

ФЕРМЫ

Фермой называется геометрически неизменяемая решетчатая конструкция, работающая на изгиб, элементы которой шарнирно соединены в узлах и работают на осевое растяжение или сжатие при узловом нагружении.

Допущение об идеальной шарнирности узлов противоречит действительной конструкции фермы, но довольно точно отражают фактическую работу ее элементов.

Расчет фермы по шарнирной схеме допускается, когда отношение высоты сечения к длине элемента не превышает $1/10$ в конструкциях, эксплуатируемых при $t \geq -40^\circ\text{C}$, и $1/15$ при $t < -40^\circ\text{C}$.

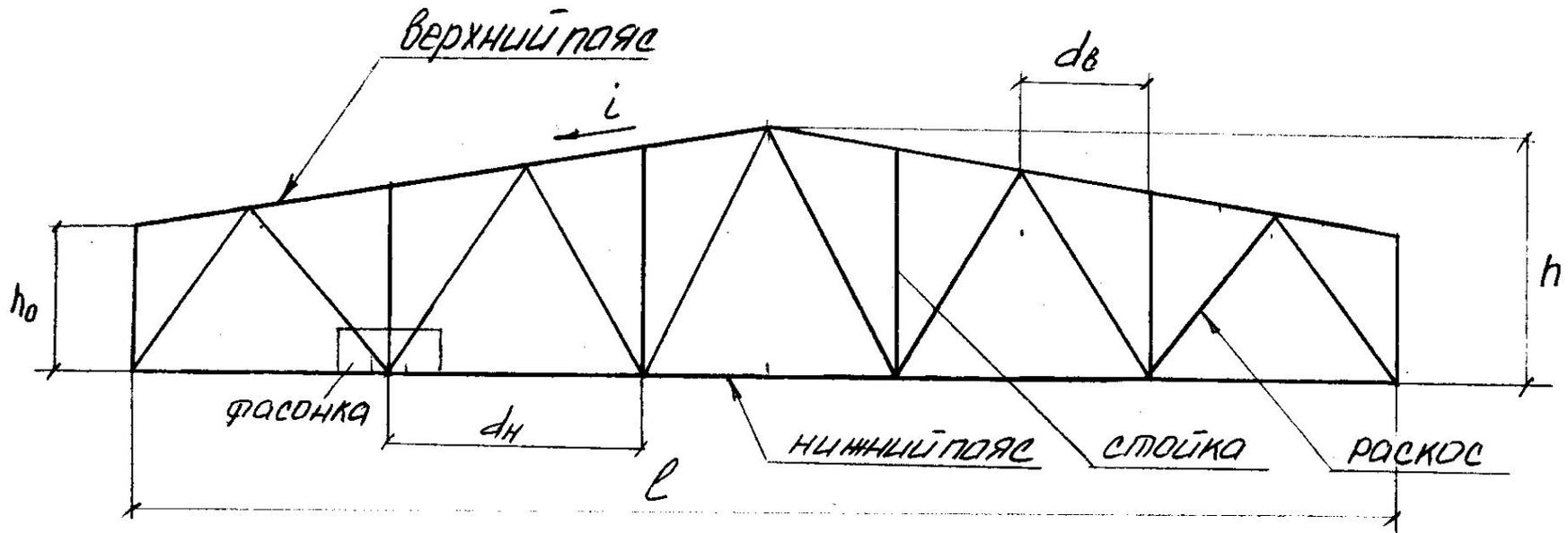
Фермы по сравнению с балками более экономичны по затрате металла.

Область применения ферм весьма обширна. Они используются в покрытиях зданий и сооружений для поддержания кровли (стропильные фермы), радио- и телебашнях, опорах линий электропередач, конструкциях пролетных строений мостов, подъемных кранов и т.д.



Классификация ферм

Фермы состоят из верхнего и нижнего поясов, соединенных между собой решеткой из раскосов и стоек. Расстояние между узлами решетки фермы называется панелью; расстояние между ее опорами - пролетом. Фасонка - деталь фермы, выполненная из листа для соединения стержней фермы в узле.



Разнообразие областей применения и конструктивных решений ферм позволяет классифицировать их по различным признакам:

по назначению - фермы мостов, покрытий (стропильные и подстропильные), транспортных эстакад, грузоподъемных кранов, гидротехнических затворов и других сооружений.

