

Глава 9. Расчет деревянной крыши в APM Wood

Задание

Выполнить прочностной расчет внутренней фермы деревянной крыши (рис. 9.1-9.2). Подобрать сечения всех стержней брусьев и сделать расчет соединений в узлах металлическими зубчатыми пластинами (МЗП).

Место строительства: Московская область (III снеговой район; I ветровой район, тип местности В).

Материал брусьев: сосна.

Конструктивная схема: ферма, шаг элементов крыши в продольном направлении 2 м.

Покрытие кровли включает металлочерепицу, обрешетку, утеплитель, гидро и пароизоляцию. Постоянная нагрузка от веса покрытия кровли $G = 0,5 \text{ кН/м}^2$.

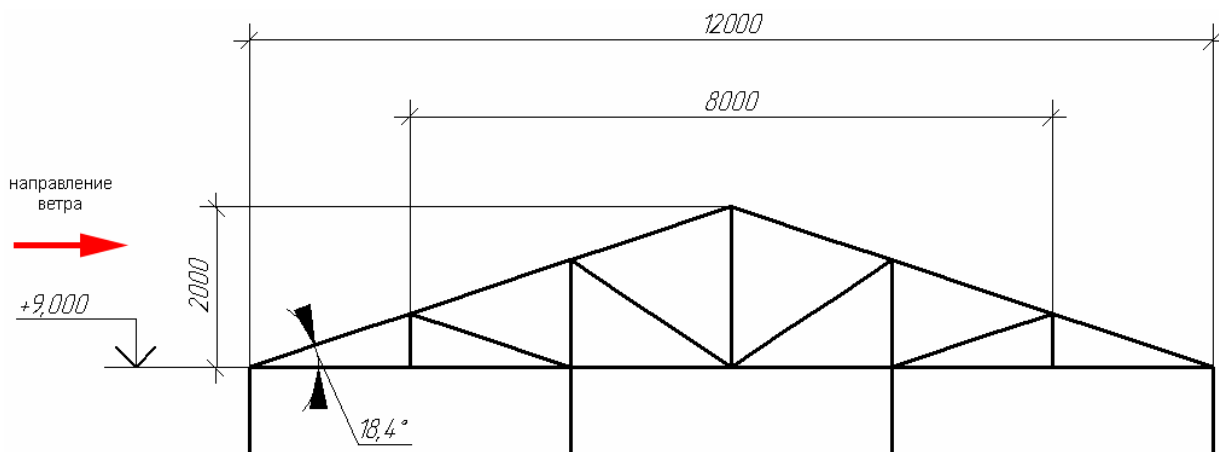


Рис. 9.1. Расчетная схема фермы крыши

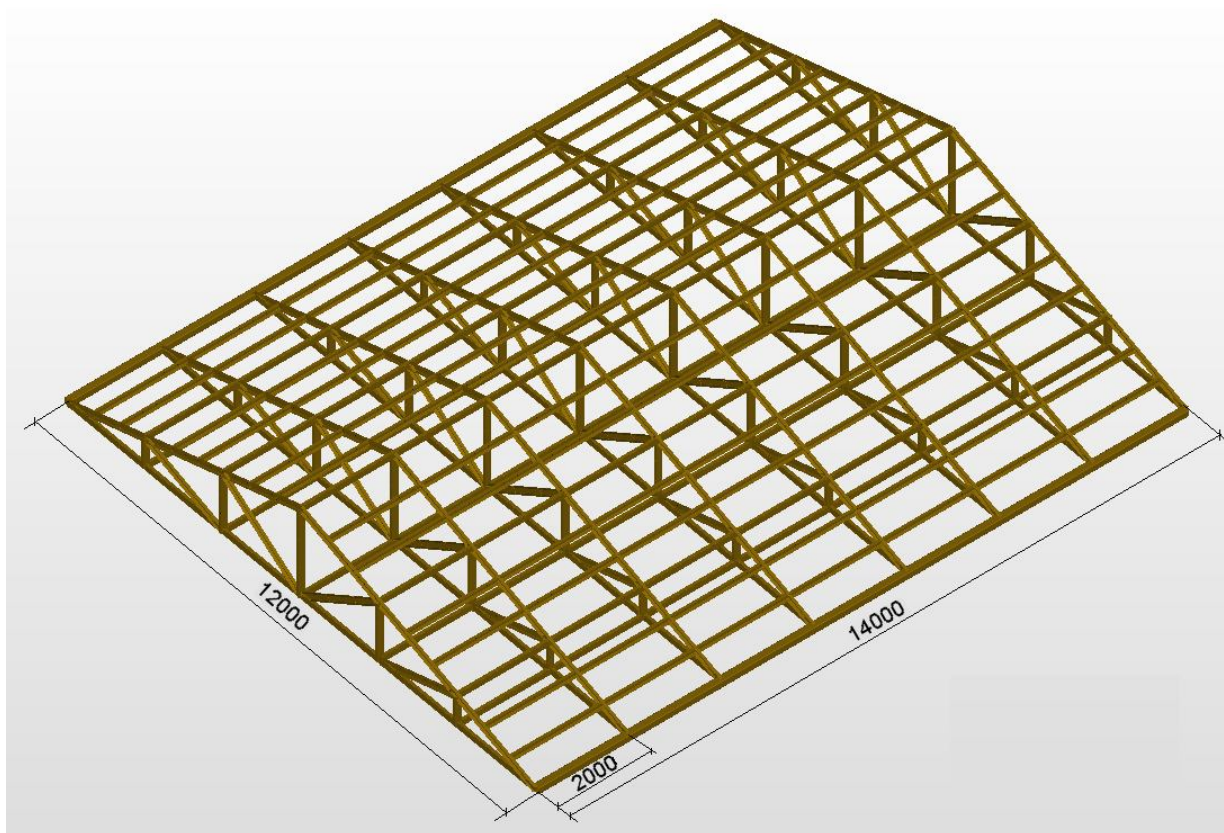


Рис. 9.2. 3D-модель крыши

Общий порядок расчета

1. Построение расчетной модели (2D-ферма).

2. Задание закреплений.
3. Задание материала брусев.
4. Задание нагрузок.
 - 4.1. Загружения.
 - 4.2. Постоянные нагрузки.
 - 4.3. Снеговая нагрузка.
 - 4.4. Ветровая нагрузка.
 - 4.5. Комбинация загружений.
5. Прочностной расчет модели и подбор МЗП.
6. Просмотр и печать результатов расчета.

1. Построение расчетной модели (2D-ферма)


