

**Расчет и конструирование фермы.  
Определение нагрузок на ферму.  
Определение усилий в стержнях  
фермы.**

# 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.

В современном промышленном и гражданском строительстве применяют деревянные фермы – однопролетные балочные. В отдельных случаях находят применение также трехшарнирные арки, составленные из балочных ферм или клееных блоков. Деревянные фермы изготавливают из круглого леса или пиломатериалов – брусьев и досок. Фермы имеют следующие элементы: верхний пояс, нижний пояс, решетку (стойки и раскосы).



Взаимное сопряжение указанных элементов в узлах осуществляют при помощи различных соединений (врубки, нагели, хомуты, шпонки).

Верхний пояс балочных ферм при вертикальной нагрузке, направленной сверху вниз, работает на сжатие, а нижний - на растяжение. Усилия в стойках и раскосах зависят как от направления этих стержней, так и от расположения нагрузок.



Самыми ответственными элементами деревянных ферм являются стержни нижнего растянутого пояса, на работе которых в большой мере сказывается вредное влияние неизбежных в строительной древесине пороков (сучков, косослоя, трещин), поэтому при конструировании, отборе лесоматериалов, изготовлении и наблюдении за фермами во время их эксплуатации, стержням нижнего пояса нужно уделять особое внимание.





С целью наиболее рационального использования достоинств конструктивных материалов, растянутые элементы деревянных ферм часто выполняют из стали. Такие фермы называют металлодеревянными.

По очертанию наружного контура фермы подразделяют на: треугольные, прямоугольные (с параллельными поясами), трапециевидные или полигональные с наклонным (двускатным или односкатным) и многоугольные

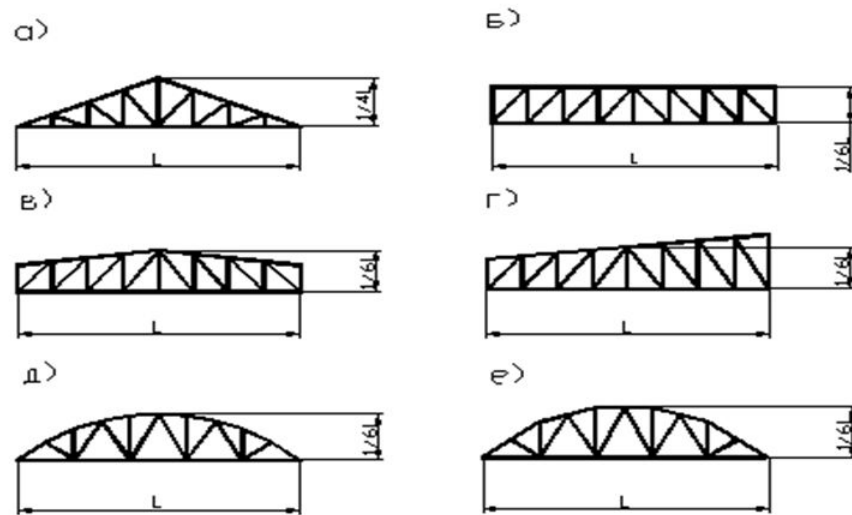


Рис. 1 Схемы деревянных ферм -  
а - треугольная, б - прямоугол-  
ная, в - трапециевидная двускат-  
ная, г - трапециевидная односкат-  
ная, д - сегментная, е - много-  
угольная.