по очертанию поясов:

1- с параллельными поясами

2-трапециидальная

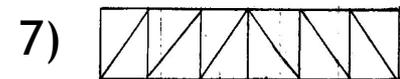
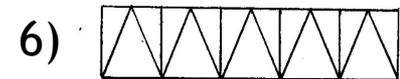
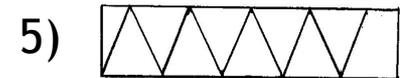
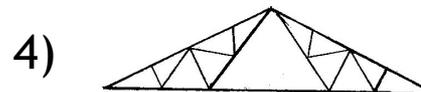
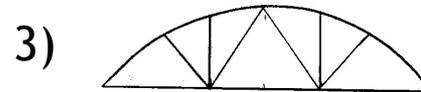
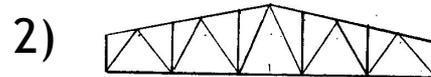
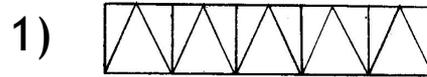
3- арочные

4-треугольные

5-с треугольной решеткой

6- с треугольной решеткой и дополнительными стойками

7- с раскосной решеткой.



Очертание поясов зависит главным образом от назначения фермы и принятой конструктивной схемы сооружения по системе решетки:

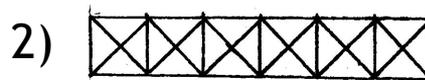
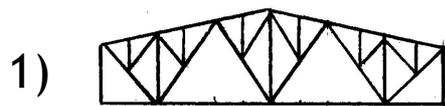
Решетки специальных типов:

1- со шпренгельной решеткой

2- крестовая

3- ромбическая

4- полураскосная.



Система решетки зависит от схемы приложения нагрузки и специальных требований к ферме. Наиболее проста треугольная решетка. 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 решетки является то, что все раскосы имеют усилия одного знака, а стойки - противоположного; при восходящем направлении раскосов стойки растянуты, а при нисходящем - сжаты.

Шпренгельная решетка применяется при более частом приложении сосредоточенных сил к верхнему поясу.

Фермы с крестовой решеткой применяются обычно при двусторонней нагрузке. Крестовые раскосы проектируют их гибких элементов или тяжей; они воспринимают только растягивающие усилия, а при сжатии выключаются из работы. Благодаря этому фермы с крестовой решеткой рассчитываются как статически определимые системы.

Ромбическая и полураскосная решетка обладают повышенной жесткостью и применяются в конструкциях с большими поперечными силами

- по виду статической схемы фермы: разрезные, неразрезные, консольные.

- по значению наибольших усилий в элементах фермы

легкие - пролетом l до 50 м и с усилием в поясах

$$N_{\max} \leq 5000 \text{ кн,}$$

тяжелые - с усилием в поясах $N_{\max} > 5000 \text{ кн,}$

по конструктивному решению - обычные, комбинированные и с предварительным напряжением.

Компоновка ферм

В задачу компоновки фермы входят определение ее рациональной схемы с учетом ряда требований: экономичности по затрате металла, простоты изготовления, транспортабельности, требований унификации и типизации. Эти требования часто противоречат между собой, поэтому нужно найти оптимальное решение, наилучшим образом удовлетворяющее одновременно комплексу требований.

Масса фермы зависит от отношения ее высоты к пролету. Усилия в поясах фермы возникают главным образом от изгибающего момента, а в решетке - от поперечной силы.

Чем больше высота фермы, тем меньше усилия в поясах и их масса, но с увеличением высоты фермы увеличивается длина элементов решетки и ее масса. Условно минимального расхода металла отвечает равенство массы поясов и массы решетки вместе с фасонками, что достигается при $h \approx 1/5 L$ (в балке масса поясов приблизительно равна массе стенки).

Столь большая высота неудобна при транспортировке. Ферму пришлось бы доставлять на строительную площадку отдельными элементами (россыпью) и собирать на месте монтажа.

Дополнительные затраты времени и средств при этом не окупаются экономией металла.

На практике стремятся к тому, чтобы при монтаже производилась только укрупнительная сборка фермы из двух половин (отправочных марок). Поэтому размеры фермы не должны выходить за пределы железнодорожного габарита (по вертикали 3,8 м, по горизонтали - 3,2 м). Наиболее удобными в изготовлении являются фермы с параллельными поясами. Одинаковые длины стержней поясов и решетки, одинаковое решение промежуточных узлов и минимальное количество поясных стыков создают условия для максимально возможной унификации конструктивных схем и делают такие фермы индустриальными. Благодаря преимуществам в изготовлении фермы с параллельными поясами постепенно вытесняют фермы трапецеидального очертания.

При компоновке фермы одновременно с выбором системы решетки устанавливают размеры панелей фермы, размеры которых должны отвечать оптимальному углу наклона раскосов. Из конструктивных соображений - рационального очертания фасонки в узле и удобства крепления раскосов - желателен угол, близкий к 45° .