При построении расчетной модели удобно воспользоваться шаблоном. Для вызова диалогового окна выбора параметрической модели служит команда  **Шаблоны конструкций**. С помощью выпадающих списков и полей ввода появившегося окна (рис. 9.3) необходимо выбрать схему фермы и ввести параметры в соответствии с рис. 9.1. Нажатие кнопки **Дополнительные параметры...** приводит к открытию одноименного диалогового окна (рис. 9.4) для задания длины свеса и выбора сечения брусев.



Рис. 9.3. Параметрическая модель фермы крыши

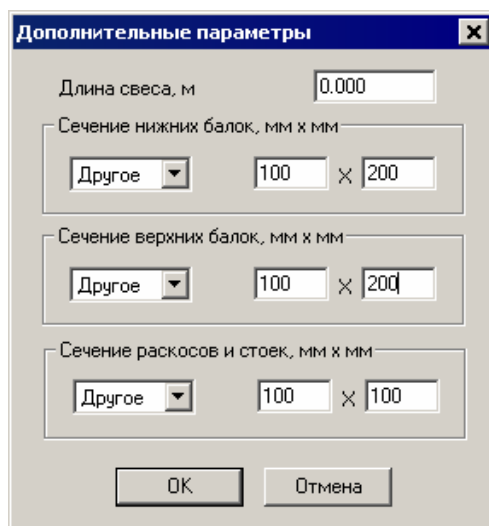



Рис. 9.4. Диалоговое окно **Дополнительные параметры**

✎ **Замечание:**

Для того чтобы брусья можно было соединить с помощью МЗП, их сечения должны иметь одинаковую ширину. В рассматриваемом примере ширина всех сечений равна 100 мм.

2. Задание закреплений

Типовая расчетная схема содержит только две крайние опоры. Для того чтобы создаваемая модель соответствовала условию, необходимо дополнительно установить две промежуточ-

ные опоры. С этой целью выбираем команду  **Свойства бруса** (меню **Деревянные конструкции/Свойства бруса**) и щелкаем левой кнопкой мыши на вертикальной стойке, нижнюю часть которой необходимо закрепить. В группе **Закрепление** появившегося диалогового окна **Свойства бруса** (рис. 9.5) отмечаем **Начало** и нажимаем кнопку **ОК**. Аналогичным образом задается второе промежуточное закрепление. При необходимости первоначальное задание промежуточных закреплений можно отменить, выполнив его заново.