При равномерной загрузке всей фермы вертикальной нагрузкой, усилия в стержнях решетки прямоугольных и пологих (уклон  $\sim 1/10$ ) полигональных ферм возрастают от середины пролета к опорам, а в треугольных от опор к середине. Характер изменения усилий в поясах и решетке треугольных, прямоугольных и полигональных ферм представлен на р

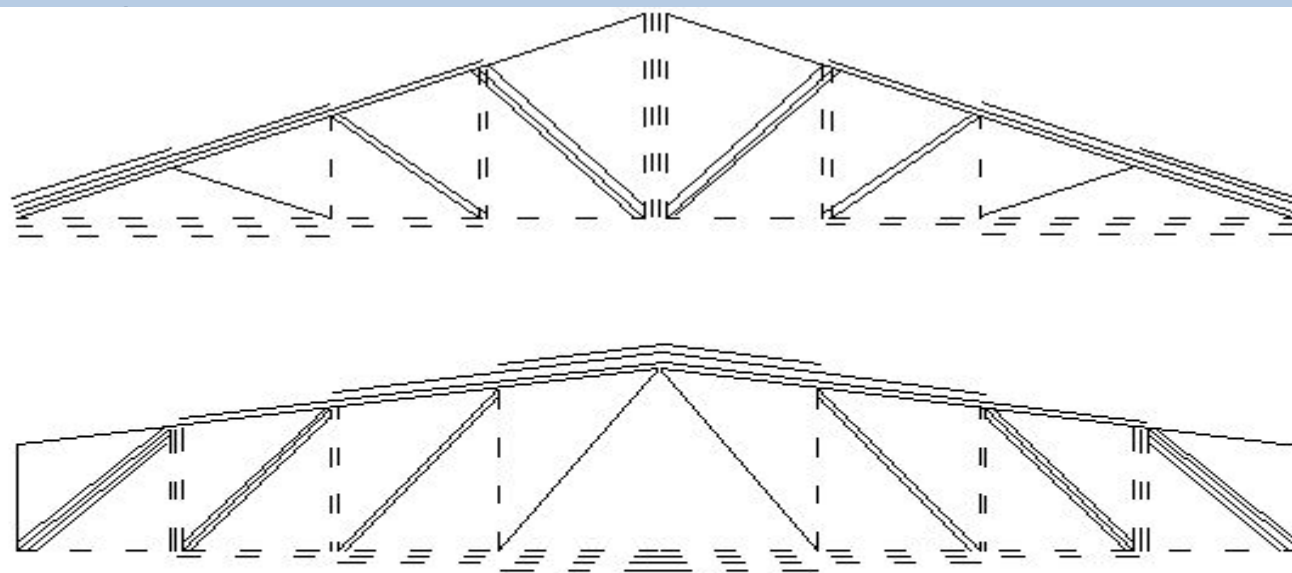
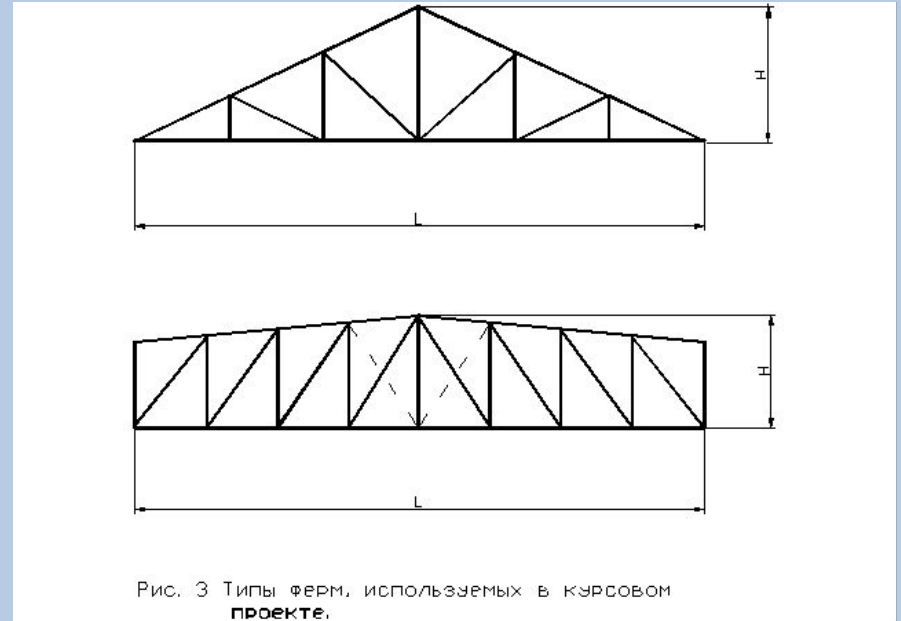


Рис. 2 Изменение усилий в стержнях фермы :

————— сжатие,  
- - - - - растяжение.

