

**Министерство Высшего И Среднего Специального  
Образования Республики Узбекистан**

**Самаркандский государственный архитектурно-строительный институт  
имени м. Улугбека**

На правах рукописи

**Сафоев Фарух Акмалович**

**Расчет и оптимизация стальных преднапряженных  
ферм с использованием программы «SteelTruss»**

**Специальность 5А 580201**

**Строительные конструкции зданий и сооружений**

**ДИССЕРТАЦИЯ**

**для получения степени магистра**

Работа рассмотрена и  
разрешена к защите на кафедре  
«Строительные конструкции,  
здания и сооружения»:

Зав. кафедрой  
д.т.н., профессор Раззаков С.Р.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

Научный руководитель:  
к.т.н., доцент Фридман Г.С.

Магистрант Сафоев Ф.А.

Самарканд – 2012

## Содержание

Введение.....	3
Глава 1. Состояние вопроса и задачи исследований .....	6
1.1. Особенности работы стальных преднапряженных элементов .....	6
1.2. Фермы, предварительно напряженные затяжками.....	12
1.2. Статический расчет и подбор сечений стержней ферм.....	16
1.3. Общие сведения о компьютерной программе «SteelTruss» и учет предварительного напряжения стержней.....	20
1.4. Выводы по главе и задачи исследований.....	32
Глава 2. Методика расчета и анализа преднапряженных ферм с использованием компьютерной программы «SteelTruss» .....	34
2.1 Детальное описание примера расчета стальной фермы с преднапряженной затяжкой в программе «SteelTruss».....	34
2.2 . Примеры расчета ферм с различным расположением затяжек.....	45
2.3. Анализ влияния преднапряжения затяжки на ТЭП фермы .....	51
2.4 Регулирование расчетных сопротивлений фермы и затяжек.....	52
2.5 Выводы по главе.....	54
Глава 3. Оптимизация конструктивных решений преднапряженных ферм типа «Арка с затяжкой» .....	56
3.1. Анализ ТЭП ферм при их различных пролетах и шаге. ....	56
3.2. Учет сейсмической нагрузки и ее влияние на ТЭП фермы.....	68
3.3.Оптимальные типы сечений стержней фермы «арка с зтяжкой» .....	72
3.4. Выводы и рекомендации по главе.....	74
Общие выводы и рекомендации .....	76
Список использованной литературы.....	78

## Введение

Фермой называется система стержней (обычно прямолинейных), соединенных между собой в узлах и образующих геометрически неизменяемую конструкцию при шарнирных узлах. При узловой нагрузке жесткость узлов несущественно влияет на работу конструкции, что позволяет в расчетах рассматривать их как шарнирные. В этом случае все стержни ферм испытывают только осевые усилия (растяжение или сжатие), что позволяет более полно использовать материал по сравнению со сплошной балкой.

Наиболее детально в настоящее время разработаны балочные стропильные фермы покрытий производственных и гражданских зданий. Они имеют унифицированные пролеты (18-36 м) и геометрические схемы, а для некоторых типов ферм существуют типовые рабочие чертежи.

Одним из эффективных способов снижения металлоемкости стропильных ферм является их предварительное напряжение с помощью стальных канатов. За счет высокой прочности затяжки уменьшается масса фермы, а обратный выгиб фермы от преднапряжения повышает ее жесткость и позволяет уменьшить строительную высоту.

В практике строительства Узбекистана преднапряженные стальные фермы применяются редко из-за неизученности их оптимальных параметров и сложности расчетов. Поэтому в настоящей работе показана простота и надежность расчетов таких ферм с помощью компьютерной программы «SteelTruss», а также предлагается методика оптимизации наиболее эффективных преднапряженных ферм типа «арка с затяжкой». При этом рассматриваются параметры ферм применительно к снеговой нагрузке и типам кровли, характерным для Узбекистана.

Компьютерную программу «SteelTruss» (Стальные фермы) разработал в СамГАСИ научный руководитель данной диссертации доцент Фридман Г.С. Под его руководством выполнены магистерские диссертации Алдашева Марсея (2007 г.) и Алдашева Марата (2009 г.), в которых также использовалась программа «SteelTruss». В известной степени настоящая работа является раз-

витиём и продолжением выполненных ранее работ применительно к преднапряженным фермам.

**Актуальность** темы диссертации определяется большой потребностью строительной отрасли Узбекистана в преднапряженных стальных фермах покрытий и недостаточной изученностью их конструктивных параметров, а также отсутствием рекомендаций по расчету и анализу таких ферм с применением компьютерных программ.

**Цель данной работы состоит в том,** чтобы показать методику расчета преднапряженных ферм с помощью компьютерной программы «SteelTruss», а также провести анализ различных решений с целью определения оптимальных параметров ферм. При этом будут выработаны рекомендации по областям применения, а также расчету и оптимизации преднапряженных ферм.

**Научная новизна диссертации** заключается в методике расчета и анализа преднапряженных стальных ферм с применением компьютерной программы «SteelTruss», а также в результатах проведенного анализа различных конструктивных решений ферм.

**Практическая значимость** работы состоит в апробированной методике расчета и анализа преднапряженных ферм с применением компьютерных программ, а также полученных результатах по анализу конструктивных решений и рекомендациях по выбору конструктивных схем в зависимости от заданных условий проектирования.

**Диссертация состоит** из введения, 3 глав, общих выводов и рекомендаций и списка литературы. Общий объем диссертации - 75 страниц.

**В 1-ой главе** рассмотрены классификация и общая характеристика преднапряженных ферм, и приведено общее описание программы «Стальные фермы». В конце главы сформулированы основные задачи исследований в настоящей диссертации.

**Во 2-ой главе** с помощью программы «SteelTruss» выполнены примеры расчета преднапряженных ферм с различными способами расположения затяжек. При этом варьируются пролеты и шаг ферм, а также величина предна-

пряжения затяжки. Анализ этих результатов позволяет определить рациональные схемы размещения затяжек и величины их преднапряжения.

**В 3-ей главе** на примере ферм типа «арка с затяжкой» проведен детальный численный анализ геометрических и конструктивных параметров таких конструкций.

В общих выводах приведены основные результаты исследований и даны рекомендации по выбору параметров преднапряженных ферм с различными схемами и способами преднапряжения затяжек с помощью программы «SteelTruss».

## Глава 1. Состояние вопроса и задачи исследований

### 1.1. Особенности работы стальных преднапряженных элементов

Предварительное напряжение металлических конструкций применяется для повышения их эффективности, т. е. для снижения расхода материала в проектируемой конструкции при заданной несущей способности или жесткости. Существуют разнообразные способы создания предварительного напряжения и все они связаны с дополнительными затратами труда, а иногда и материала на дополнительные элементы.

Предварительное напряжение целесообразно, если эффект, получаемый от него, полностью окупает дополнительные затраты. Основной идеей предварительного напряжения является создание искусственным путем в конструкции, стержне или наиболее напряженном сечении стержня напряжения, обратного по знаку тем напряжениям, которые возникают при действии эксплуатационных нагрузок (рис. 1.1).

Из рис. 1.1. видно, что без предварительного напряжения материал в конструкции достигает расчетного сопротивления при нагрузке  $P_1$ . При создании в материале предварительного напряжения обратного знака  $R$  расчетное сопротивление достигается при нагрузке  $P_2 > P_1$ . В этом случае воздействием нагрузки погашают предварительное напряжение, а затем материал работает на основное напряжение, вызываемое нагрузкой.

При растяжении стержня, имеющего площадь сечения  $A$  без предварительного напряжения, расчетное усилие  $P_1 = AR$ . Расчетное усилие предварительно напряженного стержня

$$P_2 = A(\sigma_0 + R) > P_1$$

При заданном усилии  $P$  требуемые площади сечения стержня будут соответственно равны: без предварительного напряжения  $A_1 = P/R$ , с предварительным напряжением  $A_2 = P_2/R$ .

Аналогично повышается несущая способность изгибаемого элемента: если в сечении с наибольшим изгибающим моментом создать эпюру предварительных напряжений обратного знака тем напряжениям, которые возникают от нагрузки с растяжением в верхней полке и сжатием в нижней. Тогда максимально допустимый изгибающий момент в сечении  $M_2 = W(\sigma + R)$ , в то время как максимальный момент того же сечения без предварительного напряжения  $M_1 = WR < M_2$ . Соответственно, при заданном максимальном изгибающем моменте требуемый момент сопротивления сечения при предварительном напряжении будет меньше, чем без предварительного напряжения.

Снижение перемещения конструкций от заданных нагрузок. Во многих случаях предельное состояние конструкции определяется не предельными напряжениями, а заданными предельными перемещениями  $[\Delta]$ , устанавливаемыми требованиями эксплуатации. В этих случаях предварительное напряжение может уменьшить перемещения от заданной нагрузки и, соответственно, позволит запроектировать конструкцию более экономичной.

Предварительным напряжением можно вызвать в конструкции начальные перемещения  $\Delta_0$ , обратные по знаку перемещениям от нагрузки (рис. 1.3).

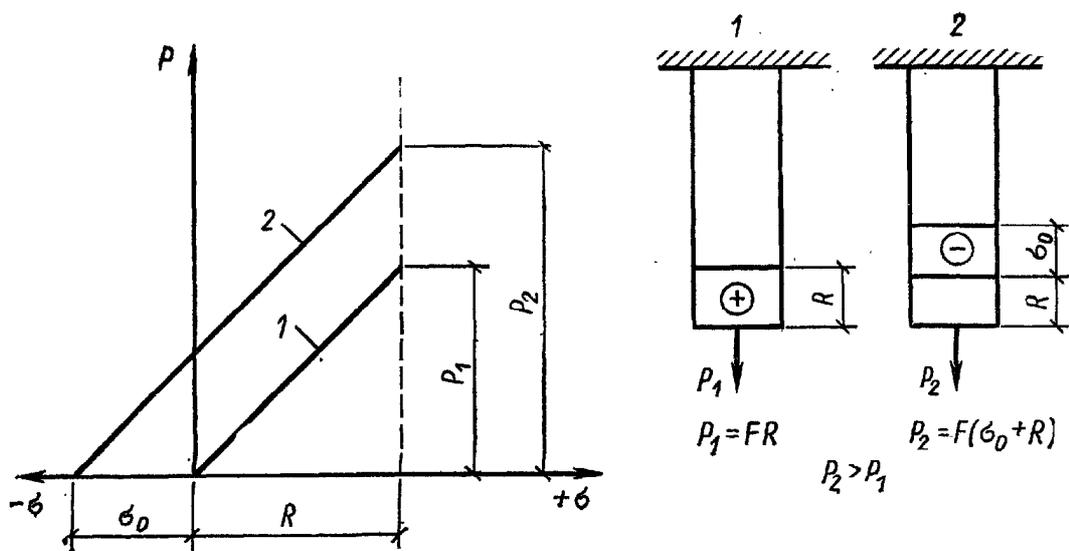


Рис. 1,1, Схема повышения несущей способности стержня, работающего на растяжение: 1 – без предварительного напряжения; 2 – с предварительным напряжением

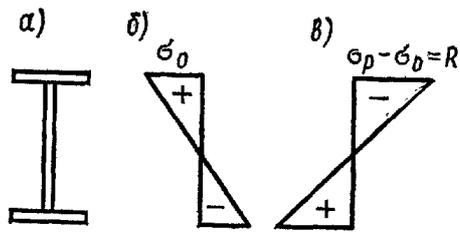


Рис. 1.2. Напряжения в предварительно-напряженной балке:  
 а – сечение балки; б – эпюры предварительного напряжения;  
 в – эпюра напряжений от нагрузки.

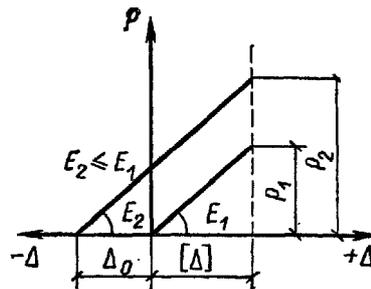


Рис. 1.3. Схема повышения несущей способности стержня  
 при расчете по деформациям.

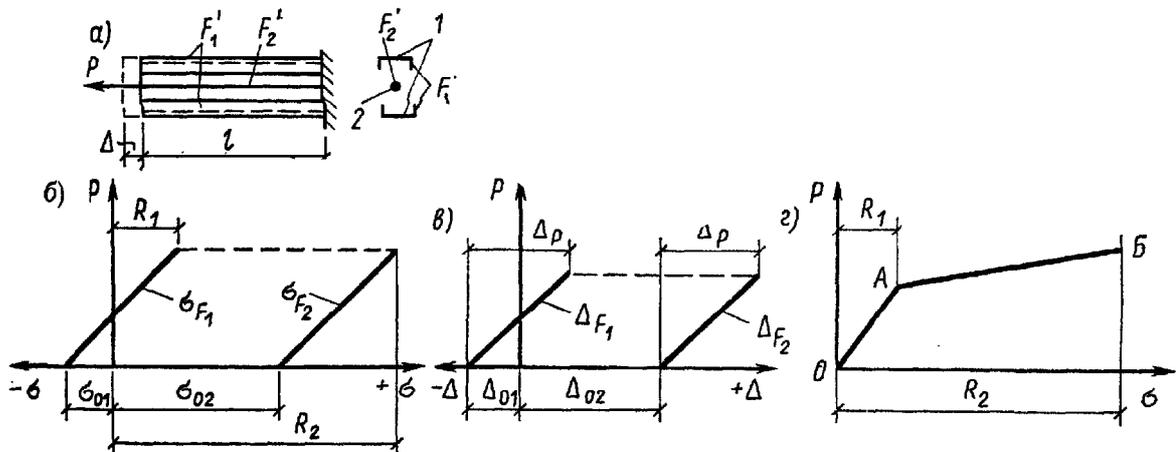


Рис. 1.4. Схема работы на растяжение стержня, предварительно  
 напряженного затяжкой: 1 – жесткий стержень; 2 – затяжка.

Тогда при действии эксплуатационной нагрузки сначала погашаются начальные перемещения, и лишь затем конструкция начинает перемещаться в направлении, вызываемом нагрузкой. Получаемый при этом эффект аналогичен строительному подъему. В балочных системах он позволяет снизить расход металла при заданных значениях нагрузки  $P_2$  и перемещении  $\Delta$ . В рассматриваемом случае жесткость конструкции не увеличивается, а лишь

уменьшаются конечные перемещения под нагрузкой. Однако предварительным напряжением можно увеличить и жесткость конструкции, т. е. уменьшить перемещения от единичной нагрузки. Этот прием, используемый весьма часто в строительной практике, будет рассмотрен ниже.

Создание предварительного напряжения затяжками из высокопрочных материалов. Этот способ предварительного напряжения может быть использован практически во всех конструкциях. Рассмотрим его принципиальные положения на стержне, работающем на осевое растяжение (рис. 1.4).

Конструкция состоит из жесткого стержня (двух швеллеров, трубы и т.п.) и затяжки, расположенной по центру тяжести сечения стержня (рис. 1.4, а). Получается комбинированная конструкция, состоящая из жесткого стержня, выполненного из обычной низколегированной стали (14Г2) и затяжки, выполняемой из высокопрочного материала (стальной канат, пучок высокопрочной проволоки, высокопрочный арматурный стержень и т. п.).

При введении затяжки конструкция становится один раз статически неопределимой. Натяжением затяжки до приложения нагрузки создается сжимающее напряжение  $\sigma_{01}$  в жестком стержне, которое уравнивается растягивающими напряжениями  $\sigma_{02}$  в затяжке. Стержень становится предварительно-напряженным. При приложении нагрузки  $P_i$  жесткий стержень и затяжка работают совместно на растяжение, при этом в жестком стержне сначала погашаются предварительные сжимающие напряжения, а затем появляются растягивающие, а в затяжке к предварительным растягивающим напряжениям добавляются растягивающие напряжения от нагрузки (рис. 1.4,б).

Если правильно подобрать расчетные значения предварительного напряжения жесткого стержня  $\sigma_{01}$  затяжки  $\sigma_{02}$  и их площади  $A_1$  и  $A_2$ , то при расчетном усилии  $P$  одновременно в жестком стержне напряжения достигнут расчетного сопротивления  $R_1$ , а в затяжке ее расчетного сопротивления  $R_2$ . Несущая способность комбинированного стержня, равная

$$P = A_1 R_1 + A_2 R_2$$

будет такой же, как и несущая способность комбинированного стержня с теми же параметрами без предварительного напряжения, однако удлинение стержня от нагрузки окажется при предварительном напряжении значительно меньшим.

При предварительном напряжении удлинение комбинированного стержня от нагрузки

$$\Delta_p = (\sigma_{1,01} + R_{1,1})/E_{1,1} l = (R_{1,2} [-\sigma_{1,02}]/E_{1,2} l$$

а без предварительного напряжения  $\Delta_p' = (R_2/E_2)l$ , что значительно больше  $\Delta_p$  (рис. 1.4, в). Меньшее удлинение комбинированного стержня объясняется тем, что в процессе предварительного напряжения затяжка уже вырабатывает значительную часть деформаций, определяемых ее расчетным сопротивлением. В комбинированном стержне без предварительного напряжения жесткий стержень и затяжка работают под нагрузкой совместно, начиная с нулевых напряжений (участок ОА). При напряжениях, равных пределу текучести материала жесткого стержня (точка А), он выключается из работы, и нагрузку продолжает воспринимать одна затяжка (участок АБ) до исчерпания его несущей способности (точка Б). Удлинение стержня под нагрузкой определяется расчетным сопротивлением затяжки:  $\Delta_p' = (R_2/E_2)l$  (рис. 1.4, г).

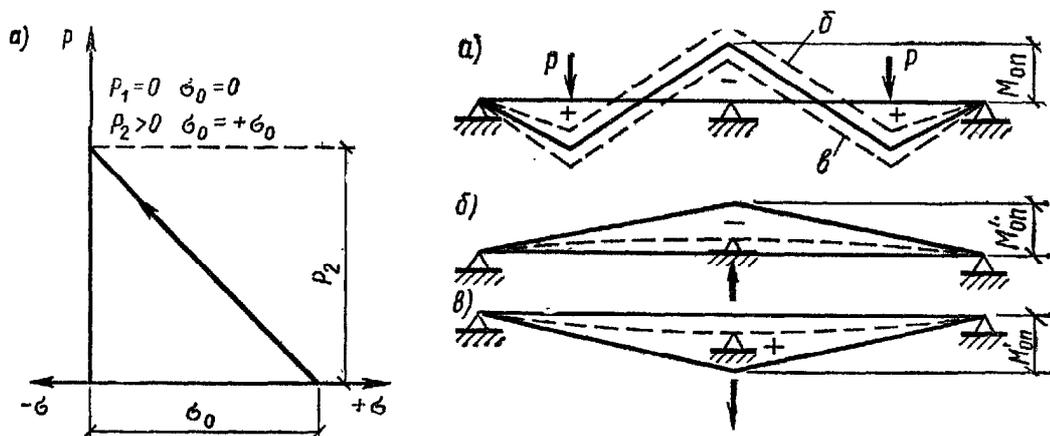


Рис. 1.6. Регулирование моментов в неразрезной балке смещением опор:  
 б—моменты при подъеме средней опоры;  
 в - моменты при опускании средней опоры.