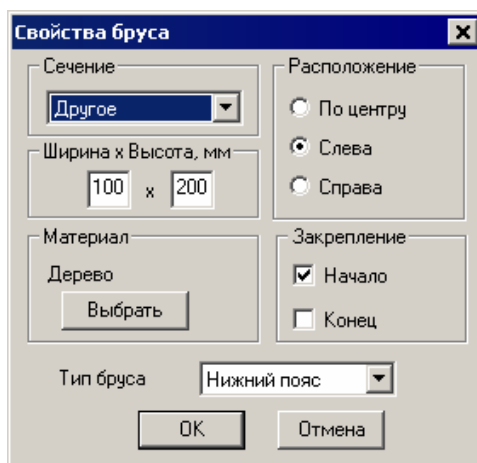



Рис. 9.5. Диалоговое окно **Свойства бруса**

3. Задание материала

Команда  **Материалы** (меню **Деревянные конструкции/Материалы**) позволяет работать со списком материалов рассматриваемой модели. После вызова команды на экране появляется одноименное диалоговое окно (рис. 9.6). Нажмите кнопку **Добавить....** В полях ввода появившегося диалогового окна **Материал** (рис. 9.7) можно записать параметры любого материала, но в данном случае удобно воспользоваться базой данных. Кнопка **ДВ...** вызывает диалог выбора материала из базы данных (рис. 9.8). Выберите из выпадающего списка **Типы материалов** тип материала **Дерево**, а в появившемся выпадающем списке деревянных материалов – **Сосна**, и подтвердите выбор нажатием кнопки **ОК**.

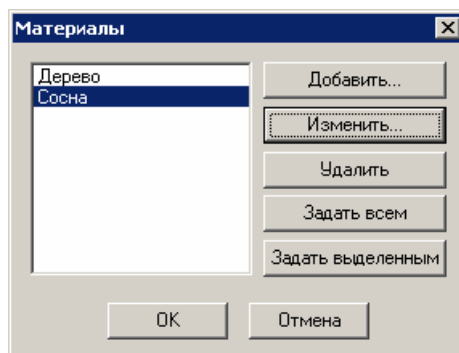


Рис. 9.6. Диалоговое окно **Материалы**

Материал

Название

Сосна

Параметры материала

Предел текучести по сжатию, [МПа]

10.2

Предел текучести по растяжению, [МПа]

8.5

Предел текучести по сдвигу, [МПа]

7.5

Модуль Юнга, [МПа]

9000

Коэффициент Пуассона, [-]

0.01

Плотность, [кг/м³]

500

Коэффициент температурного расширения, [1/°C]

1.2e-005

Коэффициент теплопроводности, [Вт/(мК)]

1

Предел прочности по сжатию, [МПа]

10.2

Предел прочности по растяжению, [МПа]

8.5

Предел усталостной прочности (н), [МПа]

5

Предел усталостной прочности (к), [МПа]

3.7

Расчетное сопротивление по сжатию (I группа предельных состояний), [МПа]

0

Расчетное сопротивление по растяжению (II группа предельных состояний), [МПа]

0

Ok

Отмена

Справка

DB...

График...

Удалить график

Рис. 9.7. Диалоговое окно **Материал**

База данных по материалам

Стандарты Типы материалов Подгруппы

ГОСТ Дерево Строительное

Обозначение	Предел Текучести	Модуль Юнга	Плотность	Коэффициент Пуассона	Предел Прочности	Усталостна
Лиственница	12.500	9000.000	660.000	0.010	12.500	6.000
Сосна	10.200	9000.000	500.000	0.010	10.200	5.000
Ель	10.200	9000.000	445.000	0.010	10.200	5.000
Дуб	13.000	9000.000	690.000	0.010	13.000	7.000
Береза	16.800	9000.000	630.000	0.010	16.800	5.700
Осина	12.500	9000.000	495.000	0.010	12.500	4.200

OK Отмена


Рис. 9.8. База данных материалов

Для присвоения выбранного материала всем брусьям выберите в списке материалов (см. рис. 9.6) **Сосна** и нажмите кнопку **Задать всем**.