## 2. ВЫБОР СХЕМЫ ФЕРМЫ. ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ.

В студенческом курсовом проектировании обычно используются два типа ферм – треугольная ферма и пологая полигональная ферма



Основные предпосылки к проектированию:

Длина панели ферм  $d$ , считая по горизонтальной проекции верхнего пояса, назначается в пределах 1,6 – 2,5 м.

Сжатый верхний пояс изготавливается из дерева – бруса сечением  $b_{вп} \times h_{вп}$  (при этом  $h_{вп} \geq b_{вп}$ ). Верхний пояс имеет постоянное поперечное сечение по всей длине.

Сжатые стержни решетки (раскосы) выполняются из деревянного бруса сечением  $b_p \times h_p$  (может быть  $h_p < b_p$ ). Раскосы могут иметь отличающиеся поперечные сечения.

Растянутый нижний пояс проектируется деревянным – из бруса сечением  $b_{нп} \times h_{нп}$  (при этом  $h_{нп} > b_{нп}$ ).

Все элементы фермы, выполненные из дерева (верхний и нижний пояса, раскосы), имеют прямоугольное поперечное сечение с равной шириной, т.е.  $b_{вп} = b_{нп} = b_p$ .

Растянутые стойки фермы выполняются из стальных тяжей.

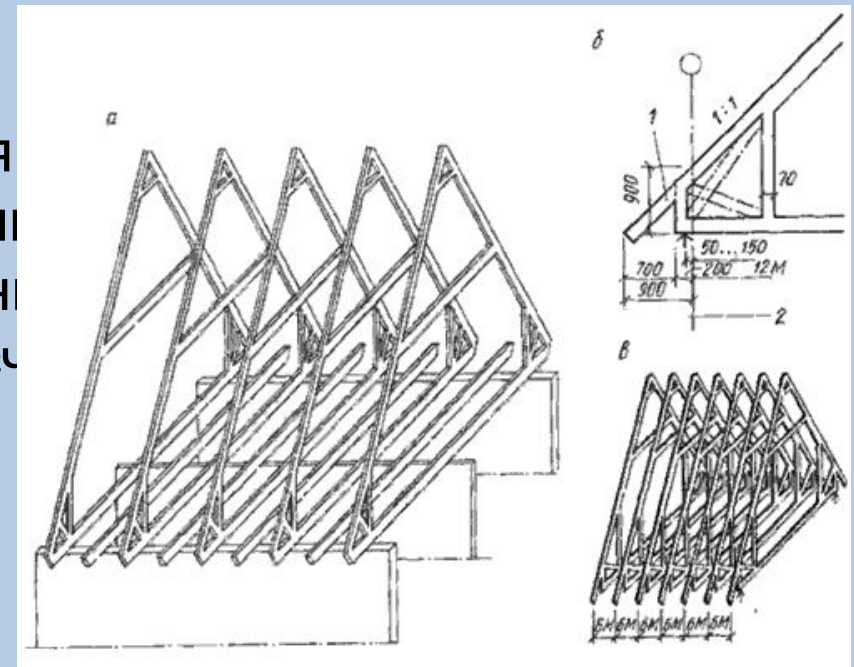




### 3. ПОРЯДОК РАСЧЕТА ФЕРМ.

1. Определение узловых нагрузок, действующих на ферму.
2. Определение усилий в стержнях фермы.
3. Подбор поперечного сечения нижнего пояса.
4. Подбор поперечного сечения верхнего пояса.
5. Подбор сечений раскосов.
6. Подбор сечений стоек.
7. Расчет и конструирование опорного узла.
8. Расчет и конструирование промежуточных узлов.