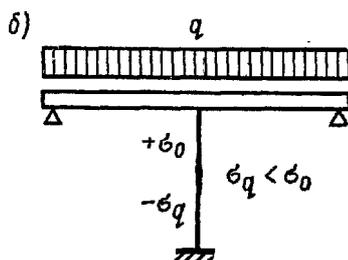


Рис. 1.5. Работа на сжатие гибких стержней при предварительном растягивающем напряжении: а – схема работы;  
 б – балка с опорой из гибкого стержня.

Большие деформации зачастую препятствуют применению высокопрочных сталей в конструкциях. В комбинированном стержне с предварительным напряжением удлинение от нагрузки не зависит от расчет разрезной балке смещением опорного сопротивления затяжки и. не может быть больше, чем удвоенное удлинение стержня из обычной малоуглеродистой стали, так как  $\sigma_{01}$  не может быть больше  $R_f$ . Следовательно, в предварительно-напряженном комбинированном стержне эффективно используется материал затяжки, что дает экономию металла. Это относится ко всем конструкциям (балкам, фермам, рамам и др.), предварительно напрягаемым затяжками. Кроме того, введение в работу затяжек изменяет расчетную схему конструкции, повышает ее статическую неопределимость, что в свою очередь повышает эффективность использования материала в конструкции.

Создание предварительного напряжения (растяжение) в гибких элементах для придания им жесткости. Гибкие металлические элементы – канаты, тонкие листы, проволока, арматурные стержни – обычно могут воспринимать только растягивающие усилия, несущая способность их на сжатие равна нулю. Однако если гибкие элементы предварительно натянуть, то они могут работать на сжатие в пределах погашения созданных в них растягивающих напряжений (рис. 1.5). На рис. 1.5,6 показана балка с гибкой средней опорой, в которой предварительным напряжением создано растягивающее усилие и

опора работает как жесткая стойка. Это широко используется в различного вида металлических конструкциях для повышения жесткости конструкции и эффективного использования гибких высокопрочных элементов, особенно в висячих системах, где предварительное напряжение гибких нитей обеспечивает жесткость системы.

### ***1.2. Фермы, предварительно напряженные затяжками***

Наиболее разработанный способ предварительного напряжения ферм – предварительное напряжение с помощью затяжек из высокопрочных материалов. Предварительное напряжение можно успешно применять в решетчатых конструкциях разного назначения. Наиболее разработаны предварительно-напряженные фермы покрытия зданий.

Возможности варьирования конструктивных схем в фермах значительно шире, чем в балках, и поэтому эффект применения предварительного напряжения здесь в значительной мере зависит от рационально выбранной для конкретного случая схемы фермы и затяжки, а также последовательности предварительного напряжения.

По характеру размещения затяжек и их влиянию на работу конструкции предварительно-напряженные фермы можно разделить на два основных типа: фермы, у которых затяжки размещены в пределах наиболее нагруженных стержней (рис.1.7) и вызывают предварительное напряжение только в этих стержнях, и фермы, у которых затяжки размещены в пределах всего пролета или части его и вызывают предварительное напряжение в нескольких или во всех стержнях фермы (рис. 1.7б-ж).

Фермы второго типа более разнообразны по конструктивным схемам и, как правило, более эффективны. В фермах первого типа предварительно напрягаются только растянутые стержни. Конструирование, расчет и работа таких стержней изложены в [4]. Предварительно-напряженные фермы такого типа рациональны лишь при больших пролетах и нагрузках, когда каждый из

предварительно напрягаемых стержней представляет собой отдельную от-правочную марку.

Наиболее простая схема ферм второго типа получается при устройстве одной или нескольких затяжек вдоль нижнего (растянутого) пояса (рис. 1.7,б-д). Одна затяжка создает предварительное напряжение в нескольких панелях пояса, вдоль которых она размещена, но другие стержни предварительного напряжения не получают. При больших пролетах, когда разница усилий в панелях нижнего пояса значительна, целесообразно устраивать две затяжки (рис. 1.7,в). В этом случае средние панели, имеющие большие расчетные усилия от нагрузки, получают большее разгружающее предварительное напряжение и материал в них используется рациональнее.

При равномерном предварительном напряжении всего нижнего пояса одной затяжкой предварительное напряжение лимитируется несущей способностью на сжатие наиболее гибкой панели. Натяжение затяжек целесообразно производить на заводе или на укрупнительной сборке. Чтобы обеспечить устойчивость пояса в процессе натяжения, затяжки по их длине соединяют с поясом диафрагмами через 40—50 наименьших радиусов инерции сечения пояса. Число ветвей в затяжке определяется формой сечения пояса и способом предварительного напряжения (рис. 1.8).

Удобнее иметь одну ветвь затяжки (рис. 1.8.), что уменьшает число анкерных креплений. При необходимости иметь две ветви и больше (рис. 1.8, а-г) они должны быть размещены симметрично по отношению к центру тяжести сечения пояса фермах достигает 10–12%. При устройстве затяжек ломаного очертания (шпренгельного типа) (рис. 1.7, ж) эффективность предварительного напряжения повышается. В этом случае натяжением одной затяжки можно создать предварительное напряжение в большем числе стержней.

Значительно большую экономию металла (25-30%) можно получить при шпренгельной затяжке, вынесенной за пределы фермы (рис. 1.9). Большая экономия металла получается в результате того, что при натяжении затяжек предварительное напряжение обратного знака по отношению к напряжениям

от нагрузки возникает как в нижнем (сжимающее), так и в верхнем (растягивающее) поясах.

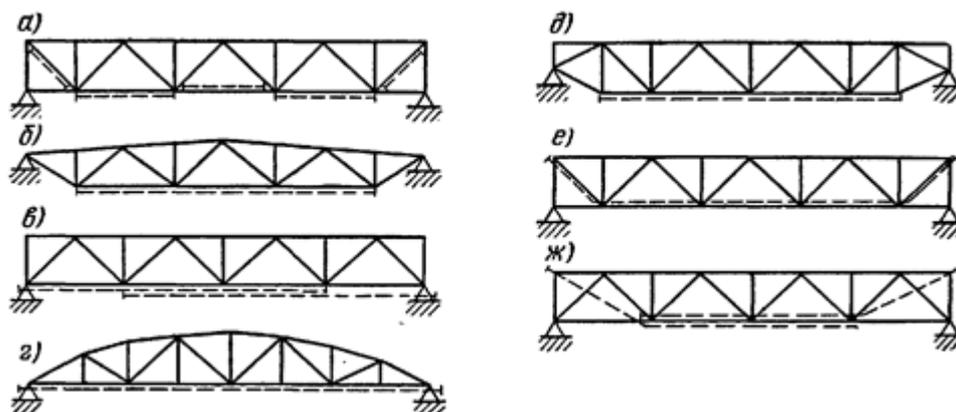


Рис.1.7. Предварительно-напряженные фермы покрытий.

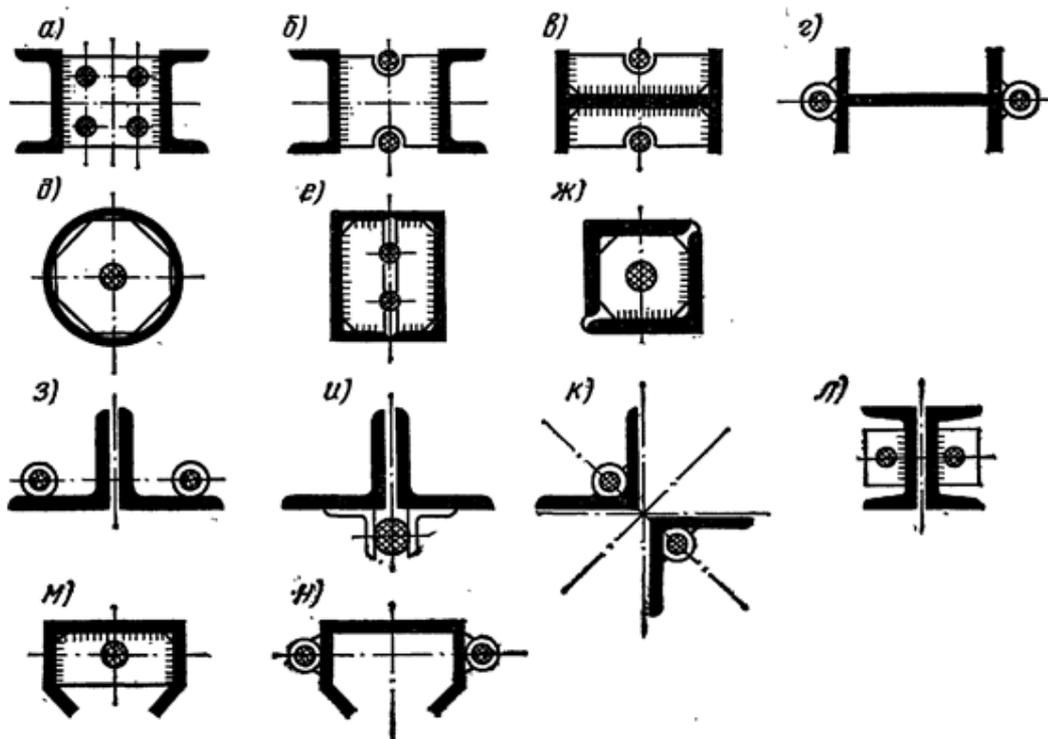


Рис.1.8. Сечения стержней ферм с размещением затяжек.

Недостаток конструкции с вынесенной затяжкой – увеличение габарита ферм, что не всегда возможно. Кроме того, затяжка не связана с нижним поясом фермы и не укрепляет его от потери устойчивости при предварительном напряжении. Это ограничивает возможности натяжения затяжки до установки фермы на место и требует или производить натяжение в проектном положении ферм после постановки связей, закрепляющих нижние пояса от потери устойчивости, или вести монтаж спаренными фермами, соединенными на ук-

рупнительной сборке в пространственный блок (рис. 1.9, д). Также можно создать пространственную трех поясную ферму, устойчивость нижнего пояса которой в процессе предварительного напряжения будет обеспечена (рис. 1.9, е). Трехпоясную систему особенно удобно выполнять из труб.

Многочисленные исследования и опыт проектирования показали, что наиболее эффективны предварительно-напряженные фермы арочного типа (рис. 1.10, в), которые имеют вспарушенный нижний пояс и прямолинейную затяжку по всей длине пролета. В этом случае, как и при выносной затяжке, предварительное напряжение натяжением затяжки создается во всех стержнях фермы. Однако габариты фермы не увеличиваются. Рациональность фермы во многом зависит от удачно выбранного очертания, уклона поясов, схемы решетки и т. п.

Оптимальная высота ферм посередине пролета от затяжки до верхнего пояса составляет  $1/6-1/8$  пролета, а высота жесткой части фермы принимается в пределах  $1/10-1/12$  пролета. Нижний пояс, сжатый в процессе предварительного напряжения, оказывается незакрепленным от потери устойчивости, поэтому, как и в фермах предыдущего типа, затяжку приходится натягивать в проектном положении ферм или создавать пространственные блоки.

Эффективность предварительного напряжения ферм в значительной степени зависит от последовательности натяжения затяжки и загрузки фермы. Натяжение затяжки в проектном положении конструкции после передачи на ферму части или всей постоянной нагрузки, как правило, дает больший эффект, чем натяжение до загрузки ферм (рис. 2.11). Опытное проектирование показало [13], что в фермах типа арка с затяжкой при правильно выбранных последовательности натяжения и натягивающего усилия можно получить экономию стали 25-30%. В легких предварительно-напряженных фермах (пролетом 30-42 м) рациональны стержни из гнутых профилей (рис. 1.8, м, н), а также из замкнутого прямоугольного сечения или из труб (рис. 1.8, д, е ж), так как их повышенная устойчивость позволяет увеличить силу предварительного напряжения.

В тяжелых фермах применяются стержни двухстенчатого (рис. 1.8, а–г) или трубчатого сечения. Узлы ферм конструируются как обычно, за исключением тех, в которых прикрепляются затяжка. Если ферма проектируется со стержнями, отдельно предварительно-напряженными затяжками, то каждый такой стержень в торце имеет анкерное крепление затяжки. Это крепление должно быть компактным и не выходить за пределы габарита стержня.

При закреплении затяжки, создающей общее предварительное напряжение в стержнях фермы, усилие в затяжке получается обычно значительным и поэтому надо при конструировании укреплять узел дополнительными ребрами жесткости (рис. 1.12).

Особенно значительный эффект можно получить при создании предварительного напряжения стальными затяжками в ферменных конструкциях из алюминиевых сплавов.

Введение стальных затяжек в конструкцию из алюминиевых сплавов, имеющих в три раза меньший, чем у стали, модуль упругости и значительно большую стоимость, повышает жесткость конструкции, снижает расход металла и стоимость. Причем в предварительно-напряженных конструкциях из алюминиевого сплава стоимость обычно снижается в большей степени, чем расход металла.

## ***1.2. Статический расчет и подбор сечений стержней ферм***

Однопролетные фермы с одиночной затяжкой являются один раз статически неопределимыми системами. В таких фермах за основную систему удобнее всего принимать жесткую часть фермы с одним лишним неизвестным – усилием в затяжке. В основной системе определяются усилия в стержнях от полной расчетной нагрузки  $N_p$ , от монтажной нагрузки  $N_M$ , действующей до натяжения затяжки, и от единичного усилия в затяжке  $N$ . Далее выявляется наиболее нагруженный в основной системе стержень нижнего пояса



Где  $N_3$  – расчетное усилие в затяжке;  $N_{pi}$  – усилие в стержне от единичной силы в затяжке.

Расчетное усилие для критического стержня

$$RF_k = N_k - N_{ik}N_3 \quad (1.9)$$

откуда получаем усилие в затяжке

$$N_3 = (N_k - RF_k)/N_{Ik} \quad (1.10)$$

и площадь затяжки

$$F_3 = N_3/R_3 \quad (1.11)$$

Здесь  $N_k$  – усилие критического стержня в основной системе,  $R$  и  $R_3$  – расчетные сопротивления соответственно материала стержня и затяжки. Зная  $N_3$ , по формуле (1.8) можно определить усилия и площади сечений всех стержней фермы.

Полное усилие в затяжке  $N_3$  складывается из усилия предварительного натяжения  $X$  и самонапряжения  $X_1$ . Усилие самонапряжения

$$x_1 = \frac{\sum \frac{N_{1i} N_{pi} l_3}{EF_i}}{\sum \frac{N_{1i}^2 l_i}{EF_i} + \frac{l_3}{E_3 F_3}} \quad (1.12)$$

где  $l_3$  и  $E_3$  – длина и модуль упругости затяжки.

Усилие предварительного натяжения затяжки

$$X = N_3 - X_1 \quad (1.13)$$

Окончательная проверка несущей способности стержней ферм на расчетные эксплуатационные нагрузки производится по следующим формулам: для стержней, у которых в основной системе усилия от расчетной нагрузки и от натяжения затяжки имеют разные знаки:

а) сжатые стержни при расчете основной системы на эксплуатационные нагрузки:

при  $N_{pi} > N_{xi}$

$$N_{pi} - (n_2X + X_1) N_{li} \leq m\varphi R F_{\bar{\sigma}pi}; \quad (1.19)$$

при  $N_{pi} < N_{xi}$

$$N_{pi} - (n_1X + X_1) N_{li} \leq m R F_{\text{нми}}; \quad (1.20)$$

б) растянутые стержни при расчете основной системы на эксплуатационные нагрузки:

при  $N_{pi} > N_{xi}$

$$N_{pi} - (n_2X + X_1) N_{li} \leq m R F_{\text{нми}}; \quad (1.21)$$

При  $N_{pi} < N_{xi}$

$$N_{pi} - (n_1X + X_1) N_{li} \leq m\varphi R F_{\bar{\sigma}pi}; \quad (1.22)$$

Для стержней, у которых в основной системе усилия от расчетной нагрузки и от натяжения затяжки имеют одинаковые знаки:

а) сжатые стержни

$$N_{pi} - (n_1X + X_1) N_{li} \leq m\varphi R F_{\bar{\sigma}pi} \quad (1.23)$$

б) растянутые стержни

$$N_{pi} - (n_2X + X_1) N_{li} \leq m R F_{\text{нми}} \quad (1.24)$$

Прочность затяжки проверяется по формуле

$$n_1X + X_1 \leq mR_3F_3 \quad (1.25)$$

Для отдельных стержней, у которых в основной системе усилия от нагрузки меньше, чем усилие от натяжения затяжки (предварительное напряжение плюс самоупругие напряжения), может оказаться необходимой проверка несущей способности на действие не расчетных, а нормативных нагрузок.

В формулах (1.14) – (1.25)  $N_{li}$  – усилие в стержне  $i$  от единичного усилия в затяжке;  $N_{xi}$  – усилие в стержне  $i$  от полного натяжения затяжки;  $\varphi$  – коэффициент продольного изгиба, принимаемый по наибольшей гибкости. При определении гибкости свободная длина стержней, не связанных по длине с затяжкой диафрагмами, определяется по обычным правилам. При устройстве

затяжки вдоль стержня его свободная длина принимается равной расстоянию между точками соединения затяжки со стержнем. Однако, учитывая, что затяжка не всегда плотно примыкает к диафрагмам, целесообразно свободную длину принимать на 10-20% больше расстояния между диафрагмами.

Кроме расчета на эксплуатационные нагрузки необходимо произвести расчет на нагрузки, действующие в стадии предварительного напряжения. Расход металла, так же как и стоимость фермы, зависит от усилия в затяжке. Известно несколько методов нахождения оптимального усилия в затяжке, при которых достигается минимальный расход металла или наименьшая стоимость фермы [13].

Если в ферме  $n$  затяжек, которые натягиваются последовательно, то при натяжении одной из затяжек усилия во всех ранее натянутых затяжках изменяются. Это не относится к фермам, у которых каждый стержень предварительно напрягается своей затяжкой, или к системам, у которых каждая затяжка работает независимо от других.

### ***1.3. Общие сведения о компьютерной программе «SteelTruss» и учет предварительного напряжения стержней***

**Общие сведения о программе.** По определению фермой является стержневая геометрически-неизменяемая система с идеальными шарнирами в узлах, нагруженная узловыми нагрузками. В стержнях такой конструкции действуют только продольные силы – сжатие и растяжение. Фермы могут быть плоскими и пространственными, они могут иметь различное назначение и очертание.

В большинстве компьютерных программ для определения усилий и перемещений в фермах используется метод конечных элементов (МКЭ), позволяющий определить линейные перемещения всех узлов по направлениям осей координат, а затем усилия в стержнях. В частности, этот метод используется в широко известном программном комплексе «Лира» [8].

При использовании МКЭ в форме метода перемещений неизвестными являются перемещения узлов конструкции. Каждый узел плоской фермы имеет два неизвестных перемещения, а пространственной – три неизвестных перемещения. Каждый стержень связей уменьшает количество неизвестных перемещений на единицу.

Общее число неизвестных перемещений определяет порядок системы линейных уравнений, которую нужно решить для определения неизвестных. Матрица этой системы называется «матрицей жесткости», а правые части уравнений образуют вектор нагрузок. Для плоских ферм порядок системы уравнений составляет 20-200, а для пространственных - 500-5000 и более. Понятно, что решение такой системы вручную даже при 10 неизвестных невозможно. Поэтому раньше – при отсутствии компьютеров и соответствующих программ разрабатывались различные методы приближенного расчета ферм, которые сейчас утратили свое значение. Что касается МКЭ, то его применение без компьютерной реализации вообще невозможно.