4. Задание нагрузок

4.1. Загрузки

В соответствии со СНиП 2.01.07-85* **Нагрузки и воздействия** на крышу действуют следующие виды нагрузок: постоянные, снеговая и ветровая. Каждый вид нагрузки целесообразно

разместить в отдельном загрузении. Команда  **Загрузки...** (меню **Деревянные конструкции/Загрузки...**) вызывает диалоговое окно редактирования загрузений (рис. 9.9). С помощью кнопки **Добавить...** этого диалога создайте загрузки в соответствии с рис. 9.9. Для учета собственного веса конструкции выберите загрузение **Постоянные**, нажмите кнопку **Изменить...** и в появившемся диалоговом окне введите множитель собственного веса, равный 1.

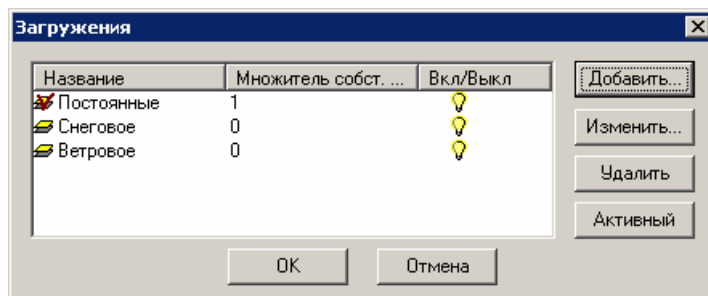


Рис. 9.9. Диалоговое окно **Загрузки**

✍ **Замечание:**




При расчете комбинации загрузений множитель собственного веса должен быть учтен только для одного из загрузений.

По условию пролеты между рамами составляют $l = 2$ м (см. рис. 9.2). Таким образом, рассматриваемая промежуточная рама воспринимает нагрузку с кровли шириной 2 м.

4.2. Постоянные нагрузки

Предусмотрено два способа задания нагрузки на стержни: распределенная по длине (измеряемая в Н/мм) и распределенная по площади (Н/мм²). В случае регулярного расположения ферм крыши, как, например, в рассматриваемой задаче, целесообразно выбрать распределенную нагрузку по площади и задать шаг ферм. При этом нагрузка по площади и шаг ферм будут перемножены автоматически.

Постоянные нагрузки от перекрытия включают вес металлического настила, утеплителя и стропил. В рассматриваемом случае результирующая постоянная нагрузка равна $G = 0,5 \text{ кН/м}^2 = 0,0005 \text{ Н/мм}^2$.

Команда  **Распределенная сила** (меню **Деревянные конструкции/Распределенная сила**) позволяет смоделировать распределенную нагрузку, действующую на группу выделенных стержней. Сделать это можно следующим образом. Вначале следует активировать команду  **Выделить объекты** и последовательно выделить левой кнопкой мыши все балки верхнего пояса, на которые действует нагрузка. Далее нажмите кнопку  **Распределенная сила** и щелкните на любом из выделенных стержней. Из выпадающего списка загрузений появившегося диалогового окна **Распределенная сила** выберите **Постоянные** (рис. 9.10). Вид нагрузки – **Н/мм²**. В поля ввода **Значение нагрузки, Н/мм²** записываем числовые значения действующего давления в начале и конце участка – по **0.0005**. В поле **Шаг ферм, мм** вводим **2000**. С помощью полей группы **Направление в глобальной системе координат** задаем направление действия нагрузки в глобальной системе координат по оси **Y: -1**.

✍ **Замечание:** Направления осей глобальной системы координат: **Y** – вверх, **X** – вправо.

Рис. 9.10. Диалоговое окно моделирования распределенной силы

Снеговую и ветровую нагрузки следует задавать аналогично, выбирая соответствующие загрузки.

4.3. Снеговая нагрузка

Снеговая нагрузка с полным расчетным значением относится к кратковременным нагрузкам. Полное расчетное значение снеговой нагрузки S на горизонтальную проекцию покрытия определяется по формуле

$$S = S_g \cdot \mu,$$

где

S_g – нормативное значение веса снегового покрова на 1 м^2 горизонтальной поверхности земли, в данном случае принимаемое в соответствии с п.5.2 СНиП для III-го снегового района $S_g = 1,8 \text{ кПа}$;

μ – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие, применительно к рассматриваемому случаю равный в соответствии с пп.5.3-5.6 СНиП $\mu = 1$ (согласно схеме 1 приложения 3 СНиП, угол ската крыши $\alpha < 25^\circ$).