Рекомендуется после выполнения первых шести пунктов этого перечня сразу же приступить к вычерчиванию фермы и в дальнейшем вести расчет и конструирование параллельно.



## 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УЗЛОВЫХ НАГРУЗОК.

При определении усилий принимается, что все нагрузки (включая собственный вес фермы) приложены к узлам верхнего пояса, в виде сосредоточенных сил  $G$  и  $P$ . Сила  $G$  обусловлена действием постоянной нагрузки (собственный вес). Сила  $P$  – действием временной нагрузки (снеговая нагрузка).

Постоянная расчетная узловая нагрузка определяется по формуле:

$$G = (g + g_{св}) \cdot a \cdot d / \cos(\alpha) .$$

Здесь:

$g$  – полная расчетная постоянная нагрузка на  $1 \text{ м}^2$  поверхности кровли,

$g_{св}$  – расчетное значение собственного веса фермы, приведенное к  $1 \text{ м}^2$  поверхности кровли,

$a$  – шаг ферм,

$d$  – длина горизонтальной проекции панели фермы,

$\alpha$  – угол наклона верхнего пояса.

Нагрузку  $g$  можно определить так:

$$g = g_1 + g_2 + g_3,$$

где:  $g_1$  – собственный вес  $1 \text{ м}^2$  покрытия (гидроизоляционный рубероидный ковер, настилы, утеплитель) с учетом коэффициента надежности по нагрузке  $\gamma_f$  (при учете собственного веса утеплителя  $\gamma_f = 1,2$ , для остальных материалов  $\gamma_f = 1,1$ );  
 $g_2$  – собственный вес прогона, отнесенный к  $1 \text{ м}^2$  площади покрытия:

$$g_2 = A_{\text{пр}} \cdot \gamma \cdot \gamma_f \cdot (1/d),$$

где:  $A_{\text{пр}}$  – площадь поперечного сечения прогона,

$\gamma$  – объемный вес древесины, определяемый по данным, приведенным в приложении 1;

$g_3$  – собственный вес стропильной ноги, отнесенный к  $1 \text{ м}^2$  площади покрытия:

$$g_3 = A_{\text{стр}} \cdot \gamma \cdot \gamma_f \cdot (1/C),$$

где:  $A_{\text{стр}}$  – площадь поперечного сечения стропильной ноги,

$C$  – расстояние между стропильными ногами (шаг стропил).



Нагрузка  $g_{св}$  определяется по формуле:

$$g_{св} = \frac{g + p_{сн}}{(1000/l k_{св}) - 1},$$

где:  $p_{сн}$  – расчетная снеговая нагрузка на  $1 \text{ м}^2$  поверхности кровли,  
 $l$  – пролет фермы,

$k_{св}$  – коэффициент, зависящий от типа и конструкции фермы, принимаемый ориентировочно для треугольных ферм равным от 4,5 до 6,0, а для полигональных – 4,0 – 5,5.

Меньшие значения коэффициента  $k_{св}$  принимают при небольших пролетах и нагрузках, большие – для ферм с подвесными потолками и надстройками. Ошибка в весе фермы, которая может выявиться после окончания проектирования, незначительно отражается на усилиях в элементах фермы, так как собственный вес фермы составляет меньшую часть всей нагрузки на ферму.