В настоящее время существуют мощные вычислительные комплексы, позволяющие выполнять расчеты различных конструкций – в том числе и ферм – с применением МКЭ. Помимо уже названной программы «Ли́ра», это еще программы «MicroFe» и «SCAD». Они позволяют рассчитывать системы с количеством неизвестных в десятки тысяч, предоставляя пользователям и много дополнительных возможностей. В частности, программа «Ли́ра» позволяет определять усилия в стержнях ферм при любых загрузениях, а также производить подбор сечений стальных стержней из стандартных профилей.

Вместе с тем наличие универсальных систем с огромным набором типов конечных элементов вовсе не отменяет значение узкоспециализированных программ для расчета отдельных видов конструкций. Достоинством специализированных программ является их компактность и простота использования при наличии тех же возможностей, что и в универсальных программах. Поэтому разрабатываются и успешно используются программы расчета балок, ферм, рам, различных пространственных систем и т.п. из разных материалов.

Для авторов подобных разработок наличие собственных программ имеет и то преимущество, что их коды открыты и понятны - поэтому возможно совершенствование программ и экспериментирование с ними.

Примером такой специализированной программы является и используемая нами программа «WinTruss» и ее модификация «SteelTruss». При этом программа «WinTruss» предназначена для расчета ферм из любых материалов без подбора сечений стержней, а программа «SteelTruss» предназначена именно для стальных ферм. Обе версии программы имеют общие блоки ввода данных и расчета, позволяют учесть все виды нагрузок (статические, сейсмические и предварительное напряжение), а также определять расчетные сочетания усилий (PCY). Но версия «SteelTruss» дополнительно позволяет осуществлять подбор сечений стальных ферм из стандартных (прокатных) профилей с учетом унификации типоразмеров. При этом в программу включен электронный сортамент прокатных профилей.

Программы написаны на языке программирования «Object Pascal» в среде разработки «Delphi 7» для операционной системы Windows. По набору возможностей применительно к расчету стальных ферм эти программы не уступают комплексу «Ли́ра»; при этом достоверность результатов многократно проверена путем их сопоставления с данными, полученными по программе «Ли́ра».

Последняя версия программы «SteelTruss» имеет наиболее удобную пользовательскую среду, которая подробно описана в руководстве [9]. Главная экранная форма программы представлена на рис. 1.26. Здесь мы видим главное меню и панель инструментов, а в клиентской области – многостраничный двухуровневый блокнот с таблицами данных и результатов расчета.

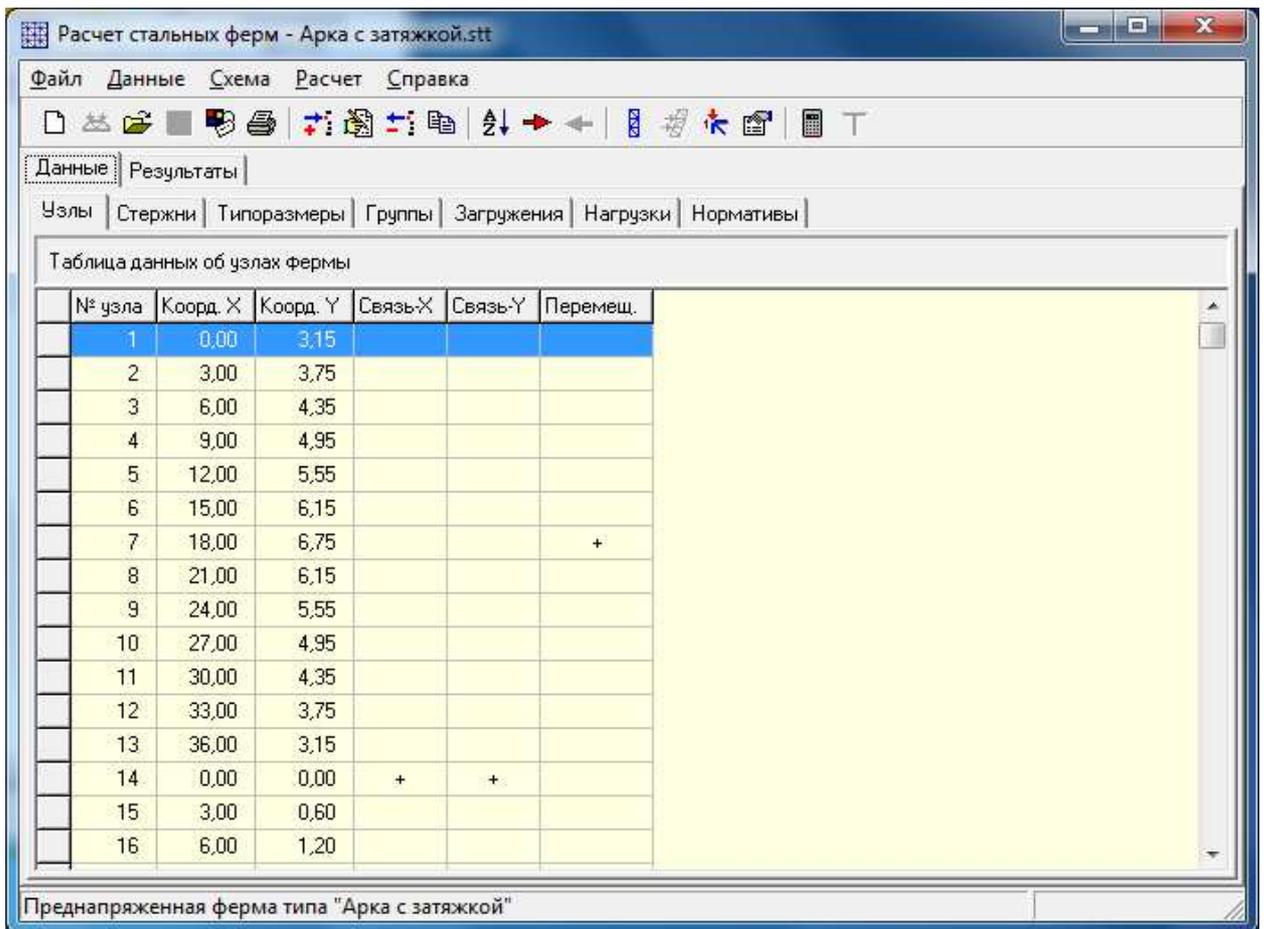


Рис. 1.26. Главная экранная форма программы.

Таблицы данных заполняются пользователем с использованием диалоговых окон для добавления, исправления и удаления элемента активной таблицы. При наличии регулярности данных возможно копирование одной или нескольких выделенных строк таблицы с заданием приращений данных. Возможно также выделение группы строк таблицы для одновременного исправления общих данных.

После ввода всех данных можно просматривать недеформированные схемы конструкции определяя с помощью панели инструментов вид схемы. Эти схемы можно сохранять в отдельных файлах, копировать в буфер обмена и включать в отчет для печати.

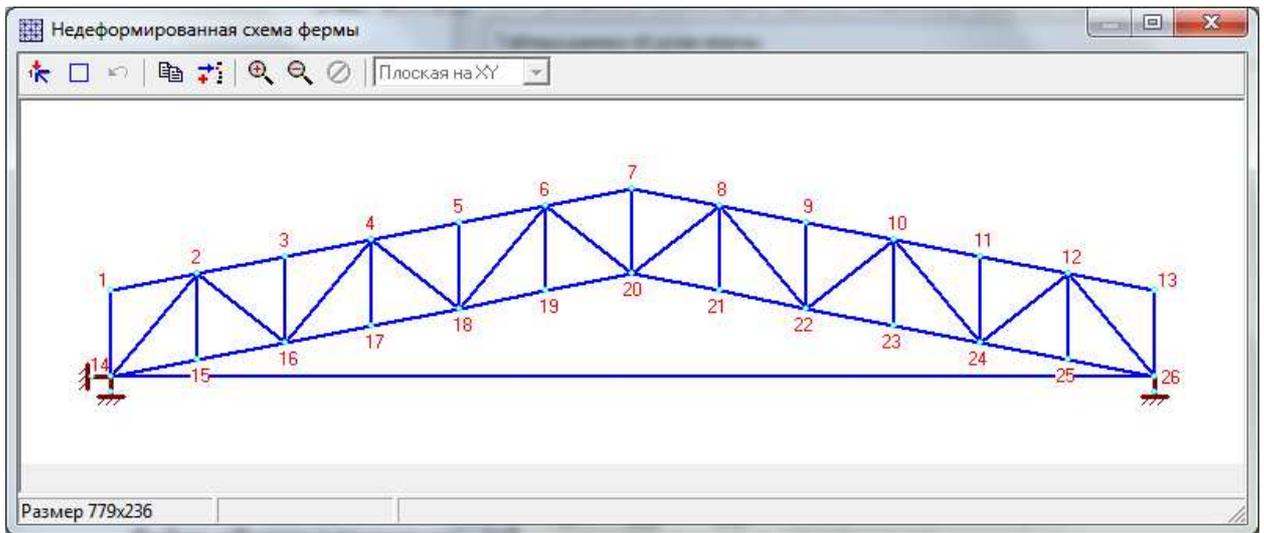


Рис. 1.27. Недеформированная схема фермы с нумерацией элементов.

Программа имеет блок формальной проверки правильности исходных данных, который используется перед просмотром схем или выполнением расчета. При наличии ошибки выводится соответствующее сообщение, а выполнение заданной команды отменяется.

На геометрической схеме можно обнаружить и неформальные ошибки в данных (например, неверные координаты узла, неверное положение стержня, лишние стержни и др.). Что касается геометрической неизменяемости системы, то ее можно проверить только в процессе расчета. При недостаточном количестве связей или неправильной конфигурации фермы ее узлы будут иметь большие перемещения. В этом случае расчет прерывается и выдается сообщение об ошибке.

Решение любой задачи по расчету фермы состоит из следующих этапов:

1. Анализ условий задачи и подготовка исходных данных в форме схем и таблиц (расчетная схема с нумерацией узлов, стержней, типоразмеров и т.д., схемы всех загружений, таблицы данных об узлах, стержнях, нагрузках, типоразмерах и др.).
2. Создание нового файла задачи и ввод всех данных с просмотром графических схем и исправлением таблиц данных.
3. Расчет фермы – при сообщении об ошибках в данных их нужно исправлять и снова запускать расчет.

4. Просмотр и печать результатов в виде таблиц, а также деформированных графических схем.
5. При необходимости корректировка расчетной схемы и исходных данных и повторный расчет системы.

Нагрузки могут быть узловые и предварительное напряжение. В 1-ом случае задается номер узла, направление (по оси координат) и величина нагрузки. Во 2-м случае задается номер стержня и величина преднапряжения.

Основным расчетным блоком программы является процедура определения перемещений узлов по МКЭ. Матрица жесткости формируется как двумерный ленточный массив, при этом ширина ленты зависит от нумерации узлов и весьма существенно влияет как на размер матрицы, так и на время счета. При многих загрузках векторы нагрузок объединяются в матрицу нагрузок.

Далее производятся исключение неизвестных путем сведения матрицы жесткости к треугольному виду (прямой ход по Гауссу) и определение перемещений (обратный ход по Гауссу). Обратный ход выполняется для каждого столбца матрицы нагрузок отдельно, при этом вычисленные перемещения сохраняются в другой матрице. По завершении расчета матрицы жесткости и нагрузок удаляются из памяти, а матрица перемещений сохраняется и может использоваться для определения усилий в стержнях и просмотра деформированных схем.

Определение перемещений узлов производится одновременно с решением динамической задачи (если задано сейсмическое нагружение). Для этого путем определения перемещений от единичных нагрузок формируется матрица податливости, которая используется для определения собственных чисел и векторов методом итераций. Далее по нормам расчета на сейсмические воздействия определяются сейсмические нагрузки по каждой заданной форме колебаний, от которых снова вычисляются перемещения. При этом всякий раз используется одна и та же матрица жесткости, приведенная после исклю-

чения неизвестных к треугольному виду. Далее – если это задано пользователем - вычисляются усилия, РСУ и производится подбор сечений стержней.

**Таблица данных о нормативах для подбора сечений.** Норматив – это набор данных для подбора сечений стержней по действующим нормам проектирования стальных конструкций. В него входят коэффициенты приведенной длины в плоскости и из плоскости фермы, предельные гибкости по сжатию или растяжению и коэффициенты условий работы. Для стержней из одиночных уголков можно задать подбор сечений по минимальному радиусу инерции, для стержней из других профилей эта опция не имеет значения.

Отметим, что одинаковый номер норматива присваивается стержням, имеющим полностью совпадающий набор указанных данных. Кроме того, объединение стержней по типоразмеру и нормативу имеет разный смысл – в первом случае речь идет об унификации стержней, а во втором случае об их расчете.

**Определение РСУ.** После определения усилий от каждого нагружения и для каждой формы колебаний сейсмического воздействия программа вычисляет РСУ. При этом используются критерии наибольшего растяжения или сжатия стержня. Программная процедура вычисляет все реальные комбинации нагружений всех типов РСУ (основное 1, основное 2 и особое), отбирая наиболее неблагоприятные с точки зрения рассматриваемого критерия. При этом усилия умножаются на свои коэффициенты сочетаний, а в таблицу результатов по РСУ выводятся суммарные усилия с указанием критерия, типа РСУ и учтенных нагружений.

Отметим, что преднапряжение всегда является отдельным нагружением и относится к постоянным нагрузкам.

При наличии сейсмической нагрузки с высшими формами колебаний совместный учет усилий от всех форм колебаний производится по рекомендациям норм проектирования .

**Программная процедура подбора сечений.** Как показано выше, профиль сортамента для типоразмера задается в исходных данных. Поэтому про-

грамма должна решить две задачи – определить минимально необходимый профиль сортамента (расчетный профиль), и выполнить проверку заданного профиля. Дальнейшие действия пользователя будут зависеть от результатов этих расчетов по всем типоразмерам.

При решении первой задачи осуществляется перебор профилей сортамента, начиная с минимального по площади, до тех пор, пока не выполняются все нормативные проверки для всех стержней данного типоразмера. Поскольку профили отсортированы по возрастанию площади сечения, результатом такого расчета будет оптимальный профиль с наименьшей площадью.

При этом возможен случай, когда ни один профиль сортамента не пройдет необходимых проверок. Тогда пользователь должен изменить исходные данные – тип сортамента, расчетное сопротивление стали или расчетную схему фермы.

Что касается второй задачи, то она сводится к проверке заданного профиля для всех стержней типоразмера. Результаты расчета выводятся в таблицы «Сечения» и «Спецификация» вкладки «Результаты» главной экранной формы. В таблице «Сечения» приводятся расчетные гибкости и безопасные напряжения для всех расчетных стержней. Здесь можно увидеть, какие стержни типоразмера являются наиболее напряженными и наименее напряженными. По этим данным можно производить корректировку, как расчетной схемы фермы, так и способа унификации стержней

**Библиотека сортаментов.** Сечения стержней ферм подбираются из заданного набора стандартных профилей, данные о которых находятся в разработанной нами библиотеке сортаментов. В данной программе имеются следующие виды сортамента:

- Уголки одиночные равнополочные;
- Уголки спаренные равнополочные;
- Тавры типа Б;
- Тавры типа Ш;
- Двутавры колонные;

- Трубы электросварные;
- Замкнутые квадратные гнутосварные профили.
- Замкнутые прямоугольные гнутосварные профили.

Кроме того, для предварительно напряженных затяжек можно задавать тип сечения «Затяжка» – тогда вместо профиля вводится площадь сечения.

Для профилей сортамента в библиотеке имеются такие данные, как площадь сечения  $A$ , радиусы инерции  $i_x$ ,  $i_y$ ,  $i_{min}$ , а также флаг использования профиля. Все данные о профилях сортамента взяты из соответствующих стандартов. С помощью вспомогательной программы данные стандартов обрабатываются и записываются в файл библиотеки «Profiles.stm»; при загрузке основной программы этот файл загружается в память и производится сортировка профилей каждого сортамента в порядке возрастания площади сечения. Отметим, что библиотека сортаментов может пополняться новыми типами сортаментов и профилей.

В основной программе пользователь имеет возможность запрещать или разрешать использование тех или иных профилей в зависимости от их доступности или по иным соображениям.

№ типа	Тип сечения	Расч. профиль	Прин. профиль	Расч. масса	Прин. масса	Прин. в %
1	Тавр типа Б	15-БТ1	15-БТ1	199,82	199,82	100,00
2	Тавр типа Б	15-БТ1	17,5-БТ*	199,82	211,34	105,77
3	Тавр типа Б	17,5-БТ3	17,5-БТ3	285,31	285,31	100,00
4	Тавр типа Б	17,5-БТ2	15-БТ2	259,38	Не доп.	-
5	Уголки спар.	2x125x8	2x125x8	527,26	527,26	100,00
6	Уголки спар.	2x90x7	2x90x7	328,83	328,83	100,00
7	Уголки спар.	2x90x7	2x90x7	520,55	520,55	100,00
8	Затяжка	Гибкий ст.	Гибкий ст.	121,66	122,02	100,29
Всего:				2442,63	Не доп.	-

Арка с затяжкой 24м (много типоразмеров)

Рис. 1.28. Таблица «Спецификация» результатов расчета 1-го приближения.

В таблице «Спецификация» приводятся данные о расчетных и принятых профилях (их легко сравнивать), а также расчетные и принятые массы типоразмера и общая масса фермы. При этом массы принятых профилей даются только в том случае, если они прошли проверку; в противном случае вместо массы будет написано «Не допускается». Соответственно и общая масса фермы, вычисленная по принятым профилям, появится только при выполнении проверок для всех типоразмеров.

Ввиду произвольного назначения профилей задачу чаще всего приходится решать в несколько попыток, изменяя после каждой из них сечения типоразмеров. При этом таблица «Спецификация» позволяет наглядно увидеть результаты расчета и принять меры по корректировке типоразмеров.

Например, показанный на рис.1.28 результат расчета фермы 1-го приближения нельзя считать окончательным, так как принятые профили типоразмеров 1-3 не прошли проверку. Что касается типоразмера 4, то для него

принятый профиль оказался избыточным и его масса составляет 105,77% от расчетного. Общая масса фермы вычислена только по расчетным профилям (минимальная).

Для оптимизации сечений в программе есть опция «Замена профилей» (в меню «Расчет»); эта команда изменяет принятые профили на расчетные. Выполнив эту замену, произведем повторный расчет и получим следующий результат (рис. 1.29).