Посредством унификации геометрических схем ферм и типизации конструктивной формы можно стандартизировать конструктивные детали ферм и перейти на массовое их изготовление с помощью специализированных станков и приспособлений.

В настоящее время унифицированы геометрические схемы стропильных ферм производственных зданий (18, 24, 30, 36 м), мостов, радиомачт, радиобашен, опор ЛЭП.

В основу унификации стропильных ферм с рулонной кровлей положены модуль пролета производственных зданий и панель $m=3$ м, уклон кровли $i=1,5$ %, высота ферм на опоре 3150 мм по наружным краям поясов, треугольная решетка с возможностью добавления шпренгеля при кровельных плитах шириной 1,5 м.

В фермах больших пролетов (более 36 м), а также в фермах из алюминиевых сплавов или из высокопрочных сталей возникают большие прогибы.

Провисание ферм предотвращается устройством строительного подъема, т.е. изготовлением ферм с обратным выгибом, который под действием нагрузки погашается, в результате чего ферма принимает проектное положение.

Расчет ферм

Расчет ферм выполняют в такой последовательности:

- 1) определяют нагрузку на ферму;
- 2) вычисляют узловые нагрузки;
- 3) определяют расчетные усилия в стержнях фермы методом строительной механики;
- 4) подбирают сечения стержней;
- 5) рассчитывают соединения стержней, узлы и детали.

Основные нагрузки на фермы-

а) постоянные нагрузки от веса кровли и собственного веса несущих конструкций покрытия;

б) нагрузка от снега;

в) прочие нагрузки, которые иногда прикладываются к фермам (подвесной транспорт, подвесной потолок, подвесные трубопроводы, воздействия рамных моментов и т.п.).

Постоянные нагрузки от веса кровли, собственного веса металлических конструкций ферм, связей по покрытию принимаются равномерно распределенными. Если к ферме прикладываются большие сосредоточенные силы (более 30-50 кН), то их учитывают по фактическому расположению.

Постоянная нагрузка на 1 м^2 горизонтальной проекции определяется по формуле

$$q_i = \frac{q_\phi}{\cos \alpha}$$

где q_ϕ - вес кровельной конструкции на 1 м^2 ;

α - угол наклона кровли к горизонту.

При уклонах кровли до 1/8 включительно можно принимать $\cos\alpha = 1$.

Расчетная погонная нагрузка на ферму определяется по формуле

$$q_1 = \gamma_f q_i B$$

где B - шаг ферм;

γ_f - коэффициент надежности по нагрузке.

Узловые нагрузки определяют умножением погонной нагрузки на длину панели верхнего пояса d .

$$F_1 = q_1 d$$

Нагрузка от снега, нормативная на 1 м² площади горизонтальной проекции покрытия, регламентируется СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия» и определяется по формуле

$$P_n = P_0 \cdot C$$

где P_0 - вес снегового покрова на 1 м², принимаемый в зависимости от района по карте, приведенной в СНиП;

C - коэффициент, зависящий от конфигурации кровли.

Расчетная нагрузка на 1 м^2 кровли определяется умножением нормативной нагрузки на коэффициент надежности по нагрузке γ_f , который принимается равным от 1,4 до 1,6 в зависимости от отношения нормативного веса покрытия к нормативному весу снегового покрова по таблицам.

Расчетную погонную нагрузку от снега на ферму находят умножением нагрузки с 1 м^2 кровли на шаг ферм B

$$q_2 = \gamma_f \cdot P_n \cdot B$$

Коэффициент C для однопролетных зданий и многопролетных зданий при сопряжении кровель в одном уровне (без фонарей) при угле наклона кровли $\alpha \leq 25^\circ$ принимают равными $C=1$; при $\alpha \geq 60^\circ$ равными $C=0$; промежуточные значения коэффициентов C определяются линейной интерполяцией.

Если здание имеет двускатное покрытие с углом наклона $20 \leq \alpha \leq 30^\circ$, то учитывают и второй вариант загрузки снегом; на одной половине - равномерно распределенная нагрузка с коэффициентом $C=0,75$ и на другой половине - равномерно распределенная нагрузка с коэффициентом $C=1,25$.

Для зданий с фонарями и при более сложных конфигурациях покрытия данные для определения снеговых нагрузок приведены в СНиП 2.01.07-85*.

Расчетные узловые нагрузки на ферму от веса снега также находят умножением расчетной погонной нагрузки на длину панели верхнего пояса d

$$F_2 = q_2 \cdot d$$

Прочие нагрузки: если есть какие-либо дополнительные нагрузки на ферму, их принимают в соответствии с заданием на проектирование. Эти нагрузки следует прикладывать к узлам фермы в виде сосредоточенных сил.

