 294 |
| Ж-12 | -162.5 | 176 | 59 | 235 |
| З-14 | -162.5 | 176 | 59 | 235 |
| И-15 | -162.5 | 176 | 59 | 235 |
| К-17 | -162.5 | 176 | 59 | 235 |
| Л-18 | -170.54 | 184 | 62 | 246 |
| М-20 | -93.18 | 101 | 34 | 135 |
| Н-21 | -93.18 | 101 | 34 | 135 |
| О-24 | 37 | 40 | 14 | 54 |
| П-25 | 37 | 40 | 14 | 54 |
| Нижний пояс | | | | |
| 1-Т | -35.44 | 38 | 13 | 51 |
| З-Т | -74.336 | 80 | 27 | 107 |
| 4-С | -74.336 | 80 | 27 | 107 |
| 7-С | 159.4 | 172 | 58 | 230 |
| 10-С | 178.73 | 193 | 65 | 258 |
| 13-С | 151.87 | 164 | 55 | 219 |
| 16-С | 168.53 | 182 | 61 | 243 |
| 19-С | 145.2 | 158 | 52 | 210 |
| 22-С | -96.3 | 104 | 35 | 139 |
| 23-Р | -96.3 | 104 | 35 | 139 |
| 25-Р | -35.44 | 38 | 13 | 51 |
| Раскосы | | | | |
| 5–4 | 185 | 200 | 67 | 267 |
| 3–2 | 46.44 | 50 | 17 | 67 |
| 8–7 | 29 | 31 | 11 | 42 |
| 7–6 | -79.63 | 86 | 29 | 115 |
| 11–10 | -19.7 | 22 | 7 | 29 |
| 10–9 | -24.54 | 27 | 9 | 36 |
| 14–13 | 36 | 39 | 13 | 52 |
| 13–12 | 38.9 | 42 | 14 | 56 |
| 17–16 | -7.07 | 7 | 3 | 10 |
| 16–15 | -17.9 | 19 | 7 | 26 |
| 20–19 | -76.45 | 82 | 28 | 110 |
| 19–18 | 28.66 | 31 | 11 | 42 |
| 24–23 | 42.66 | 104 | 35 | 139 |
| 22–21 | 179.9 | 195 | 65 | 260 |
| Стойки | | | | |
| 2–1 | -19.41 | 21 | 7 | 28 |
| 4–3 | -147.7 | 160 | 53 | 213 |
| 6–5 | -19.41 | 21 | 7 | 28 |
| 9–8 | -18.26 | 19 | 7 | 26 |
| 12–11 | -19.41 | 21 | 7 | 28 |
| 15–14 | -17.7 | 19 | 7 | 26 |
| 18–17 | -17.7 | 19 | 7 | 26 |
| 21–20 | -17.7 | 19 | 7 | 26 |
| 23–22 | -141.76 | 154 | 51 | 205 |
| 25–24 | -17,72 | 19 | 7 | 26 |

Минимальная длина шва 50 мм

**2.5 Узлы фермы**

Для избежания дополнительных усилий необходимо центрировать стержни в узлах по осям, проходящим через их центры тяжести с округлением до 5 мм. Для уменьшения действия сварочных напряжений стержни решетки не доводят до поясов на расстояние: ***а=6t+20 = 56 мм, а≤80*** мм

* где ***t = 6 мм*** – толщина фасонки. минимальная длина нахлеста 5***t=5\*6=30***, где ***t*** – максимальная толщина фасонки либо полки уголка.

# **Литература**

1. СНиП II – 23 – 81. Стальные конструкции. Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 96 с.
2. СНиП 2.01.07 – 85. Нагрузки и воздействия. Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 36 с.
3. Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов / Е.И. Беленя, В.А. Балдин, Г.С. Ведерников и др.; Под общей редакцией Е.И. Беленя. – 6-е изд., перераб. И доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 560 с.
4. Металлические конструкции. В 3-х т. Т. 1. Элементы конструкций: Учеб. Пособие для строит. Вузов / В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов и др.; Под ред. В.В. Горева. – М.: Высш. Шк. 1997. – 527 с.
5. Металлические конструкции. В 3-х т. Т.2 Конструкции зданий: Учеб. Пособие для строит. Вузов/ В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов и др.; Под ред. В.В. Горева. – М.: Высш. Шк. 1999. – 528 с.
6. Расчет стальных конструкций: Справ. пособие / Я.М. Лихтарников, Д.В. Ладыжский, В.М. Клыков. – 2-е изд., перераб. И доп. – Киев: Будивельник, 1984. – 386 с.
7. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Расчетно-теоретический. В 2-х т. Т. 1 /Под ред. А.А. Уманского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Стройиздат, 1972. –600 с.