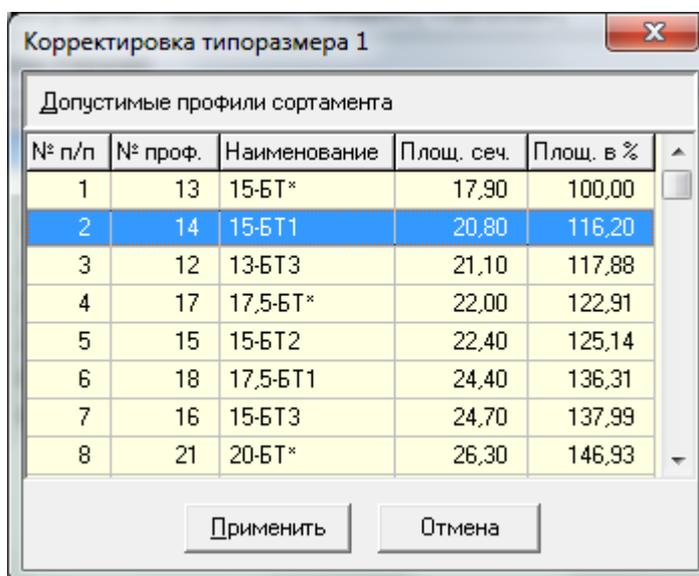
№ типа	Тип сечения	Расч. профиль	Прин. профиль	Расч. масса	Прин. масса	Прин. в %
1	Тавр типа Б	15-БТ1	15-БТ1	199,82	199,82	100,00
2	Тавр типа Б	15-БТ1	15-БТ1	199,82	199,82	100,00
3	Тавр типа Б	17,5-БТ3	17,5-БТ3	285,31	285,31	100,00
4	Тавр типа Б	17,5-БТ2	17,5-БТ2	259,38	259,38	100,00
5	Уголки спар.	2x125x8	2x125x8	527,26	527,26	100,00
6	Уголки спар.	2x90x7	2x90x7	328,83	328,83	100,00
7	Уголки спар.	2x90x7	2x90x7	520,55	520,55	100,00
8	Затяжка	Гибкий ст.	Гибкий ст.	120,21	121,66	101,21
Всего:				2441,18	2442,63	100,06

Рис. 1.29. Таблица «Спецификация» результатов расчета 2-го приближения.

Здесь мы видим полное совпадение расчетных и принятых профилей, поэтому результат расчет 2-го приближения можно считать окончательным. Для статически неопределимых ферм или при учете сейсмических воздействий может понадобиться более двух попыток расчета, так как в этих случаях усилия в стержнях зависят от их жесткостей. Если процесс замены жесткостей не сходится, то рекомендуется назначать профили типоразмеров вруч-

ную по результатам расчета. В любом случае пользователь может принимать профили с завышенной массой и считать такой результат окончательным.

В программе предусмотрена также возможность корректировки сечений типоразмеров после расчета 1-го приближения. При этом для выбранного типоразмера появляется экранная форма (рис. 1.30) со списком всех допускаемых профилей сортамента. При этом расчетный профиль с минимальной площадью будет первым, а для остальных будет указана относительная площадь в процентах. После такой корректировки нужно будет выполнить повторный расчет фермы для определения общей массы и ее превышения относительно минимальной.



№ п/п	№ проф.	Наименование	Площ. сеч.	Площ. в %
1	13	15-БТ*	17,90	100,00
2	14	15-БТ1	20,80	116,20
3	12	13-БТ3	21,10	117,88
4	17	17,5-БТ*	22,00	122,91
5	15	15-БТ2	22,40	125,14
6	18	17,5-БТ1	24,40	136,31
7	16	15-БТ3	24,70	137,99
8	21	20-БТ*	26,30	146,93

Рис. 1.30. Экранная форма для корректировки сечения типоразмера.

Возможность корректировки сечений необходима в тех случаях, когда расчетный профиль нежелателен по конструктивным или иным соображениям. Эту опцию программы нужно использовать наряду с разрешением использования профилей сортамента. Отметим, что расчетный профиль выбирается только из числа разрешенных, поэтому нужно помнить об этом и вовремя исправлять флаги использования профилей.

Таким образом, блок подбора сечений программы «SteelTruss» позволяет определять минимально необходимые профили типоразмеров и производить проверки заданных профилей на основе норм проектирования стальных конструкций. Результаты расчетов позволяют судить о применимости и эко-

номичности принятых профилей, а также корректировать их как в целях экономии материала, так и по конструктивным соображениям

#### ***1.4. Выводы по главе и задачи исследований***

На основе анализа состояния вопроса по теме диссертационной работы можно сделать следующие основные выводы:

- 1) Стальные преднапряженные фермы покрытий пролетами 18-36 м для промышленных и гражданских зданий достаточно хорошо разработаны и для них имеются четкие рекомендации по выбору геометрических и конструктивных схем. Однако используемые в литературе ручные методы расчета устарели и не позволяют быстро и эффективно производить анализ и поиск оптимальных конструктивных решений.
- 2) Стальные преднапряженные фермы широко востребованы в строительстве, в том числе и в Узбекистане, однако для них типовых решений нет, а имеющиеся рекомендации основаны на устаревших данных о стандартных профилях проката, и не учитывают такие особенности нашего региона, как сравнительно небольшие нагрузки от покрытия и наличие сейсмических воздействий.

3) Программа «Стальные фермы» позволяет производить быстрый расчет преднапряженных ферм с любой геометрической схемой и схемой преднапряжения, что дает эффективный инструмент для проведения многочисленных расчетов с целью анализа конструктивных решений.

На основе этих выводов сформулированы следующие основные задачи исследований в настоящей работе, которые будут решаться с применением программы «Стальные фермы»:

1. Отработка методики расчета преднапряженных ферм различного типа в программе «Стальные фермы» и определение оптимального преднапряжения затяжек при различных пролетах и нагрузках.

2. Определение оптимальных параметров ферм типа «арка с затяжкой», а именно – очертание, величина преднапряжения затяжки, профили сортамента, расчетные сопротивления материалов и др. при различных пролетах и нагрузках.
3. Анализ влияния вертикальных сейсмических нагрузок и других параметров на ТЭП фермы путем целенаправленного перебора вариантов и решения соответствующих задач программе «Стальные фермы».
4. Разработка рекомендаций по выбору рациональных геометрических и конструктивных параметров преднапряженных ферм пролетами 24-36 м и их расчету с применением программы «Стальные фермы».

## Глава 2. Методика расчета и анализа преднапряженных ферм с использованием компьютерной программы «SteelTruss»

### 2.1 Детальное описание примера расчета стальной фермы с преднапряженной затяжкой в программе «SteelTruss».

Детальное описание примера расчета стальной фермы с преднапряженной затяжкой начнем с того, что примем для примера ферму типа «арка с затяжкой» пролетом 36 метров и покажем методику ее расчета с помощью программы «Стальные фермы».

**Преднапряженная ферма типа «арка с затяжкой».** Вначале примем шаг 12 м, высота фермы в 1-ом приближении  $H= 3,0$  м (транспортный габарит), уклон верхнего пояса – 20%. Создадим новый файл задачи и зададим его основные параметры. Для проверки прогиба фермы зададим печать перемещений конькового узла; кроме того, зададим печать РСУ и сечений типоразмеров. Сейсмическую нагрузку пока не учитываем.

**Таблица данных об узлах фермы.** Вначале вычертим на бумаге схему фермы, зададим номера узлов и стержней, и вычислим координаты узлов. Выбираем вкладку «Узлы» и вводим данные, используя, где это возможно, копирование групп узлов.

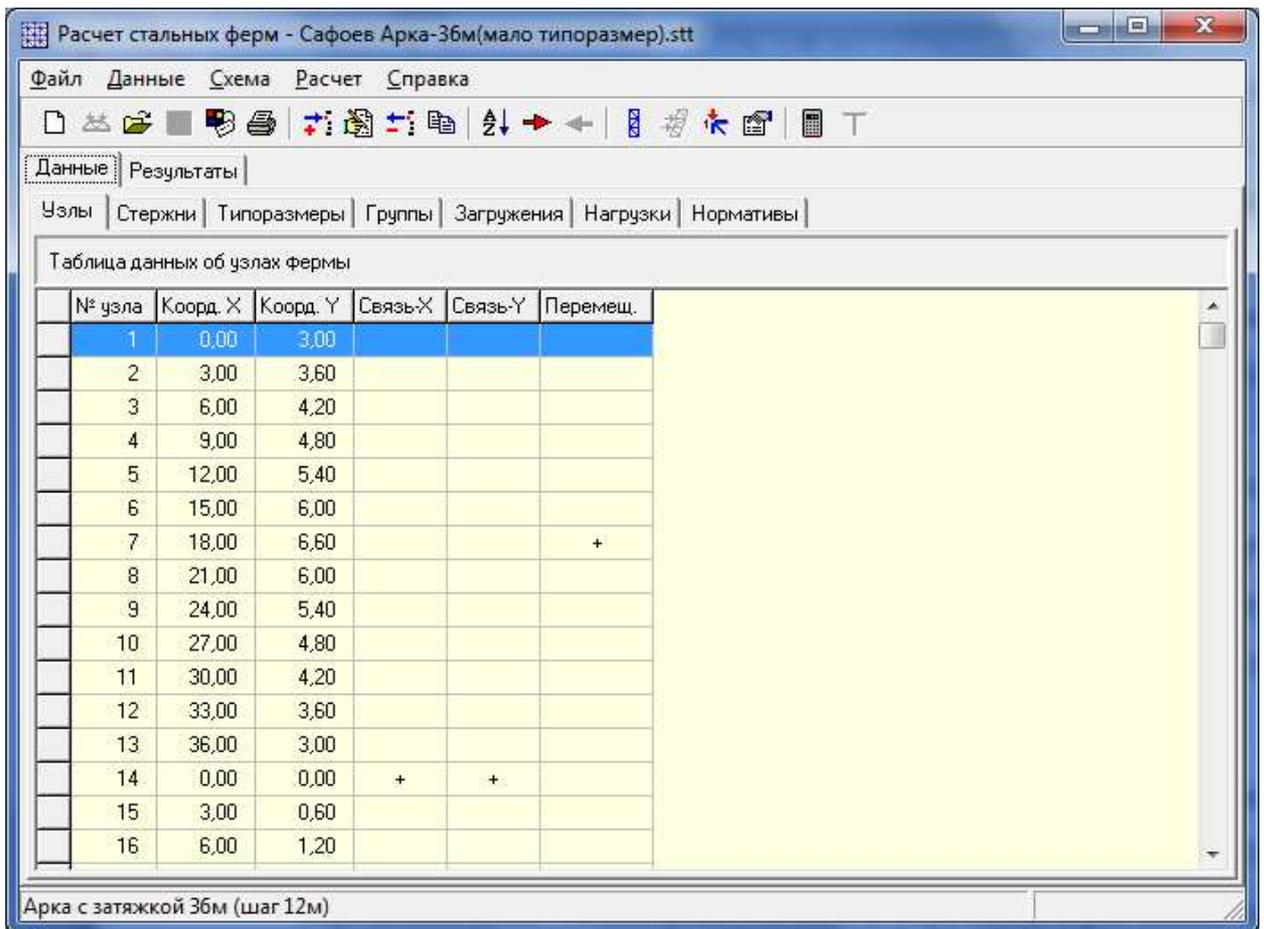


Рис.2.1. Экранная форма ввода данных об узлах фермы

**Таблица данных о стержнях фермы.** Выбираем вкладку «Стержни» и приступаем к заполнению данных о стержнях фермы в табличной форме. В этой таблице мы вводим номер стержня, начало узла, конец узла (в которой находится стержень), типоразмер, нормативы и расчет.

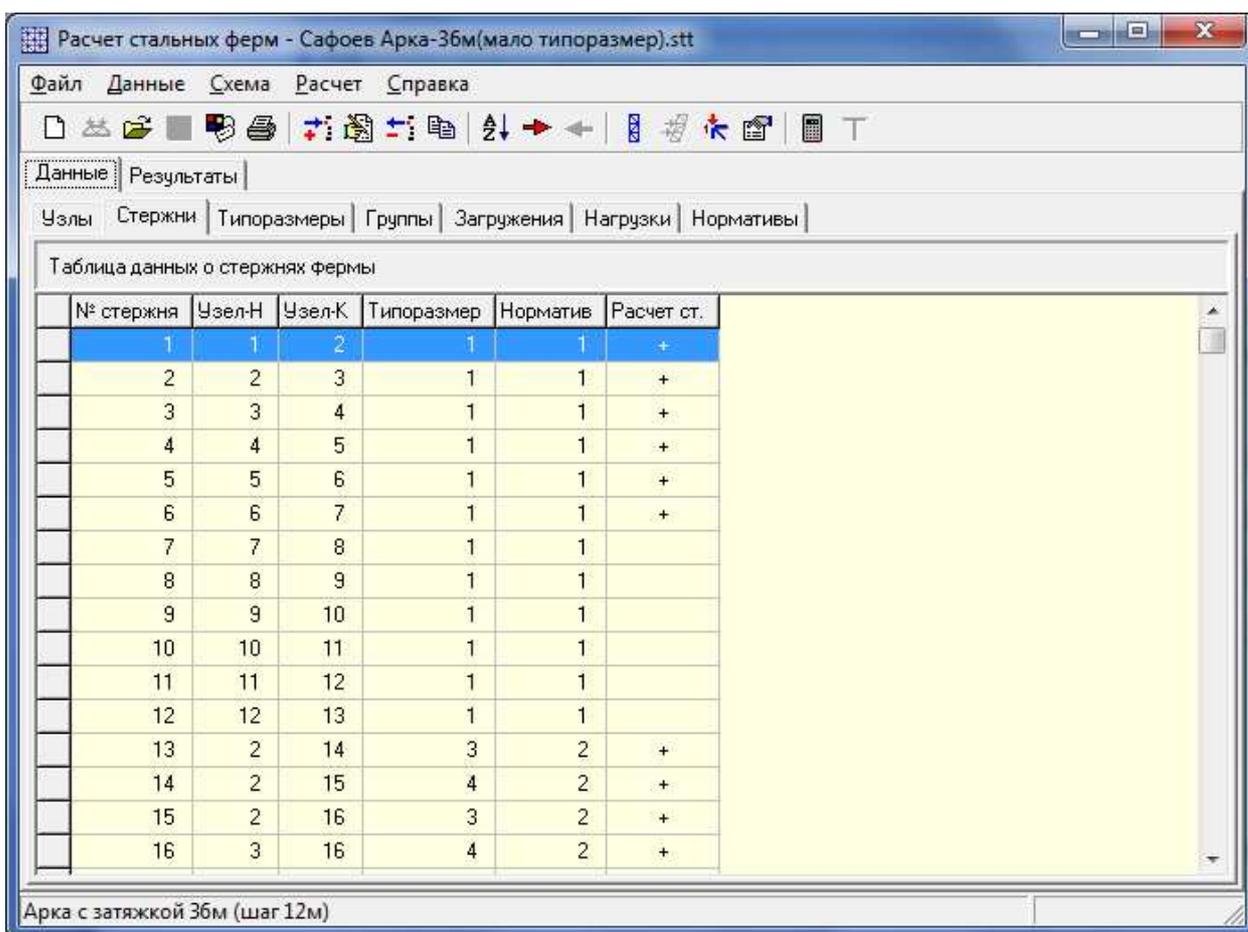


Рис.2.2. Экранная форма ввода стержней фермы.

**Подбор сечений стержней.** При вводе данных о стержнях каждому элементу присваивается номер типоразмера и номер норматива. Типоразмер определяет свойства материала (модуль упругости и расчетное сопротивление), а также тип сортамента и размер профиля. Объединяя группы стержней в один типоразмер, мы тем самым осуществляем унификацию стержней, от способа которой зависят расход стали и трудоемкость изготовления. .

В нашем случае в качестве профилей для верхних и нижних поясов выбираем «Тавры типа Б», а в качестве раскосов и стоек «Уголки спаренные равно полочные» и затяжку из «Гибкой стали».

**Таблица данных о группах загружений.** В данной таблице мы вводим какие группы загружений действуют на фермы. В нашем примере мы вводим три загружения: собственный вес, преднапряжение затяжки и снеговая нагрузка.

№ типа	Модуль упр.	Расч.сопр.	Тип сечения	Прин. профиль	Площ. сеч.
1	206500,00	230,00	Тавр типа Б	25-БТ1	45,90
2	206500,00	230,00	Тавр типа Б	20-БТ2	33,50
3	206500,00	230,00	Уголки спар.	2x140x10	54,66
4	206500,00	230,00	Уголки спар.	2x90x7	24,56
5	206500,00	850,00	Затяжка	Гибкий ст.	9,68

Рис.2.3. Таблица данных о типоразмерах стержней

**Таблица данных о загружениях фермы.** Таблица данных о загружениях фермы заполняется аналогично предыдущему пункту.

Для вычисления расчетных сочетаний усилий от многих загружений (PCY) вводятся данные о группах зависимых загружений, в которых указывают тип нагрузки и коэффициенты сочетаний. В соответствии с требованиями норм проектирования [1,3] учитываются основные сочетания с одной временной нагрузкой (тип 1), основные сочетания с двумя и более временными нагрузками (тип 2), а также особые сочетания (с сейсмической нагрузкой).

**Таблица данных о нагрузках.** Чтобы заполнить таблицу данных о нагрузках надо сначала посчитать вручную для данного района и принимая определенную кровлю.

Определим нагрузки на фермы, приняв утепленную кровлю из стального профилированного настила по прогонам, а снеговую нагрузку – для 1-го рай-

она (Узбекистан). В соответствии с [3] нормативная снеговая нагрузка  $p_o = 0,5$  кПа ( $50 \text{ кг/м}^2$ ), сейсмичность района будем принимать равной 7,8 и 9 баллов.

Определение нагрузки от собственного веса покрытия представлено в таблице 1.

Таблица 1.1. Определение постоянной нагрузки  $1 \text{ м}^2$  покрытия

№ п/п	Наименование нагрузок	Нормативная нагрузка $\text{кН/м}^2$	Коэффициент надежности по нагрузке	Расчетная нагрузка $\text{кН/м}^2$
1	Защитное покрытие из гравия, втопленного в битумную мастику	0,10	1,2	0,12
2	4 слоя рубероида на битумной мастике	0,20	1,3	0,26
3	Утеплитель – пенобетон, $\gamma = 6,0 \text{ кН/м}^3$ , $\delta = 100\text{--}120$ мм	0,60-0,72	1,2	0,72-0,864
4	Стальной профнастил, $\delta = 0,8$ мм.	0,12	1,05	0,124
5	Стальные прогоны (шаг 3,0 м)	0,06	1,05	0,063
6	Собственный вес ферм и связей	0,22-0,30	1,05	0,231-0,315
	Итого	1,30-1,50		1,52-1,746

Примем максимально возможную расчетную нагрузку, равную  $1,746 \text{ кН/м}^2$ . Средний коэффициент надежности для определения перемещений от нормативной нагрузки:

$$\gamma_{cp} = 1,746/1,5 = 1,164.$$

Расчетная снеговая нагрузка  $0,5 \cdot 1,4 = 0,7 \text{ кН/м}^2$ . Определим узловые нагрузки:

### Загружение 1. Постоянная нагрузка.

Шаг 6 м:  $Q_n = 6 \cdot 1,746 \cdot 3 = 31,43 \text{ кН/м.}$

Шаг 12 м:  $Q_n = 12 \cdot 1,746 \cdot 3 = 62,86 \text{ кН/м.}$

### Загружение 2. Снеговая нагрузка.

Шаг 6 м:  $Q_{сн} = 6 \cdot 0,7 \cdot 3 = 12,6 \text{ кН/м.}$

Шаг 12 м:  $Q_{сн} = 12 \cdot 0,7 \cdot 3 = 25,2 \text{ кН/м.}$

### Загружение 3. Вертикальная сейсмическая нагрузка.

Шаг 6 м. Распределенная нагрузка для определения сейсмических масс равна:

$$Q_n = 0,9 \cdot Q_n + 0,5 \cdot Q_{сн} = 0,9 \cdot 10,476 + 0,5 \cdot 4,2 = 11,53 \text{ кН/м.}$$

Шаг 12 м. Распределенная нагрузка равна:

$$Q_n = 0,9 \cdot 20,952 + 0,5 \cdot 8,4 = 23,06 \text{ кН/м.}$$

Для первоначального анализа примем расчетное сопротивление стали  $R_y = 230 \text{ МПа}$ . После расчетов заполняем данную таблицу чтоб программа могла посчитать и вывести результат.