Определение усилий в стержнях фермы.

Усилия в стержнях фермы определяют графическим или аналитическим способом.

В фермах с шпренгелями узловые нагрузки первоначально собирают по основным узлам (как будто шпренгелей нет) и для такой схемы фермы определяют усилия в стержнях. Затем отдельно рассматривают шпренгельный элемент как самостоятельную ферму и в ней определяют усилия от силы на стойку шпренгеля P_m .

После этого к усилиям основной фермы добавляют усилия от шпренгельного элемента на участках их совпадения, которые и будут расчетными для шпренгельной фермы.

Иногда не все силы совпадают с узлами ферм. В этом случае продольные усилия в стержнях фермы находят также от всей нагрузки, собранной в сосредоточение силы по узлам фермы. Сила P_m , действующая между узлами, вызовет в стержне дополнительный местный изгибающий момент M_m (как в балке, перекинутой между узлами)

В результате такой элемент будет работать на внецентренное сжатие от продольной силы и местного изгибающего момента, что должно учитываться при подборе сечений. Учитывая неразрезность пояса, местные изгибающие моменты, найденные как для свободно опертых балок, могут быть уменьшены на 10 % для всех панелей, кроме опорной.

Местный изгиб сильно утяжеляет ферму по сравнению со шпренгельной фермой, однако шпренгельная решетка значительно увеличивает трудоемкость изготовления фермы.

Расчетные длины стержней ферм

Стержни ферм работают на продольные усилия сжатия или растяжения. Несущая способность сжатого стержня, определяемая потерей устойчивости, зависит от его расчетной длины

$$e_{ef} = \mu \cdot e$$

где μ - коэффициент приведения длины, зависящий от способа закрепления концов стержня;

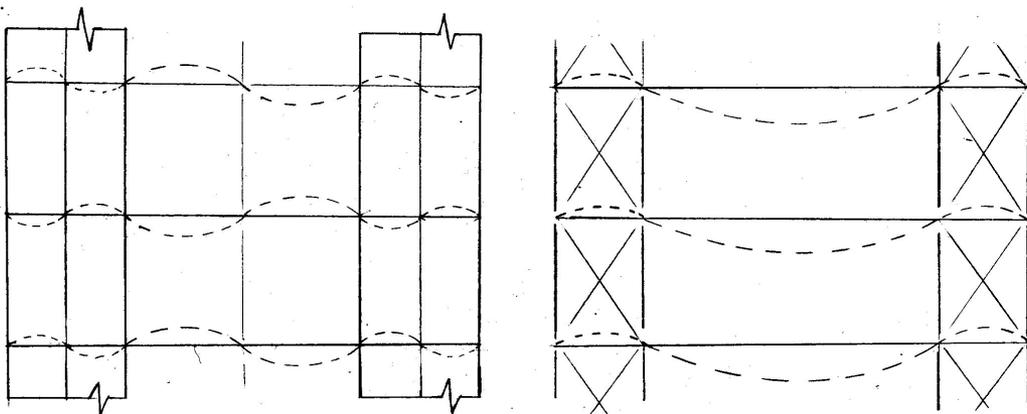
e - геометрическая длина стержня (расстояние между центрами узлов).

Поскольку в момент потери устойчивости стержень может выпучиться в направлении, лежащем в плоскости фермы или в направлении, перпендикулярном плоскости фермы (из плоскости фермы), следует определять расчетные длины и проверять устойчивость стержней в обоих направлениях (в плоскости фермы и из плоскости фермы).

Несущая способность растянутых стержней не зависит от длины, но слишком длинные и тонкие растянутые стержни могут провисать, а также колебаться при действии вибрационных нагрузок, поэтому гибкость растянутых элементов ферм ограничена нормами проектирования.

Растягивающие усилия в стержне фермы препятствуют повороту узлов, обеспечивая их защемление, поэтому расчетные длины стержней ферм имеют различные значения.

Обеспечение общей устойчивости ферм в системе покрытия



Устойчивость фермы из ее плоскости обеспечивается элементами конструкций покрытия и связями по верхним и нижним поясам. На верхний пояс укладывают прогоны или крупнопанельные плиты покрытия, которые крепят к поясу. В коньке фермы устанавливают связевую распорку, которая обеспечивает устойчивость фермы при монтаже и служит опорой фермы из плоскости при наличии фонаря. Нижний пояс фермы развязывается системой связей по нижним поясам.

За расчетную длину поясов ферм принимают расстояния между точками, закрепленными от смещения из плоскости фермы связями, плитами или прогонами с $\mu=1$.