Временная узловая нагрузка определяется по формуле:

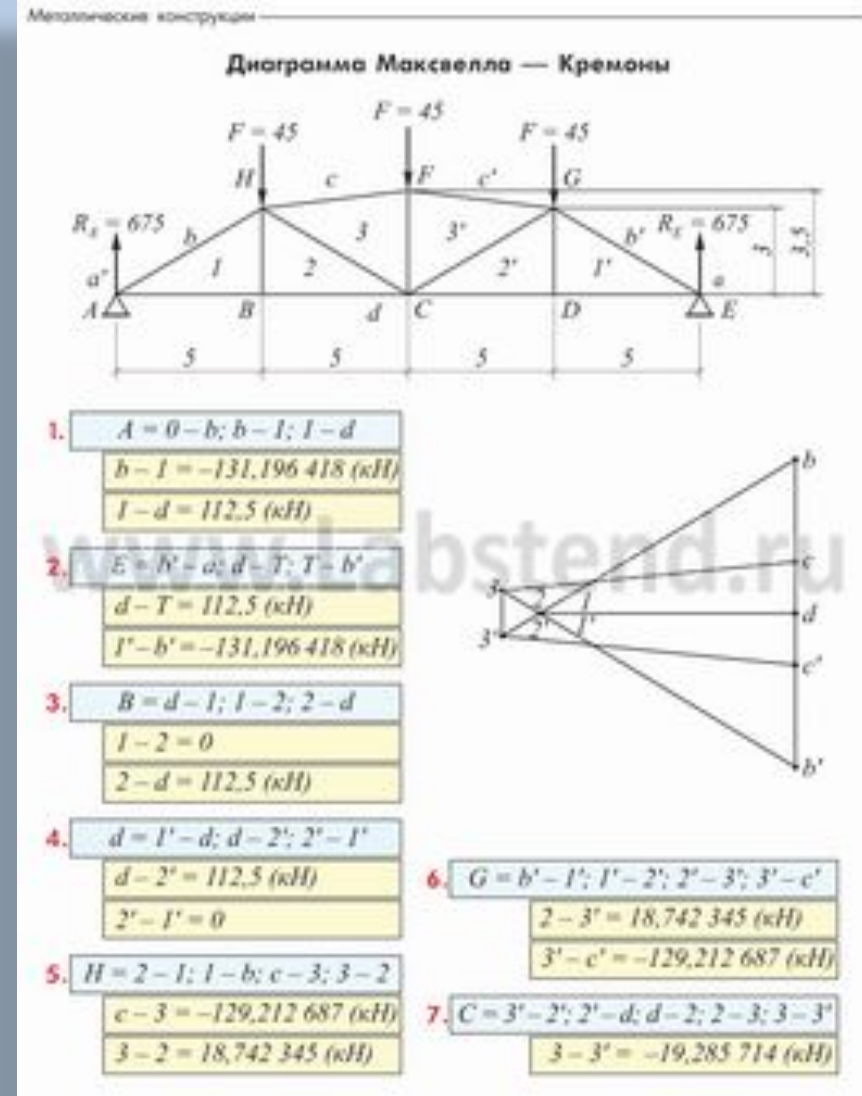
$$P = P_{сн} \cdot a \cdot \frac{d}{\cos \alpha}$$

Кроме вертикальных нагрузок, на фермы также действуют горизонтальные – ветровые нагрузки. Однако, при принятых уклонах кровли (угол наклона  $\alpha < 30^\circ$ ), согласно действующим нормам проектирования, ветровые нагрузки на фермы не учитываются.



## 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В СТЕРЖНЯХ ФЕРМЫ.

При определении усилий в элементах стержневой фермы рассматриваемого курсового проекта все нагрузки считают приложенными в узлах верхнего пояса в виде сосредоточенных сил  $G$  и  $P$ , узлы при этом считают шарнирными. Определение усилий можно производить аналитическим, графическим способом (диаграмма Кремона), используя ЭВМ. Мы рассмотрим метод с использованием числовых таблиц усилий от некоторых



Расчет ферм должен установить наибольшие усилия, которые могут возникнуть в каждом элементе фермы при самой невыгодной для этого элемента комбинации временных нагрузок. Временная нагрузка может иметь следующие положения:

- а) распределена по всему пролету фермы;
- б) распределена односторонне на половине пролета фермы.

Отметим, что постоянная нагрузка (собственный вес) конечно всегда распределена по всему пролету фермы.