Примем вначале пояса из тавров, решетку из спаренных уголков и затяжку из гибкой стали. На последующих рисунках 2.4-2.6 показаны скопированные из программы схемы фермы с нумерацией узлов, стержней и нагрузками. После 1-го расчета произведем замену профилей в меню «Расчет» и произведем 2-ой расчет.

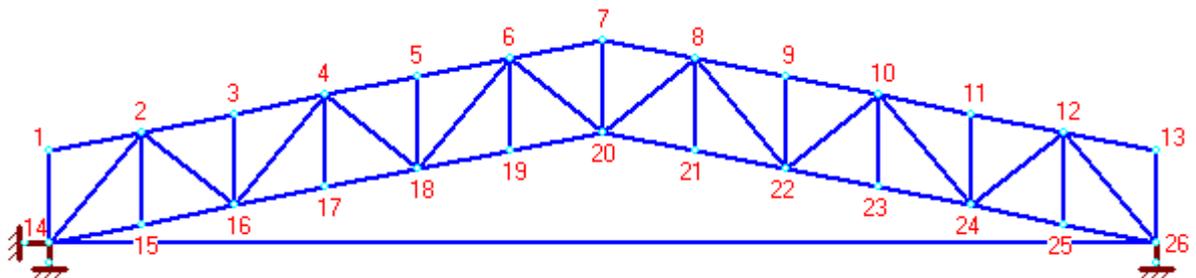


Рис. 2.4. Схема нумерации узлов фермы пролетом 36м

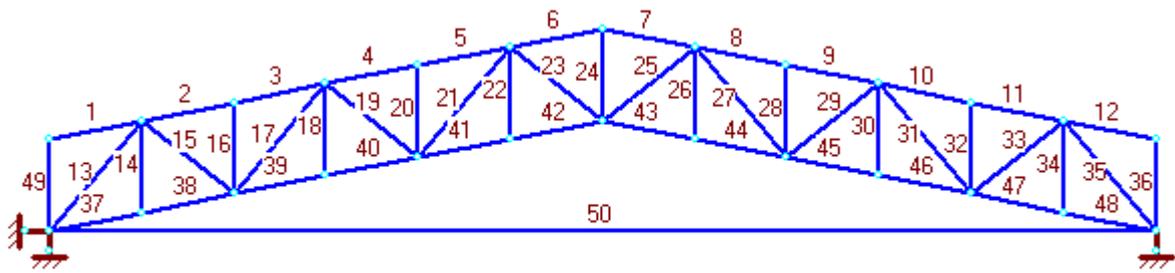


Рис. 2.5. Схема нумерации стержневой фермы пролетом 36м

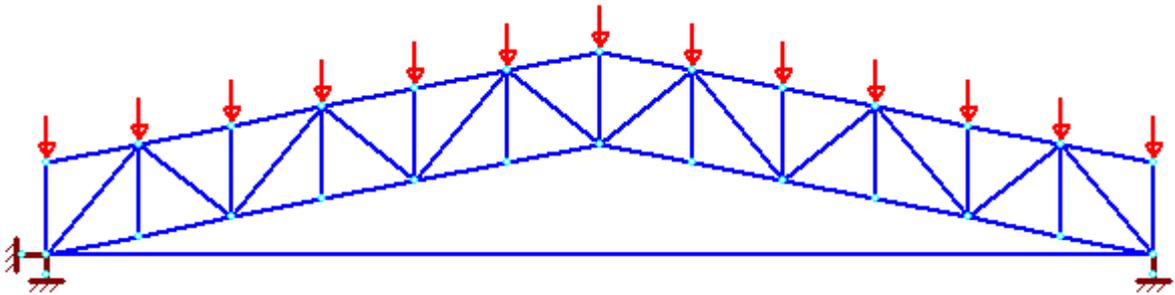


Рис. 2.6. Схема загрузки фермы постоянной и снеговой нагрузками

В результате получим следующие результаты по сечениям типоразмеров: для верхнего пояса тавр 22,5-БТ1, для нижнего пояса тавр 20-БТ2, для раскосов уголки 2х140х9, для стоек уголки 2х90х7. Теоретическая масса фермы составляет 5502 кг.

Перемещения среднего узла от расчетных нагрузок равны  $f_n = 10,39$  см и  $f_{cn} = 1,39$  см. Выполним проверку жесткости по полному прогибу от нормативной нагрузки, т.е. исключая из расчетных нагрузок коэффициент надежности:

$$f = 10,39/1,164 - 10,72/1,1 + 1,39/1,4 = 8,92 - 9,74 + 0,99 = 0,17 \text{ см} < L/400 = 36 \cdot 100/400 = 9.$$

Проверка выполняется, причем из-за обратного выгиба от преднапряжения затяжки прогиб фермы близок к нулю.

Для экономии стали выполним более детальную унификацию. Для этого зададим по 2 типоразмера для поясов и раскосов, отдельно выделим опорные раскосы (см. рис. 2.8.). После перерасчета получим массу фермы, равную

4767 кг. Экономия по сравнению с 1-ым вариантом (рис.2.7) унификации составила 735 кг, или 13,35%.

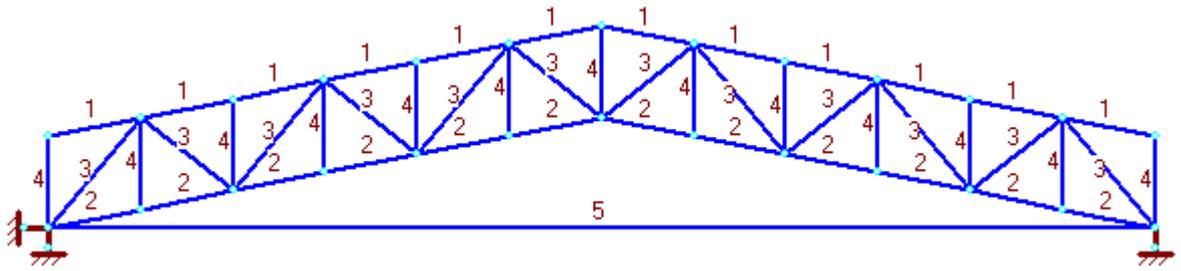


Рис. 2.7. Типоразмеры стержней – вариант 1

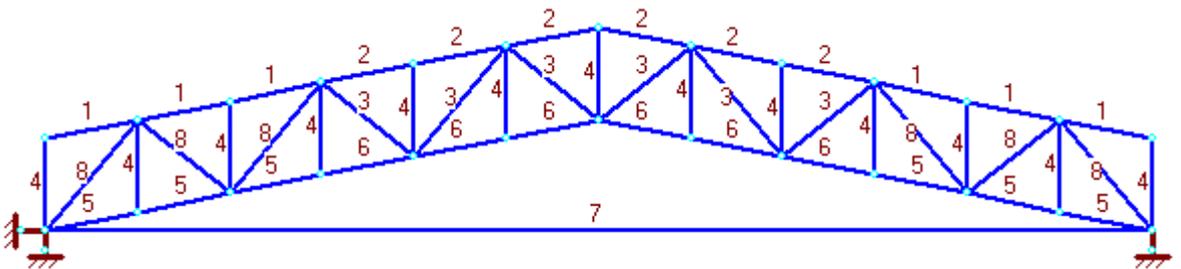


Рис. 2.8. Типоразмеры стержней – вариант 2.

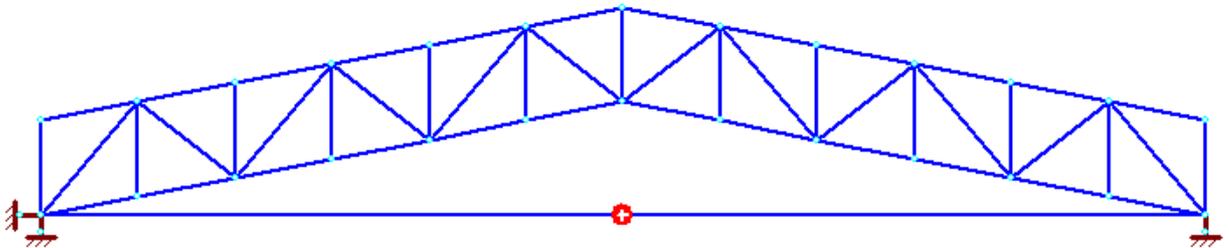


Рис.2.9. Схема преднапряжения затяжки.

На экранных формах (рис. 2.10, 2.11) приведены окончательные результаты по сечениям типоразмеров с их теоретической массой и массой всей фермы, а также фрагмент таблицы проверок стержней по условиям прочности, устойчивости и предельной гибкости.

Расчет стальных ферм - Сафоев Арка-36м(мало типоразмер).stt

Файл Данные Схема Расчет Справка

Данные Результаты

Перемещения Усилия Реакции Сочетания Сечения Спецификация

Сечения типоразмеров и их теоретические массы (кг)

№ типа	Тип сечения	Расч. профиль	Прин. профиль	Расч. масса	Прин. масса	Прин. в %
1	Тавр типа Б	25-БТ1	25-БТ1	1322,82	1322,82	100,00
2	Тавр типа Б	20-БТ2	20-БТ2	965,46	965,46	100,00
3	Уголки спар.	2х140х10	2х140х10	2195,53	2195,53	100,00
4	Уголки спар.	2х90х7	2х90х7	751,90	751,90	100,00
5	Затяжка	Гибкий ст.	Гибкий ст.	266,59	273,49	102,59
			Всего:	5502,30	5509,21	100,13

Арка с затяжкой 36м (шаг 12м)

Рис.2.10. Экранная форма с результатами расчета 1-го варианта.(спецификация)

Расчет стальных ферм - Сафоев Арка-36м.stt

Файл Данные Схема Расчет Справка

Данные Результаты

Перемещения Усилия Реакции Сочетания Сечения Спецификация

Сечения типоразмеров и их теоретические массы (кг)

№ типа	Тип сечения	Расч. профиль	Прин. профиль	Расч. масса	Прин. масса	Прин. в %
1	Тавр типа Б	20-БТ3	20-БТ3	528,84	528,84	100,00
2	Тавр типа Б	25-БТ1	25-БТ1	661,41	661,41	100,00
3	Уголки спар.	2x100x7	2x100x7	534,07	534,07	100,00
4	Уголки спар.	2x90x7	2x90x7	751,90	751,90 <td 100,00	
5	Тавр типа Б	20-БТ3	20-БТ3	528,84	528,84	100,00
6	Тавр типа Б	17,5-БТ1	17,5-БТ2	351,50	389,07	110,66
7	Затяжка	Гибкий ст.	Гибкий ст.	276,83	282,01	101,87
8	Уголки спар.	2x140x10	2x140x10	1133,99	1133,99	100,00
			Всего:	4767,49	4810,14	100,89

Арка с затяжкой 36м (много типоразмер шаг 12м)

Рис. 2.11. Экранная форма с результатами расчета 2-го варианта.(спецификация)

**Эффект преднапряжения фермы.** Теперь рассчитаем арочную ферму без затяжки и преднапряжения для сравнения с преднапряженной фермой. Открываем «SteelTruss» и вводим данные об узлах, стержнях и создаем ферму типа «арка с затяжкой» пролетом 36 метров высотой  $H=3.15$  м при шаге ферм 12 м.

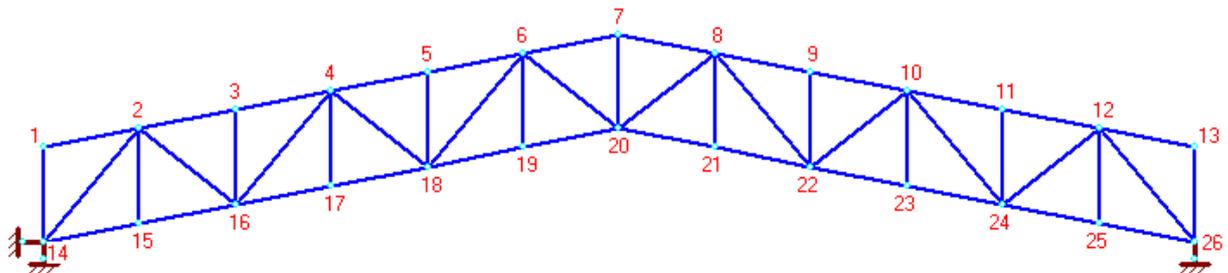


Рис.2.12. Недеформированная схема фермы без затяжки.

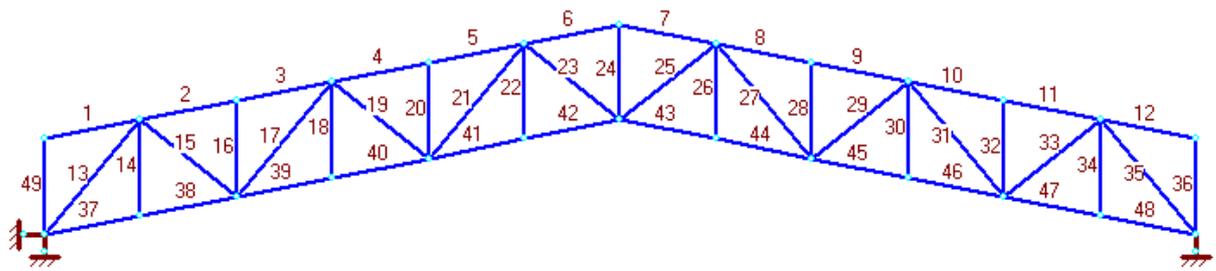


Рис.2.13. Нумерация стержней фермы без затяжки 36м.

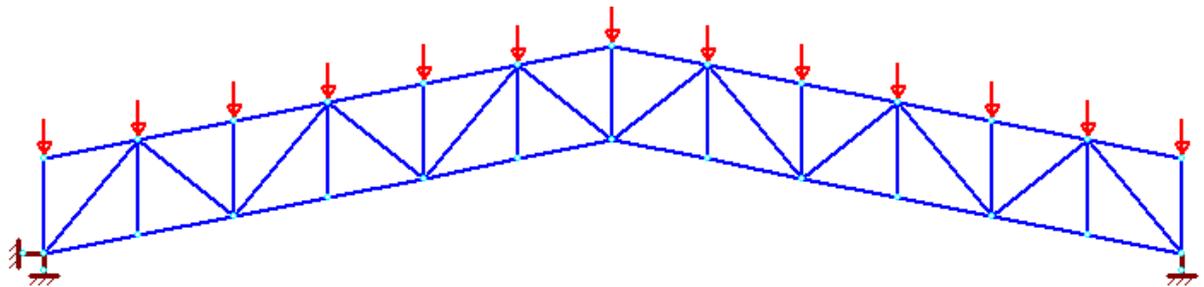


Рис.2.14. Схема приложения нагрузки на ферму.

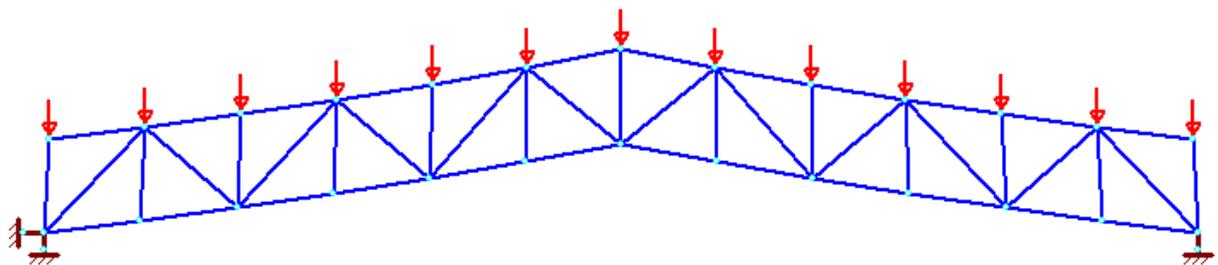


Рис.2.15. Деформированная схема фермы без затяжки.

Расчет стальных ферм - Сафоев Арха-36м(без затяжек).stt

Файл Данные Схема Расчет Справка

Данные Результаты

Перемещения Усилия Реакции Сочетания Сечения Спецификация

Сечения типоразмеров и их теоретические массы (кг)

№ типа	Тип сечения	Расч. профиль	Прин. профиль	Расч. масса	Прин. масса	Прин. в %
1	Тавр типа Б	35-БТ2	35-БТ2	2570,71	2570,71	100,00
2	Тавр типа Б	30-БТ2	30-БТ2	2083,66	2083,66	100,00
3	Уголки спар.	2x160x12	2x160x12	3004,49	3004,49	100,00
4	Уголки спар.	2x90x7	2x90x7	751,90	751,90	100,00
Всего:				8410,77	8410,77	100,00

Арка с затяжкой 36м (шаг 12м без затяжек)

Рис.2.16. Экранная форма с результатами.(спецификация)

В результате получим следующие результаты по сечениям типоразмеров: для верхнего пояса тавр 35-БТ2, для нижнего пояса тавр 30-БТ2, для раскосов уголки 2х160х12, для стоек уголки 2х90х7. Теоретическая масса фермы составляет 8410 кг.

Сравниваем с ранее рассчитанной фермой «арка с затяжкой» пролетом 36 м, масса которой была 5502 кг. Разница теоретических масс ферм составляет  $(8410-5502) = 2908$ кг или 34,5% .

Отсюда можно сделать вывод о том, что ферма с затяжкой намного экономичнее по сравнению с ненапряженной фермой. Вне зависимости от того, что трудовые затраты на преднапряженные фермы больше, эффект от снижения массы перекрывает это и дает очень значительную экономию как по материалу, так и по стоимости. Это доказывает, что преднапряженная ферма намного экономичнее, чем ненапряженные фермы.

## ***2.2 . Примеры расчета ферм с различным расположением затяжек***

Пример расчета фермы типа «арка с затяжкой» мы выполнили в предыдущей пункте главы. Теперь рассмотрим ферму с шпренгельной затяжкой, вынесенной за пределы фермы.

**Ферма с шпренгельной затяжкой пролетом 36м.** В качестве примера возьмем ферму высотой  $H=3.15$  м и шагом фермы 12 м. Зададим параметры нового файла, сгенерируем типовую схему и дополнительно введем шпренгельную затяжку за пределами фермы.

Аналогично предыдущим примерам примем пояса из тавров, решетку из сваренных уголков и затяжку из гибкой стали. На последующих рисунках 2.17-2.19 показаны скопированные из программы схемы фермы с нумерацией узлов, стержней и нагрузками. После 1-го расчета произведем замену профилей в меню «Расчет» и произведем 2-ой расчет.

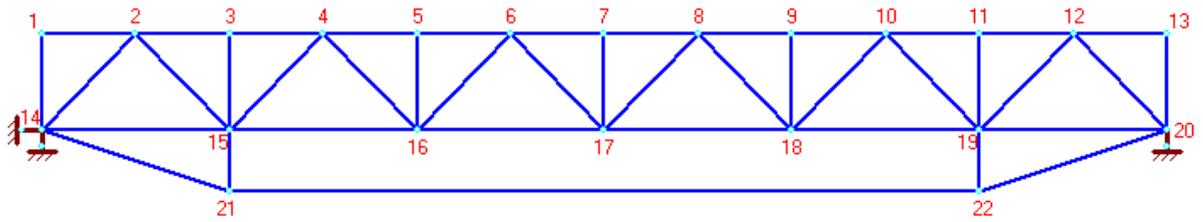


Рис.2.17. Схема нумерации узлов шпренгельной фермы пролетом 36м.