Следовательно, полное расчетное значение снеговой нагрузки равно

$$S = 1,8 \cdot 1 = 1,8 \text{ кПа} = 0,0018 \text{ Н/мм}^2.$$

Направление действия снеговой нагрузки в глобальной системе координат – вдоль оси Y : -1.

4.4. Ветровая нагрузка

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки w_m на высоте z над поверхностью земли следует определять по формуле

$$w_m = w_0 k c,$$

где

w_0 – нормативное значение ветрового давления, равное $w_0 = 0,23 \text{ кПа}$ для I-го ветрового района;

k – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте, $k = 0,65$ на высоте 10 м для типа местности B – городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой не более 10 м ;

c – аэродинамический коэффициент, $c = -0,4$ в соответствии со схемой 2 приложения 4 СНиП.

Подставляя значения коэффициентов в формулу для определения ветровой нагрузки, получаем

$$w_m = 0,23 \cdot 0,65 \cdot (-0,4) = -0,06 \text{ кПа} = -0,0006 \text{ Н/мм}^2.$$

Направление действия ветровой нагрузки в глобальной системе координат: по оси Y : -1. Значение ветровой нагрузки и коэффициент направления в программе перемножаются. Поэтому фактическое направление ветровой нагрузки – вверх (рис. 9.11), что соответствует характерной зоне разрежения над кровлей.

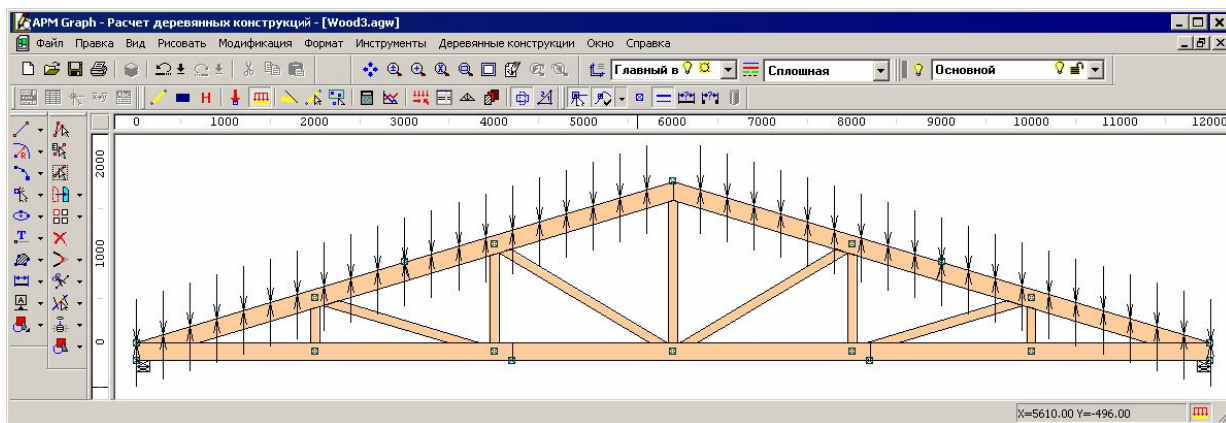


Рис. 9.11. Модель деревянной фермы крыши с действующими нагрузками

4.5. Комбинация загрузений

Для вызова диалога **Комбинация загрузений** (рис. 9.12) воспользуйтесь командой **Комбинация загрузений...** (меню **Деревянные конструкции/Комбинации загрузений...**).

Чтобы добавить загрузение в комбинацию, нужно выбрать его из выпадающего списка **Загрузение**, затем ввести в качестве множителя коэффициент надежности по нагрузке и нажать кнопку **Добавить**.