Для работы поясов наилучшие условия получаются при временной нагрузке, распределенной по всему пролету фермы. Усилия в решетке ферм обычно достигают наибольших значений при односторонней временной нагрузке на половине пролета фермы. Почти во всех схемах ферм, кроме треугольной, односторонняя нагрузка вызывает перемену знака усилий в элементах решетки, расположенных в средней части. При появлении сжимающих усилий в средних или близких к середине стойках полигональных ферм в этих панелях ставят дополнительный встречный раскос (на рис.3 показан пунктиром). Эти дополнительные "обратные" раскосы работают при одностороннем загрузении временной нагрузкой на сжатие, заменяя собой основные раскосы, работающие на сжатие при полной нагрузке.

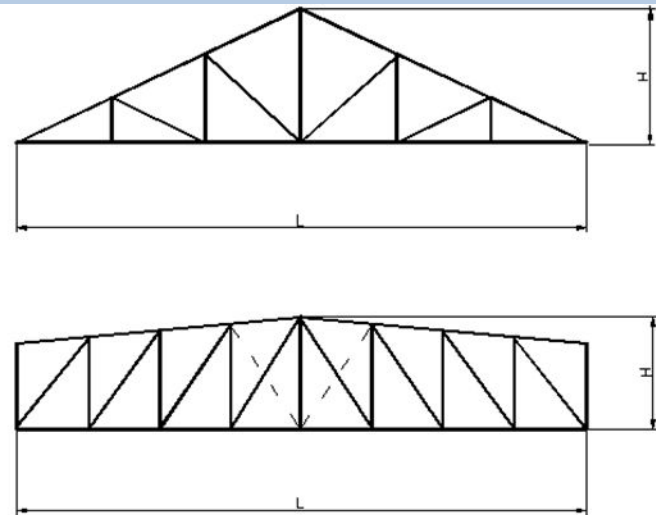
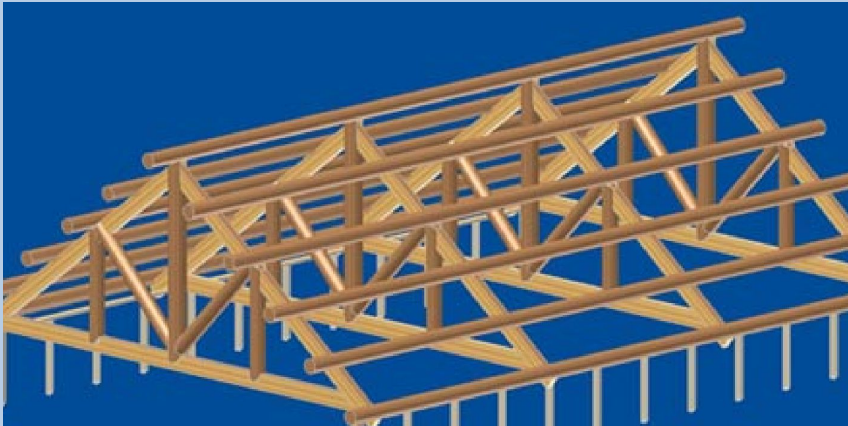


Рис. 3 Типы ферм, используемых в курсовом проекте.

# Определение усилий в полигональной ферме.

Рассмотрим следующие три загрузки полигональной фермы (рис.4).