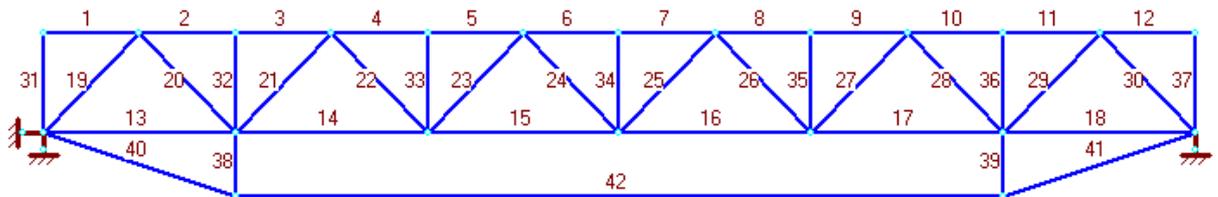


Рис.2.18. Схема нумерации стержней фермы пролетом 36м.

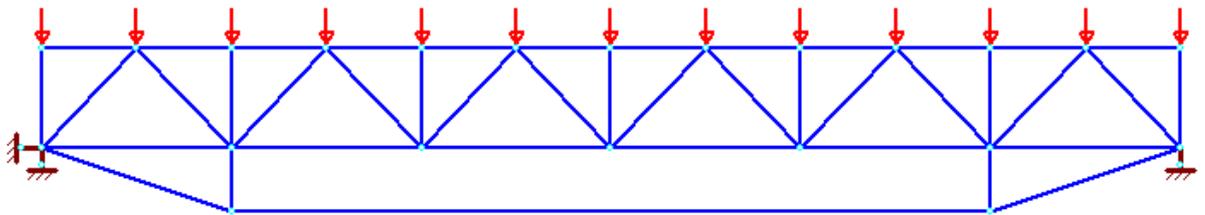


Рис.2.19. Схема загрузки фермы постоянной и снеговой нагрузками.

В результате получим следующие результаты по сечениям типоразмеров: для верхнего пояса тавр 30-БТ1, для нижнего пояса тавр 30-БТ2, для раскосов уголки 2х125х8, для стоек уголки 2х100х8. Теоретическая масса фермы составляет 6452 кг.

Перемещения среднего узла от расчетных нагрузок равны  $f_n = 6,19$  см и  $f_{cn} = 2,48$  см. Выполним проверку жесткости по полному прогибу от нормативной нагрузки, т.е. исключая из расчетных нагрузок коэффициент надежности:

$$f = 6,19/1,164 + 2,48/1,4 - 3,44/1,1 = 5,32 + 1,77 - 3,13 = 5,96 \text{ см} < L/400 = 36 \cdot 100/400 = 9.$$

Проверка выполняется.

На рисунке 2.20. дана деформированная схема фермы при приложении рассчитываемых нагрузок с типоразмерами стержней.

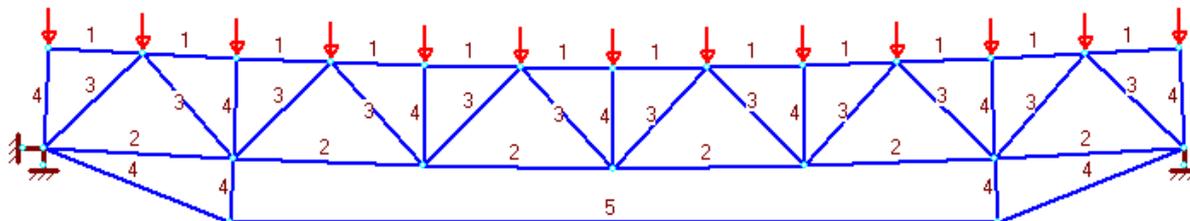


Рис.2.20. Деформированная схема фермы пролетом 36м.

Как видно из схемы, типоразмер №5 и есть шпренгельная затяжка фермы, выведенная за ее пределы.

На экранной форме (рис. 2.21) приведены окончательные результаты по сечениям типоразмеров с их теоретической массой и массой всей фермы, а также фрагмент таблицы проверок стержней по условиям прочности, устойчивости и предельной гибкости.

Расчет стальных ферм - Сафоев Ферма-36м.stt

Файл Данные Схема Расчет Справка

Данные Результаты

Перемещения Усилия Реакции Сочетания Сечения Спецификация

Сечения типоразмеров и их теоретические массы (кг)

№ типа	Тип сечения	Расч. профиль	Прин. профиль	Расч. масса	Прин. масса	Прин. в %
1	Тавр типа Б	27,5-БТ2	27,5-БТ2	1701,25	1701,25	100,00
2	Тавр типа Б	30-БТ2	30-БТ2	2043,20	2043,20	100,00
3	Уголки спар.	2x125x8	2x125x8	1613,67	1613,67	100,00
4	Уголки спар.	2x100x8	2x100x8	947,82	947,82	100,00
5	Затяжка	Гибкий ст.	Гибкий ст.	146,02	146,12	100,07
Всего:				6451,96	6452,06	100,00

Сафоев Ферма с шпренгельной затяжкой

Рис.2.21. Экранная форма с результатами расчета (спецификация)

Дальше для большей наглядности мы рассмотрим еще один вариант преднапряженной затяжки ферм. В этом примере затяжку проведем по нижнему поясу фермы.

**Ферма, преднапряженная затяжкой по нижнему поясу.** Как в предыдущем расчете, ферму берем высотой  $H=3.15$  м и аналогично пояса из тавров, стойки и раскосы из спаренных уголков, и затяжка из гибкой стали. На последующих рисунках 2.22-2.24 показаны скопированные из программы схемы фермы с нумерацией узлов, стержней и нагрузками.

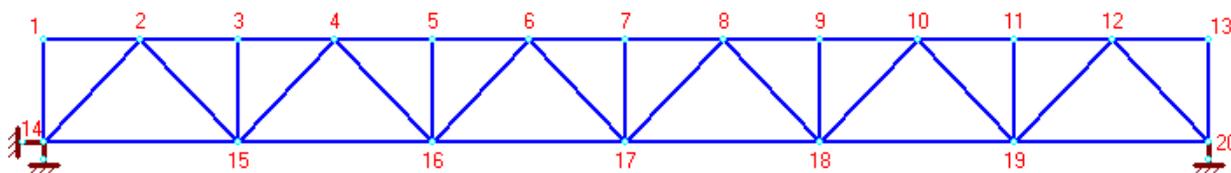


Рис. 2.22. Схема нумерации узлов фермы пролетом 36м.

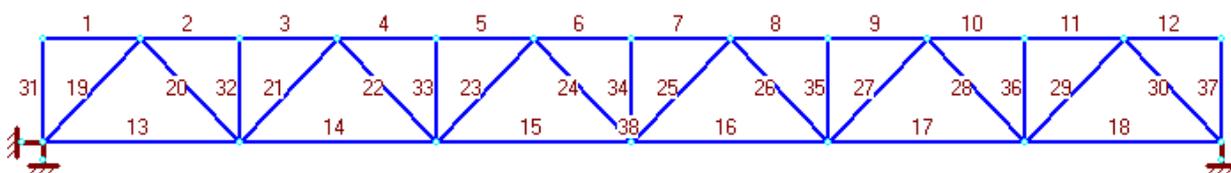


Рис. 2.23. Схема нумерации стержней фермы пролетом 36м.

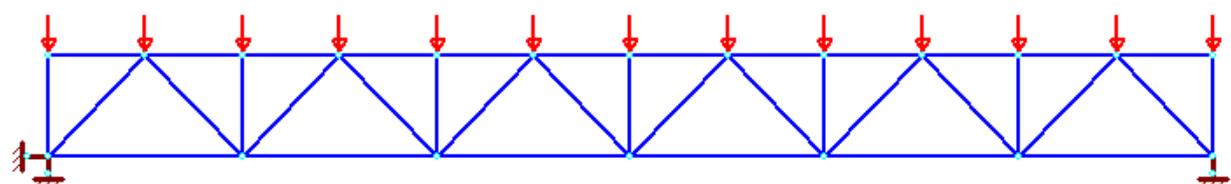


Рис. 2.24. Схема загрузки фермы постоянной и снеговой нагрузками

В результате получим следующие результаты по сечениям типоразмеров: для верхнего пояса тавр 35-БТ1, для нижнего пояса тавр 30-БТ2, для раскосов уголки 2х140х10, для стоек уголки 2х70х5. Теоретическая масса фермы составляет 6964 кг.

Перемещения среднего узла от расчетных нагрузок равны  $f_n = 6,60$  см и  $f_{cn} = 2,65$  см. Выполним проверку жесткости по полному прогибу от нормативной нагрузки, т.е. исключая из расчетных нагрузок коэффициент надежности:

$$f = 6,60/1,164 + 2,65/1,4 - 1,65/1,1 = 5,67 + 1,89 - 1,5 = 6,06 \text{ см} < L/400 = 36 \cdot 100/400 = 9.$$

Проверка выполняется.

На рисунке 2.15. дана деформированная схема фермы при приложении рассчитываемых нагрузок с типоразмерами стержней.

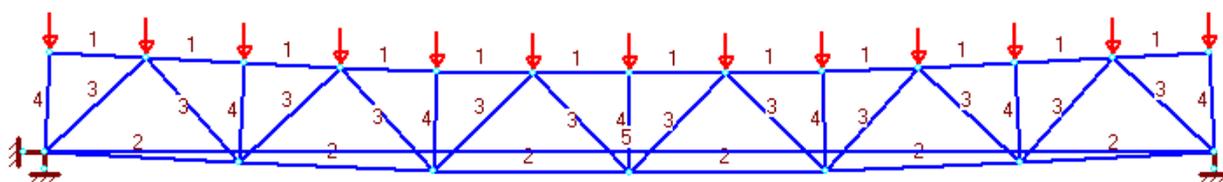


Рис.2.15. Деформированная схема фермы пролетом 36м.

Как видно из схемы типоразмер №5 и есть затяжка фермы по нижнему поясу выведенная за пределы фермы.

На экранной форме (рис. 2.26) приведены окончательные результаты по сечениям типоразмеров с их теоретической массой и массой всей фермы, а также фрагмент таблицы проверок стержней по условиям прочности, устойчивости и предельной гибкости.

Сравним 3 варианта затяжек ферм при одинаковой пролете 36м и составим таблицу (см. таб.1.3) технико-экономических показателей за счет теоретических масс выведенной результатом программы.

Расчет стальных ферм - Сафоев Ферма-36м затяжкой по низу.stt

Файл Данные Схема Расчет Справка

Данные Результаты

Перемещения Усилия Реакции Сочетания Сечения Спецификация

Сечения типоразмеров и их теоретические массы (кг)

№ типа	Тип сечения	Расч. профиль	Прин. профиль	Расч. масса	Прин. масса	Прин. в %
1	Тавр типа Б	35-БТ1	35-БТ1	2286,23	2286,23	100,00
2	Тавр типа Б	30-БТ2	30-БТ2	2043,20	2043,20	100,00
3	Уголки спар.	2х140х10	2х140х10	2239,80	2239,80	100,00
4	Уголки спар.	2х70х5	2х70х5	237,48	237,48	100,00
5	Затяжка	Гибкий ст.	Гибкий ст.	157,54	159,43	101,20
			Всего:	6964,26	6966,15	100,03

Сафоев Ферма преднапряженная затяжкой по нижнему прогону

Рис.2.26. Экранная форма с результатами расчета (спецификация)

Таблица 1.3 ТЭП трех разных ферм с затяжкой.

№	Вид	Тип сечения	Арка с затяжкой		Шпренгельная затяжка		Затяжка по нижнему поясу	
			профиль	масса	профиль	масса	профиль	масса
1	Верхний пояс	Тавр типа Б	25-БТ1	1322,8 2	27,5- БТ2	1701,2 5	35-БТ1	2286,2 3
2	Нижний пояс	Тавр типа Б	20-БТ2	965,46	30-БТ2	2043,2	30-БТ2	2043,2
3	Раскосы	Уголки спар.	2х140х1 0	2195,5 3	2х125х 8	1613,6 7	2х140х1 0	2239,8
4	Стойки	Уголки спар.	2х90х7	751,9	2х100х 8	947,82	2х70х5	237,48

5	Затяжка	Затяжка	Гиб. сталь	266,59	Гиб. сталь	146,12	Гиб. сталь	159,43
	<b>Итого:</b>			<b>5502</b>		<b>6452</b>		<b>6966</b>

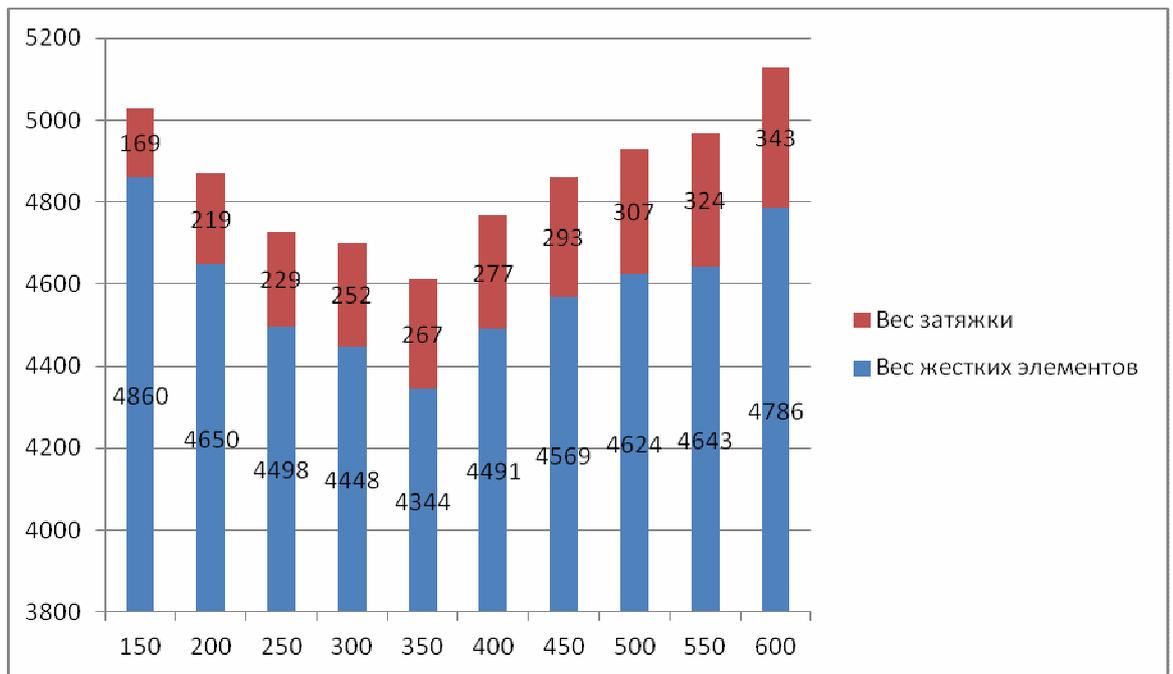
Из этой таблицы можно сделать вывод, что для пролетов 36 метров экономичнее всего использовать преднапряженную ферму типа «арка с затяжкой».

### *2.3. Анализ влияния преднапряжения затяжки на ТЭП фермы*

В этом разделе мы попытаемся найти оптимальную величину напряжения затяжки. Для этого мы берем ферму типа «Арка с затяжкой» длиной 36 м и постепенно будем менять значение напряжения в пределах от 150 до 600 Кн в программе “SteelTruss”

Таблица 1.4 Таблица величин преднапряжения

Наименование	Нагрузка (кн)									
	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
Вес жестких элементов (кг)	4860	4650	4498	4478	4344	4576	4576	4624	4643	4786
Вес затяжки(кг)	169	219	229	252	267	293	293	307	324	343
Общий вес(кг)	5029	4869	4728	4730	4611	4869	4869	4931	4973	5129



### 1.1. Диаграмма влияния преднапряжения затяжки на ТЭП фермы.

По этой диаграмме можно судить о том, что оптимальное величина преднапряжение нагрузки равняется 350 кН. При остальных величин расход материалов будет намного выше.

## 2.4 Регулирование расчетных сопротивлений фермы и затяжек

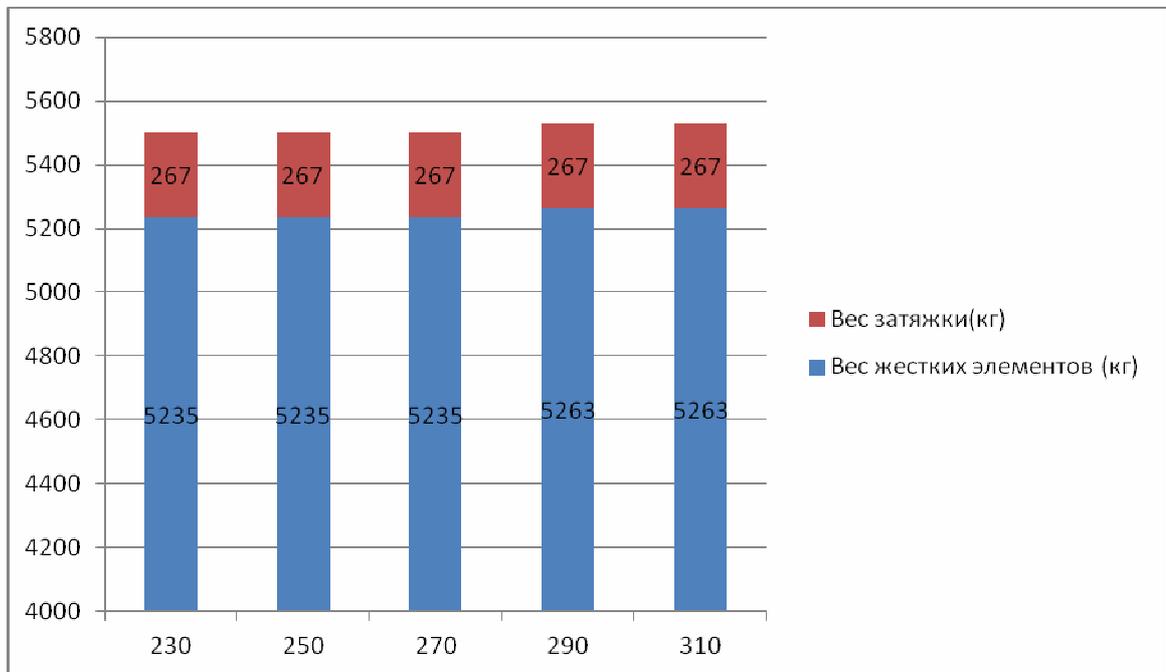
Далее в этом разделе мы рассмотрим и будем анализировать влияние расчетных сопротивлений фермы и затяжек на технико-экономический показатели фермы. Для это мы берем ферму типа «арка с затяжкой» длиной 36метров и рассчитывая будем регулировать эти расчетные сопротивления фермы от 230 до 310 , а затяжки с 850 до 1050 Кн.