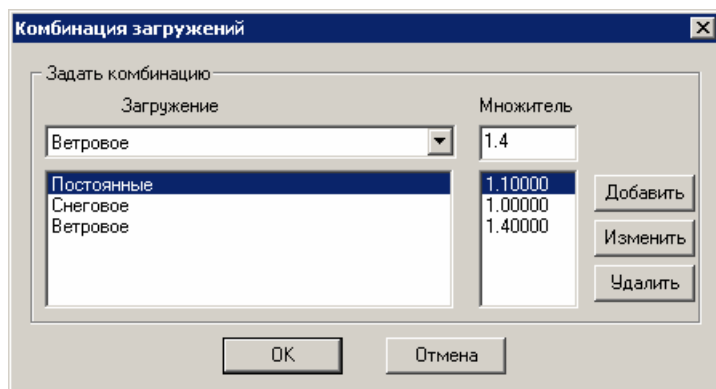


Рис. 9.12. Диалог **Комбинация загрузений**

5. Прочностной расчет модели и подбор МЗП

При выполнении процедуры автоматизированного подбора металлических зубчатых пластин (МЗП) кнопка **Подбор пластин** панели инструментов **Деревянные конструкции** должна быть нажата.

Команда **Расчет** вызывает появление одноименного диалогового окна (рис. 9.13), с помощью которого необходимо выбрать загрузение или комбинацию загрузений, а также тип пластин для проведения расчета. Выберите в соответствующих выпадающих списках **Комбинация загрузений** и **Длинный зуб** и нажмите кнопку **ОК**.

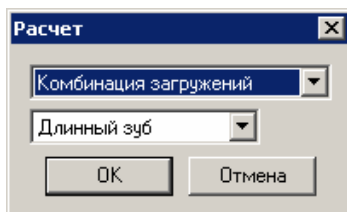



Рис. 9.13. Диалоговое окно **Расчет**

В процессе расчета все деревянные элементы модели проходят проверку на прочность и устойчивость в соответствии с СТО 36554501-002-2006 (Раздел 4. Расчет элементов деревянных конструкций). При этом расчетное сопротивление изгибу предполагается равным сопротивлению сжатия. Центрально-растянутые и центрально-сжатые элементы проверяются на прочность от продольного усилия (п.п. 4.1, 4.2а). Сжатые элементы проверяются также на устойчивость (п.п. 4.2 б).

Если условие прочности не обеспечивается, программа выдаст соответствующее предупреждение и укажет те элементы, для которых это условие не выполнено. Необходимо увеличить сечение таких элементов, используя команду  **Свойства бруса**, и повторить расчет. При этом следует помнить, что все стержни должны иметь одинаковую ширину сечения.

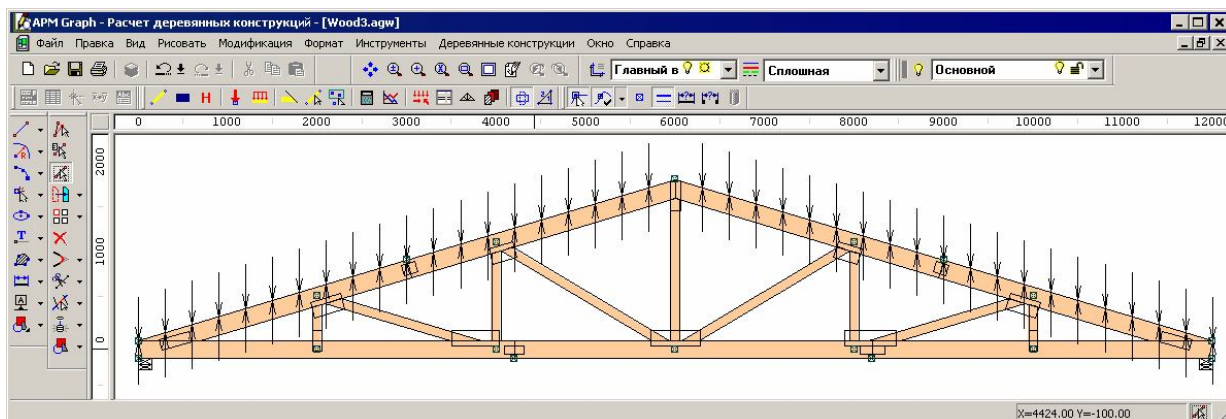



Рис. 9.14. Модель фермы крыши с подобранными МЗП

6. Просмотр и печать результатов расчета

Результаты расчета осевых сил доступны после выбора команды  **Результаты**. С помощью команды **Файл/Печать деревянной конструкции...** можно вывести на принтер расчетную схему, информацию о каждом узловом соединении МЗП и схему распиловки каждого элемента модели, а также сводные таблицы нагружения, расхода пиломатериала и МЗП.