В таблице 1 приведены усилия в элементах фермы от этих типов загрузений

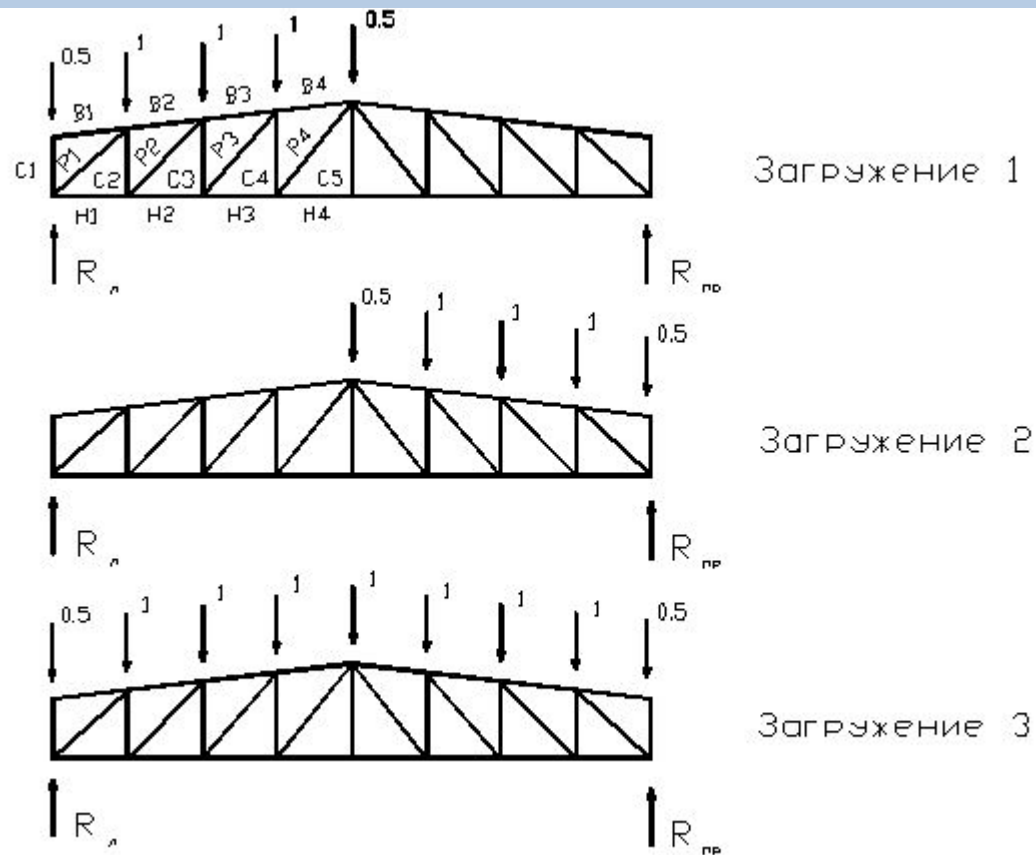


Рис. 4 Схемы загрузки.



Таблица 1

Элемент	Усилия в стержнях фермы		
	Загрузка 1	Загрузка 2	Загрузка 3
	<sup>(1)</sup> Нед	<sup>(2)</sup> Нед	<sup>(3)</sup> Нед
B1	0	0	0
B2	-2,43	-0,97	-3,4
B3	-3,55	-1,77	-5,32
B4	-3,67	-2,44	-6,11
H1	2,42	0,97	3,39
H2	3,53	1,76	5,29
H3	3,65	2,43	6,08
H4	3,0	3,0	6,0
P1	-3,48	-1,39	-4,87
P2	-1,68	-1,20	-2,88
P3	-0,19	-1,06	-1,25
P4	1,08	-0,95	0,13
C1	-0,5	0	-0,5
C2	1,26	0,9	2,16
C3	0,15	0,82	0,97
C4	-0,86	0,76	-0,1
C5	0	0	0

Определить наибольшие усилия от реальных нагрузок в стержнях фермы можно следующим образом:

$$N_{\max} = N_G + N_P ,$$

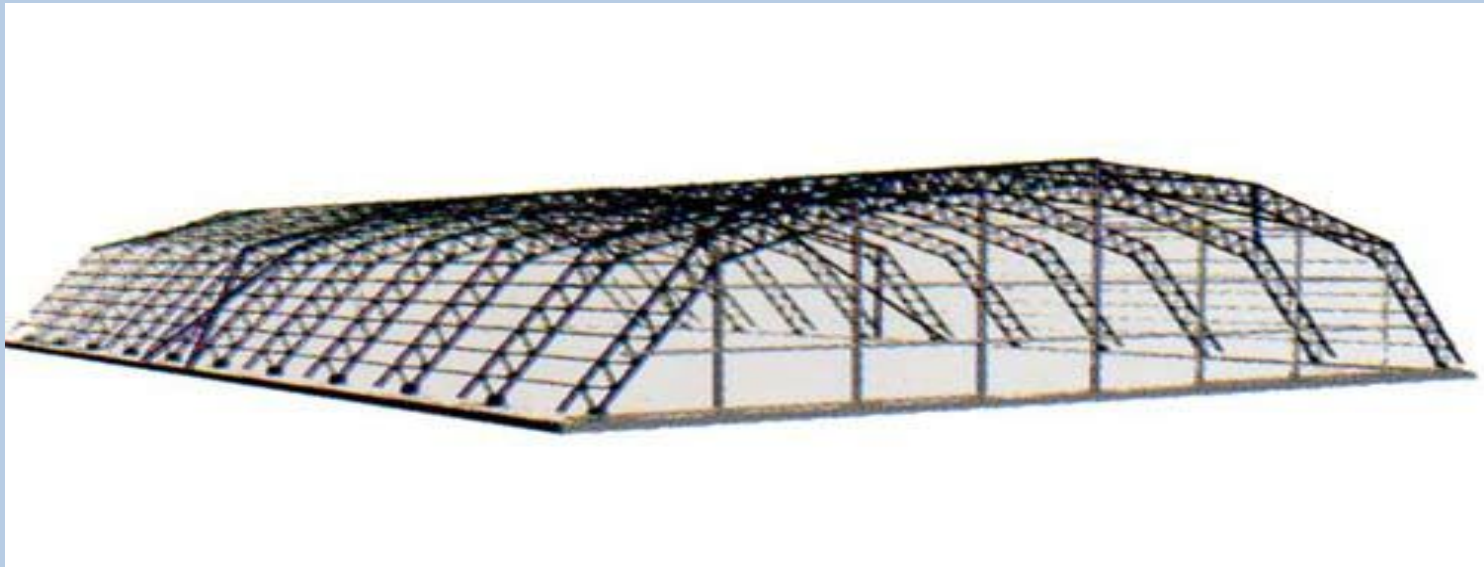
где  $N_G$  – усилие от постоянной нагрузки  $N_G = N_{\text{ЕД}}^{(3)} \cdot G ;$

$N_P$  – усилие от временной нагрузки (как было сказано выше, временная нагрузка может быть приложена в нескольких комбинациях, поэтому  $N_P$  может иметь тройное значение)

$$N_P = N_{\text{ЕД}}^{(1)} \cdot P; \quad N_P = N_{\text{ЕД}}^{(2)} \cdot P; \quad N_P = N_{\text{ЕД}}^{(3)} \cdot P.$$

Из этих трех значений нужно выбрать то, которое в сумме с  $N_G$  даст максимальное усилие в элементе фермы. Отметим, что для поясов фермы, как уже было сказано выше,  $N_P$  определяется однозначно

$$N_P = N_{\text{ЕД}}^{(3)} \cdot P .$$



# Определение усилий в треугольной ферме.

Так как в треугольных фермах при одностороннем загрузении временной нагрузкой работают только стержни загруженной половины этих ферм (стержни решетки незагруженной половины совершенно не работают), достаточно рассмотреть одну схему загрузения (загружение № 3)

Таблица 2

Элемент	Усилия в элементах фермы $N_{ед}$
В1	-6,72
В2	-5,38
В3	-4,03
Н1	6,25
Н2	6,25
Н3	5,0
Р1	-1,34
Р2	-1,6
С1	0
С2	0,5
С3	2,0

Максимальное усилие в стержнях от реальной постоянной и временной нагрузки определяют как

$$N_{max} = N_{ед} \cdot (G + P).$$