Вначале начнем менять расчетное сопротивление жесткой части фермы , постепенно меняя его значение начиная с 230 кН до 310 кН. Полученные данные введем в таблицу 1.5.

Таблица 1.5. Расчетное сопротивление стали жесткой части фермы типа «Арка с затяжкой»

Наименование	Расчетное сопротивление $R_y$ (МПа)
--------------	-------------------------------------

	230	250	270	290	310
Общий вес (кг)	5502	5502	5502	4996	4996
Вес жесткой	267	267	267	267	267
Вес затяжки	5235	5235	5235	5263	5263

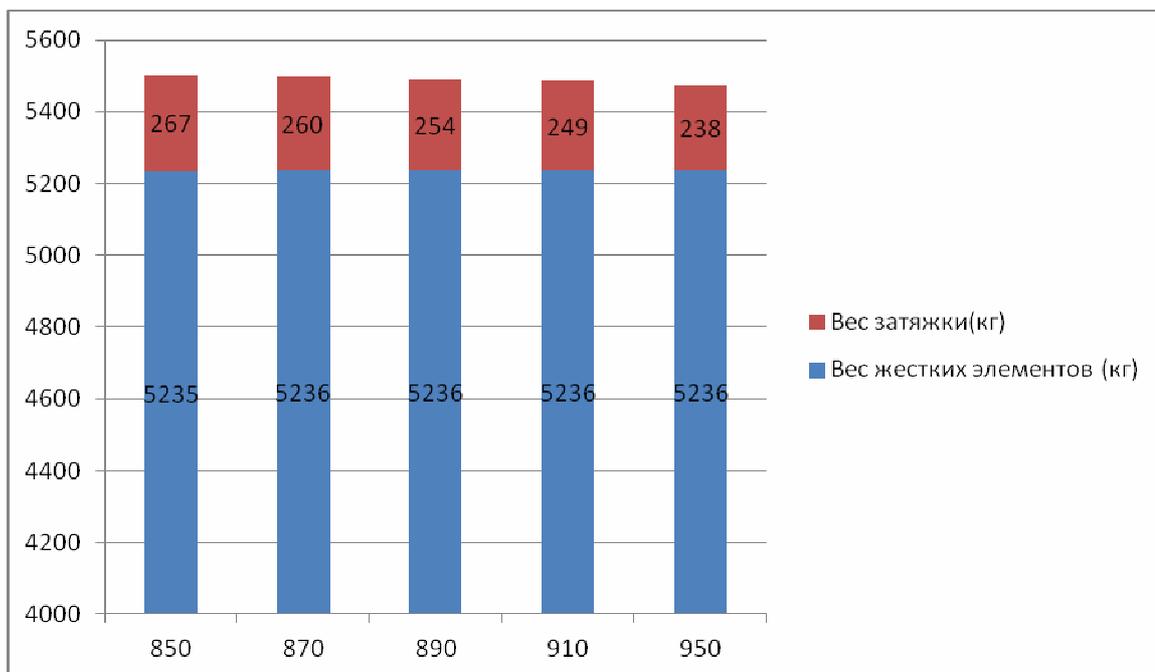


## 1.2. Диаграмма влияния изменения сопротивления стали на ТЭП фермы

Аналогично будем рассчитывать влияние изменения сопротивления стали затяжки на ТЭП фермы и введем его в таблицу 1.6.

Таблица 1.6. Расчетное сопротивление стали затяжки фермы типа «Арка с затяжкой»

Наименование	Расчетное сопротивление затяжки(мПа)				
	850	870	890	910	950
Общий вес (кг)	5502	5496	5490	5485	5474
Вес жесткой	267	260	254	249	238
Вес затяжки	5235	5236	5236	5236	5236



1.3. Диаграмма влияния сопротивления затяжки на ТЭП фермы.

Из этих диаграмм можно сделать вывод, что изменение расчетной сопротивлению стали фермы не достаточно влияет на технико-экономические показатели фермы.

В целом анализ с учетом стоимости конкретных профилей сортамента, а также трудоемкости изготовления ферм может дать более объективные данные по применению различных марок сталей и профилей сортамента. Однако такой анализ выходит за рамки настоящей работы и может быть выполнен в наших дальнейших исследованиях.

## 2.5 Выводы по главе.

1. На примере ферм типа «арка с затяжкой» пролетом 36 м с треугольной решеткой показана методика расчета конструкций по программе «Стальные фермы» с использованием функций поэлементного ввода и редактирования данных. Показана возможность варьирования уклона поясов, типоразмеров (групп унификации) стержней, типов сечений и других параметров системы с оценкой результатов по вычисляемой программой теоретической массе.

2. Был выполнен расчет с разным расположением затяжек на фермах типа «арка с затяжкой», затяжка по нижнему поясу и шпренгельные. Вычислены значения оптимальной расход стали и была сделано сравнения в ввиде таблиц. Из таблицы было сделано вывод что ферма типа «арка с зтяжкой» наиболее экономичнее других видов затяжек при одном и том же пролете.
3. Полученные результаты, представленные в табличной форме и в форме диаграммы, показывают эффективность и пределы применимости различных ферм с затяжками.
4. При регулировании величины преднапряжения затяжки можно найти оптимальное преднапряжение затяжки к технико-экономической показателей расхода стали. Для нашего примера фермы типа «арка с затяжкой» оптимальным преднапряжением затяжки было установлено в 350 Кн.
5. Выполнен также анализ влияния прочности стали в пределах 230-310 МПа на массу и приведенную массу (с учетом удорожания материала) ферм. Как видно по результатам, снижение массы за счет увеличения прочности стали может достигать 22%, в то время как приведенная масса (или стоимость материала) снижается только до 5-6%.

## Глава 3. Оптимизация конструктивных решений преднапряженных ферм типа «Арка с затяжкой»

### 3.1. Анализ ТЭП ферм при их различных пролетах и шаге.

**Преднапряженная ферма типа «арка с затяжкой 24м».** Вначале примем шаг 12 м, высота фермы в 1-ом приближении  $H=3,0$  м (транспортный габарит), уклон верхнего пояса – 20%. Зададим параметры нового файла и сгенерируем типовую схему (треугольную с дополнительными стойками). Для проверки прогиба фермы зададим печать перемещений конькового узла; кроме того, зададим печать РСУ и сечений типоразмеров. Сейсмическую нагрузку пока не учитываем. Отметим также, что программа при генерации схемы создает только 4 типоразмера стержней – верхний пояс, нижний пояс, раскосы и стойки. Далее, на основе расчета 1-го приближения, можно будет провести более детальную унификацию с целью экономии стали. Рассмотрим поподробнее.

Примем вначале пояса из тавров и решетку из спаренных уголков. На последующих рисунках 2.27-2.29 показаны скопированные из программы схемы фермы с нумерацией узлов, стержней и нагрузками. После 1-го расчета произведем замену профилей в меню «Расчет» и произведем 2-ой расчет.

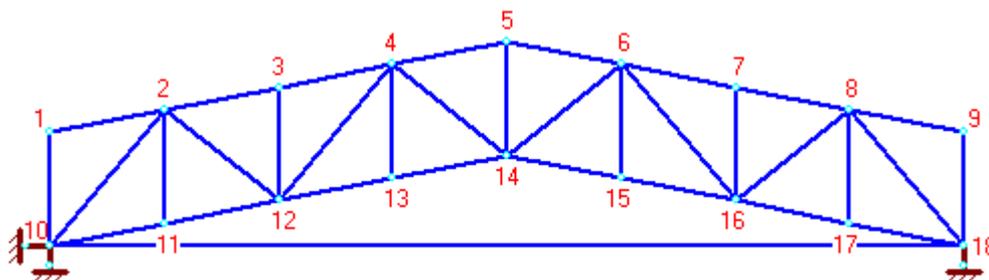


Рис. 2.27. Схема нумерации узлов фермы

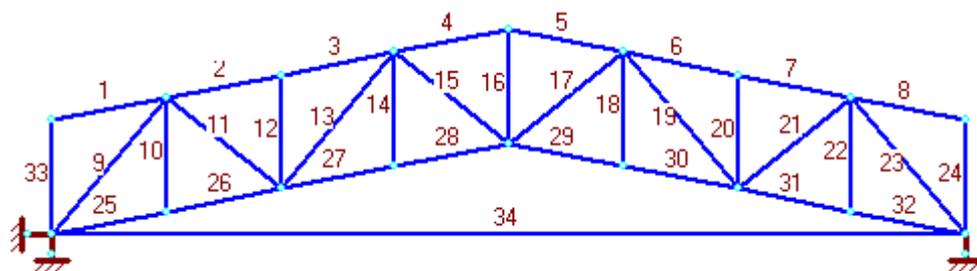


Рис. 2.28. Схема нумерации стержней фермы

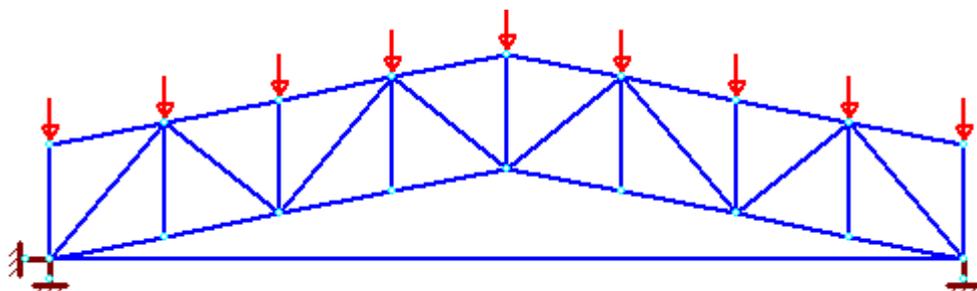


Рис. 2.29. Схема загрузки фермы постоянной и снеговой нагрузками

В результате получим следующие результаты по сечениям типоразмеров: для верхнего пояса тавр 15-БТ1, для нижнего пояса тавр 17,5-БТ3, для раскосов уголки 2x125x8, для стоек уголки 2x90x7. Теоретическая масса фермы составляет 2665 кг.

Для экономии стали выполним более детальную унификацию. Для этого зададим по 2 типоразмера для поясов и раскосов, отдельно выделим опорные раскосы (см. рис. 2.30.). После перерасчета получим массу фермы, равную 2441 кг. Экономия по сравнению с 1-ым вариантом унификации составила 224 кг, или 8,4%.

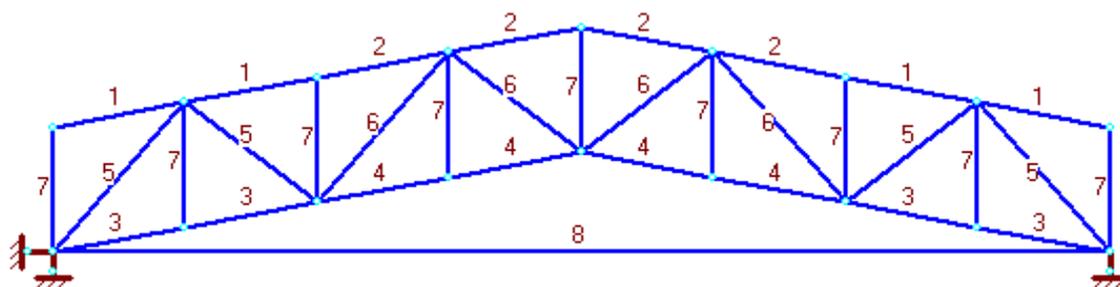


Рис. 2.30. Типоразмеры стержней – вариант 2.

На экранных формах (рис. 2.31, 2.32) приведены окончательные результаты по сечениям типоразмеров с их теоретической массой и массой всей

фермы, а также фрагмент таблицы проверок стержней по условиям прочности, устойчивости и предельной гибкости.

№ типа	Тип сечения	Расч. профиль	Прин. профиль	Расч. масса	Прин. масса	Прин. в %
1	Тавр типа Б	15-БТ1	15-БТ1	199,82	199,82	100,00
2	Тавр типа Б	15-БТ1	15-БТ1	199,82	199,82	100,00
3	Тавр типа Б	17,5-БТ3	17,5-БТ3	285,31	285,31	100,00
4	Тавр типа Б	17,5-БТ2	17,5-БТ2	259,38	259,38	100,00
5	Уголки спар.	2x125x8	2x125x8	527,26	527,26	100,00
6	Уголки спар.	2x90x7	2x90x7	328,83	328,83	100,00
7	Уголки спар.	2x90x7	2x90x7	520,55	520,55	100,00
8	Затяжка	Гибкий ст.	Гибкий ст.	120,27	122,02	101,45
Всего:				2441,23	2442,98	100,07

Арка с затяжкой 24м

Рис. 2.31. Экранная форма с результатами расчета (спецификация)

Аналогично выполним расчет при шаге 6 м. Примем те же параметры сечений стержней, что и в предыдущем примере. Высоту фермы и уклон верхнего пояса также оставим без изменения.

В результате получим: для верхнего пояса тавр 15 БТ-1, для нижнего пояса тавр 17,5 БТ-3, для раскосов уголки 2x125x8 и 2x90x7, для стоек уголки 2x90x7. Теоретическая масса фермы составляет 2398 кг.

Рис. 2.32. Экранная форма с результатами расчета (проверки стержней)

Далее выполним унификацию по аналогии с предыдущим примером. В результате масса фермы составит 2529 кг. Экономия стали за счет унификации составит 131 кг, или 5%.

Замена сечений типоразмеров в программе осуществляется следующим образом. На вкладке «Данные-Типоразмеры» для каждого типоразмера редактируем тип сечения и профиль, после чего выполняем 1-ый расчет, производим замену профилей и выполняем 2-ой расчет. Все результаты для фермы пролетом 24 м сведем в таблицу 1.7.

Таблица 1.7. Показатели массы ферм пролетом 24 м

Ша г (м)	Масса (кг) при сечениях стержней					
	Уголки+ уголки	Тав- ры+	ГСП+ ГСП	Двута- ры+	Двута- ры+	Тру- бы+

		уголки		ГСП	двутавры	трубы
6	2656	2398	1309	2561	4564	1246
	213%	192%	105%	205%	366%	100%
12	2584	2440	—	2703	4570	1400
	184,5%	174%		193%	326,4%	100%

Отметим также, что шаг 12 м для всех вариантов экономичнее шага 6 м даже с учетом веса прогонов и связей. Этот вывод также можно было прогнозировать по литературным источникам, и он оправдался.

**Преднапряженная ферма типа «Арка с затяжкой 30м».** Здесь тоже вначале примем шаг 12 м, высота фермы в 1-ом приближении  $H= 3,0$  м (транспортный габарит).

Примем вначале пояса из тавров и решетку из спаренных уголков. На последующих рисунках 2.33-2.35 показаны скопированные из программы схемы фермы с нумерацией узлов, стержней и нагрузками. После 1-го расчета произведем замену профилей в меню «Расчет» и произведем 2-ой расчет.

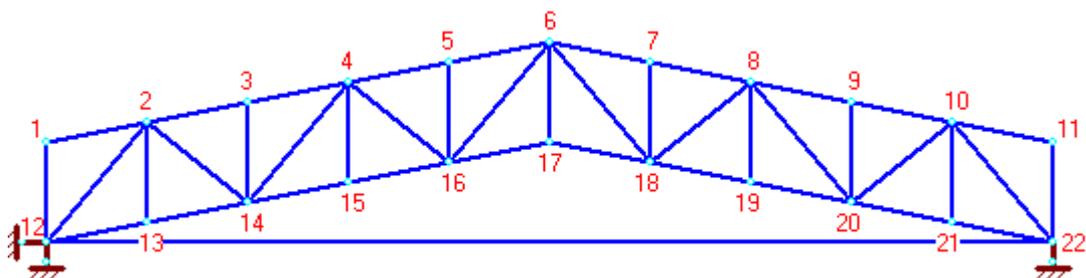


Рис. 2.33. Схема нумерации узлов фермы 30м

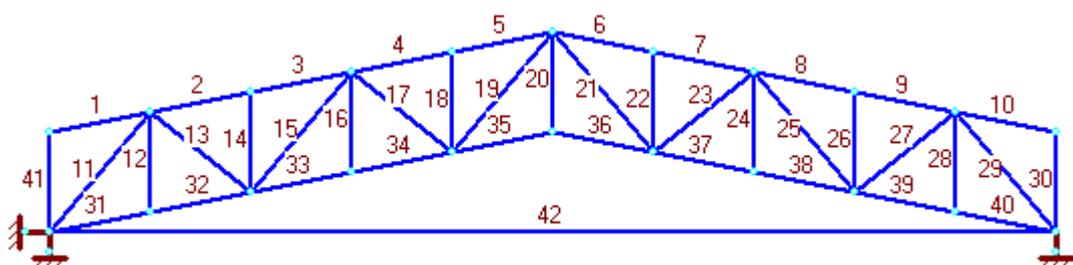


Рис. 2.34. Схема нумерации стержней фермы 30м

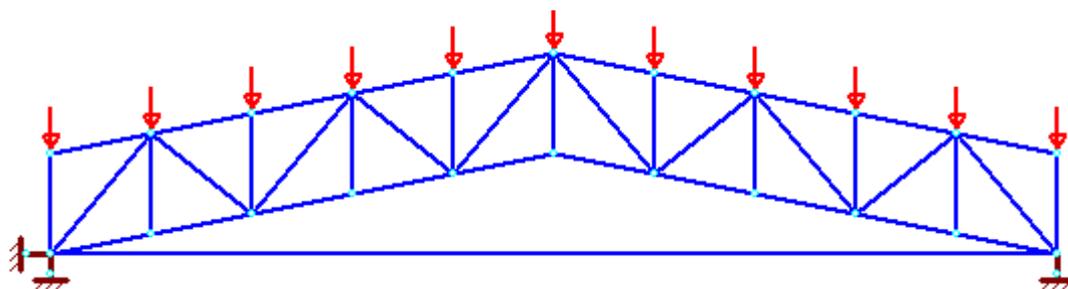


Рис. 2.35. Схема загрузки фермы постоянной и снеговой нагрузками

В результате получим следующие результаты по сечениям типоразмеров: для верхнего пояса тавр 15-БТ1, для нижнего пояса тавр 25-БТ1, для раскосов уголки 2х125х8, для стоек уголки 2х100х8. Теоретическая масса фермы составляет 3985 кг.

Для экономии стали выполним более детальную унификацию. Для этого зададим по 2 типоразмера для поясов и раскосов, отдельно выделим опорные раскосы (см. рис. 2.37.). После перерасчета получим массу фермы, равную 3285 кг. Экономия по сравнению с 1-ым вариантом унификации составила 700 кг, или 17,6%.

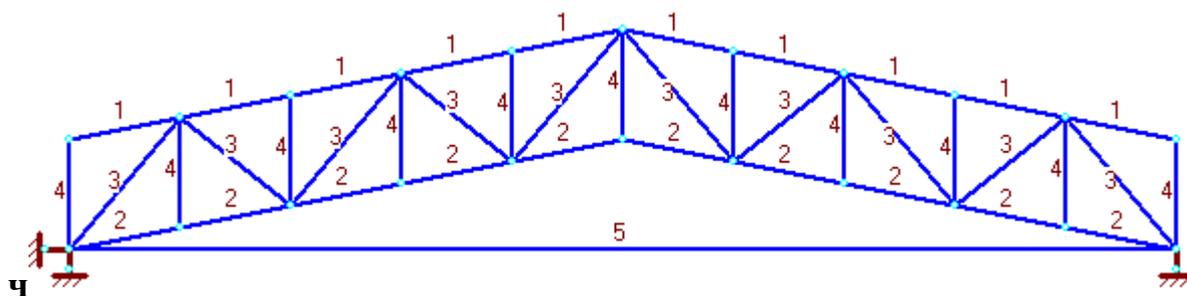


Рис. 2.36. Типоразмеры стержней – вариант 1.

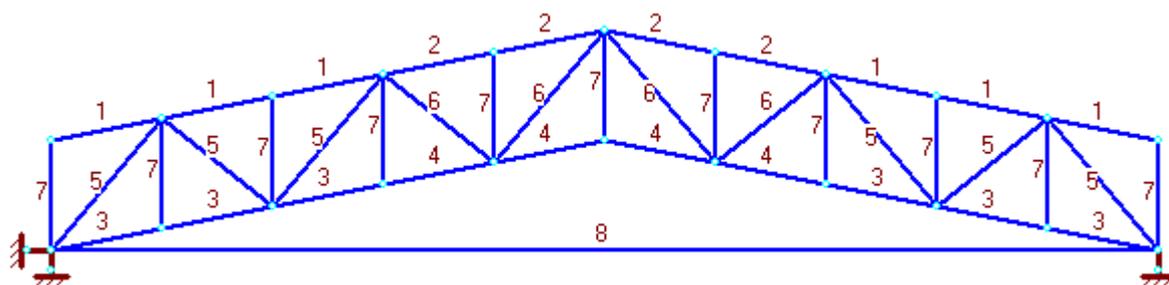


Рис. 2.37. Типоразмеры стержней – вариант 2.

На экранных формах (рис. 2.38) приведены окончательные результаты по сечениям типоразмеров с их теоретической массой и массой всей фермы, а также фрагмент таблицы проверок стержней по условиям прочности, устойчивости и предельной гибкости.

Сечения типоразмеров и их теоретические массы (кг)

№ типа	Тип сечения	Расч. профиль	Прин. профиль	Расч. масса	Прин. масса	Прин. в %
1	Тавр типа Б	17,5-БТ1	17,5-БТ1	351,60	351,60	100,00
2	Тавр типа Б	17,5-БТ2	17,5-БТ2	259,38	259,38	100,00
3	Тавр типа Б	20-БТ1	20-БТ1	433,74	433,74	100,00
4	Тавр типа Б	17,5-БТ3	17,5-БТ3	285,31	285,31	100,00
5	Уголки спар.	2x125x8	2x125x8	816,99	816,99	100,00
6	Уголки спар.	2x90x7	2x90x7	328,83	328,83	100,00
7	Уголки спар.	2x90x7	2x90x7	636,23	636,23	100,00
8	Затяжка	Гибкий ст.	Гибкий ст.	173,15	173,44	100,17
			Всего:	3285,22	3285,51	100,01

Арка с затяжкой 30м

Рис. 2.38. Экранная форма с результатами расчета (спецификация)

Аналогично выполним расчет при шаге 6 м. Примем те же параметры сечений стержней, что и в предыдущем примере. Высоту фермы и уклон верхнего пояса также оставим без изменения.

В результате получим: для верхнего пояса тавр 13 БТ-1, для нижнего пояса тавр 25 БТ-2, для раскосов уголки 2x110x8, для стоек уголки 2x100x8. Теоретическая масса фермы составляет 3786 кг.

Далее выполним унификацию по аналогии с предыдущим примером. В результате масса фермы составит 3202 кг. Экономия стали за счет унификации составит 584 кг, или 15,4%.

Замена сечений типоразмеров в программе осуществляется следующим образом. На вкладке «Данные-Типоразмеры» для каждого типоразмера редактируем тип сечения и профиль, после чего выполняем 1-ый расчет, производим замену профилей и выполняем 2-ой расчет. Все результаты для фермы пролетом 30 м сведем в таблицу 1.8.

Таблица 1.8. Показатели массы ферм пролетом 30 м

Шаг (м)	Масса (кг) при сечениях стержней					
	Уголки+ уголки	Тавры+ уголки	ГСП+ ГСП	Двугавры+ ГСП	Двугавры+ двугавры	Трубы+ трубы
6	3450	3202	2086	3418	5717	1806
	191%	177%	115,5%	189%	316%	100%
12	3770	3285	—	3560	5735	2318
	162%	141%	—	153%	247%	100%

По этой таблице видна тенденция падения разницы между разными профилями в варианте с шагом на 12м по сравнению с вариантом шага 6м.

**Преднапряженная ферма типа «Арка с затяжкой 36м».** Здесь тоже вначале примем шаг 12 м, высота фермы в 1-ом приближении  $H=3,0$  м (транспортный габарит).

Примем вначале пояса из тавров и решетку из спаренных уголков. На последующих рисунках 2.39-2.41 показаны скопированные из программы схемы фермы с нумерацией узлов, стержней и нагрузками. После 1-го расчета произведем замену профилей в меню «Расчет» и произведем 2-ой расчет.

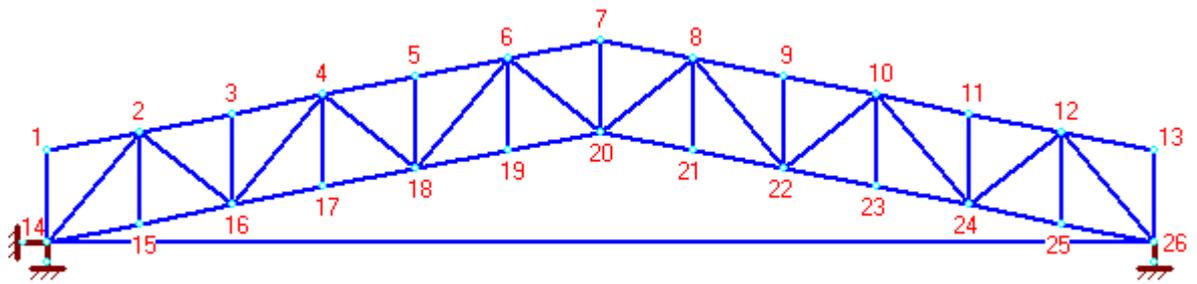


Рис. 2.39. Схема нумерации узлов фермы

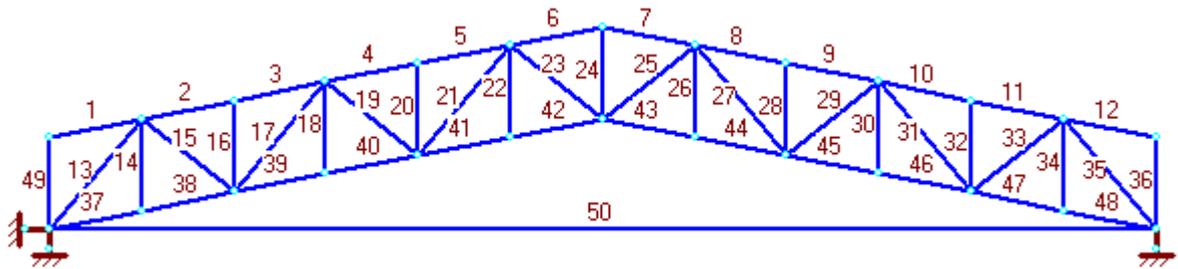


Рис. 2.40. Схема нумерации стержней фермы

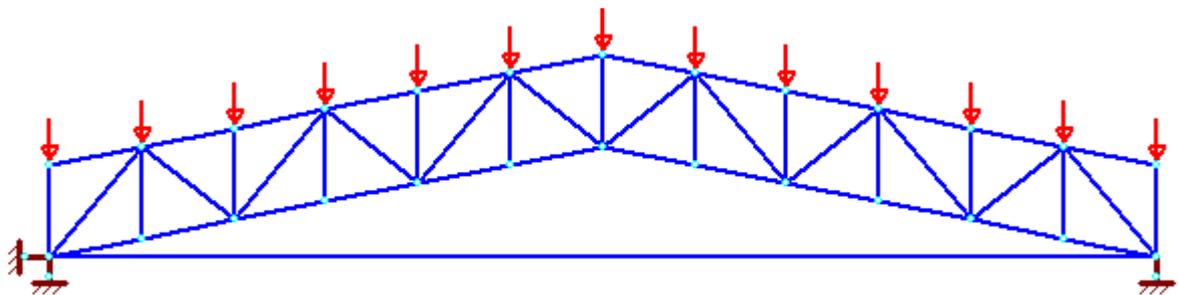


Рис. 2.41. Схема загрузки фермы постоянной и снеговой нагрузками

В результате получим следующие результаты по сечениям типоразмеров: для верхнего пояса тавр 20-БТ3, для нижнего пояса тавр 20-БТ2, для раскосов уголки 2x140x9, для стоек уголки 2x90x7. Теоретическая масса фермы составляет 5016 кг.

Для экономии стали выполним более детальную унификацию. Для этого зададим по 2 типоразмера для поясов и раскосов, отдельно выделим опорные раскосы. После перерасчета получим массу фермы, равную 4327 кг. Экономия по сравнению с 1-ым вариантом унификации составила 689 кг, или 13,7%.

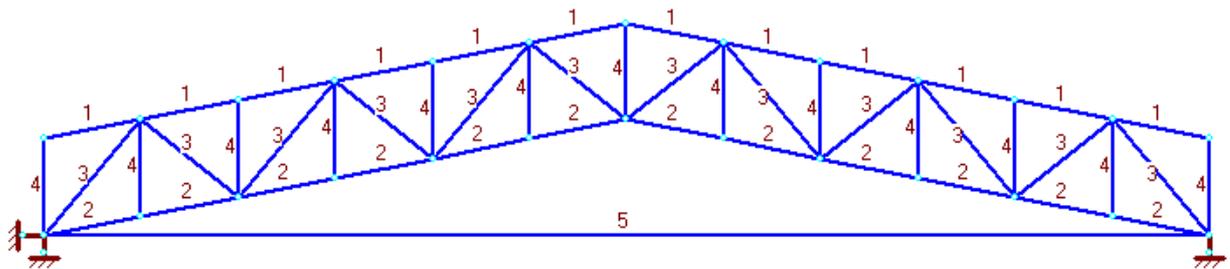


Рис. 2.42. Типоразмеры стержней – вариант 1.

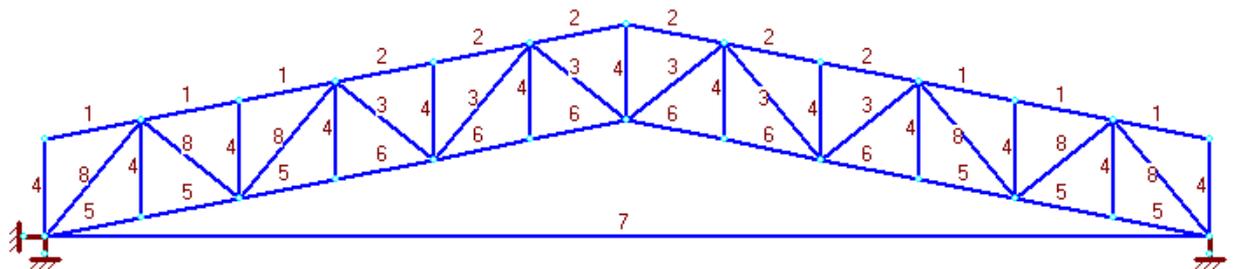


Рис. 2.43. Типоразмеры стержней – вариант 2.

На экранных формах (рис. 2.36) приведены окончательные результаты по сечениям типоразмеров с их теоретической массой и массой всей фермы, а также фрагмент таблицы проверок стержней по условиям прочности, устойчивости и предельной гибкости.

№ типа	Тип сечения	Расч. профиль	Прин. профиль	Расч. масса	Прин. масса	Прин. в %
1	Тавр типа Б	17,5-БТ3	17,5-БТ3	427,97	427,97	100,00
2	Тавр типа Б	20-БТ3	20-БТ3	528,84	528,84	100,00
3	Уголки спар.	2x90x7	2x90x7	476,97	476,97	100,00
4	Уголки спар.	2x90x7	2x90x7	751,90	751,90	100,00
5	Тавр типа Б	20-БТ3	20-БТ3	528,84	528,84	100,00
6	Тавр типа Б	17,5-БТ1	17,5-БТ2	351,60	389,07	110,66
7	Затяжка	Гибкий ст.	Гибкий ст.	251,95	271,30	107,68
8	Уголки спар.	2x125x10	2x125x10	1009,51	1009,51	100,00
Всего:				4327,60	4384,41	101,31

Рис. 2.44. Экранная форма с результатами расчета (спецификация)

Аналогично выполним расчет при шаге 6 м. Примем те же параметры сечений стержней, что и в предыдущем примере. Высоту фермы и уклон верхнего пояса также оставим без изменения.

В результате получим: для верхнего пояса тавр 13 БТ-1, для нижнего пояса тавр 20 БТ-3, для раскосов уголки 2x110x8, для стоек уголки 2x90x7. Теоретическая масса фермы составляет 3890 кг.

Далее выполним унификацию по аналогии с предыдущим примером. В результате масса фермы составит 3988 кг. В этом случае экономия в унификации не наблюдается.

Замена сечений типоразмеров в программе осуществляется следующим образом. На вкладке «Данные-Типоразмеры» для каждого типоразмера редактируем тип сечения и профиль, после чего выполняем 1-ый расчет, производим замену профилей и выполняем 2-ой расчет. Все результаты для фермы пролетом 24 м сведем в таблицу 1.3.

Таблица 1.9. Показатели массы ферм пролетом 36 м

Шаг (м)	Масса (кг) при сечениях стержней					
	Уголки+уголки	Тавры+уголки	ГСП+ГСП	Двугавры+ГСП	Двугавры+двугавры	Трубы+трубы
6	3450	3202	2086	3418	5717	1806
	191%	177%	115,5%	189%	316%	100%
12	3770	3285	—	3560	5735	2318
	162%	141%	—	153%	247%	100%

По этой таблица видна тенденция падения разницы между разными профилями в варианте с шагом на 12м по сравнению с вариантом шага 6м

**Влияние регулирования величины уклона фермы на ТЭП фермы.** Далее произведем сравнение технико-экономических показателей фермы типа «арка с затяжкой» при регулирование величины уклона фермы. Теоретическая масса ранее рассчитанной нами ферма пролетом 36м и шагом 12м и уклоном верхнего пояса 20%, составило 5502кг. Теперь рассчитаем ферму с уклоном 15% и 10% и сравним их ТЭП. Откроем программу «SteelTruss»и выполним расчет преднапряженной фермы пролетом 36м и уклоном верхнего пояса 15%.

Преднапряженная ферма типа «арка с затяжкой» пролетом 36м, шагом 12м и уклоном верхнего пояса – 15%. Вводим данные узлах и стержнях фермы и начинаем расчет.

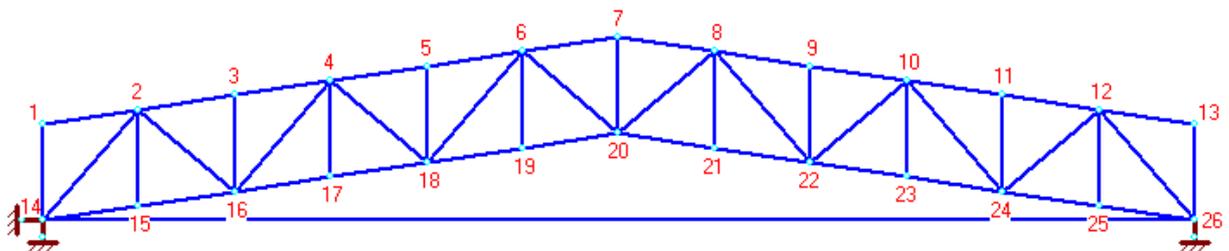


Рис.2.45. Схема нумерации узлов фермы пролетом 36м уклоном – 15%

В результате получим: для верхнего пояса тавр 27,5 БТ-1, для нижнего пояса тавр 17,5 БТ-3, для раскосов уголки 2х160х10, для стоек уголки 2х90х7. Теоретическая масса фермы составляет 5949 кг.

Преднапряженная ферма типа «арка с затяжкой» пролетом 36м, шагом 12м и уклоном верхнего пояса – 10%. Аналогично рассчитаем ферму с уклоном 10%.

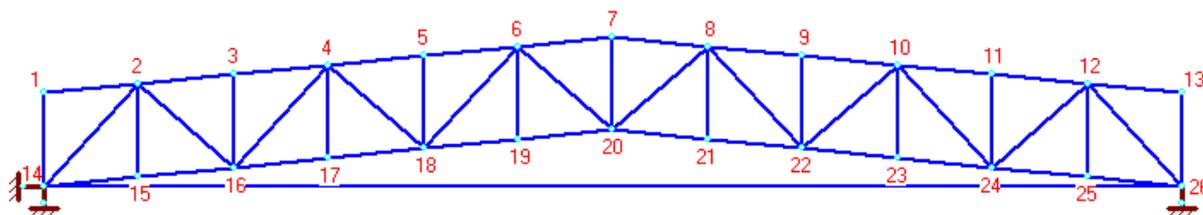


Рис.2.46 Схема нумерации узлов фермы пролетом 36м уклоном – 10%

В результате получим: для верхнего пояса тавр 30 БТ-1, для нижнего пояса тавр 17,5 БТ-2, для раскосов уголки 2х160х10, для стоек уголки 2х90х7. Теоретическая масса фермы составляет 6149 кг.

Наиболее экономичным из этих вариантов является ферма с уклоном 20% теоретическая масса которого составило 5502кг что на 447кг (8,1%) экономичнее фермы с уклоном 15% и на 6471кг (11,75%) экономичнее фермы с уклоном 10%. Из этих расчетов мы берем на расчет преднапряженные фермы типа «арка с затяжкой» с уклоном 20%.

### **3.2. Учет сейсмической нагрузки и ее влияние на ТЭП фермы**

Согласно норм проектирования [1], вертикальные сейсмические воздействия следует учитывать для конструкций покрытий пролетами 24 м и более. При этом нужно составлять основные и особые сочетания нагрузок и принимать для расчета наиболее опасные сочетания. Ввиду отличия коэффициентов сочетаний расчетными в разных случаях могут быть как основные, так и особые сочетания нагрузок. Поэтому необходимо изучить необходимость учета вертикальных сейсмических воздействий на примерах.

Для учета сейсмической нагрузки и влияния ее на технико-экономические показатели берем нашу ранее рассчитанную задачу фермы типа «арка с затяжкой» пролетом 24 м при шаге 12м и добавляем сейсмическую нагрузку через команду параметры в программе «SteelTruss». Далее мы рассчитываем ферму с сейсмической нагрузкой и сравним его с задачей без сейсмической нагрузки.

Расчет выполним для фермы пролетом 24 и 36 м при шаге 12 м, стержни фермы выполнены из труб. На экранной форме «Параметры системы» выберем вкладку «Параметры», установим флажок «Наличие сейсмической нагрузки», затем введем интенсивность нагрузки (в баллах), категорию грунта, число форм колебаний и произведение коэффициентов  $K_1K_2K_3 = 0,375$  (такое значение получается при учете вертикальных сейсмических воздействий). Интенсивность воздействия примем равной максимальной, то есть 9 баллов (рис. 2.42).

Далее на вкладке «Данные-группы» добавим 3-ю сейсмическую группу загрузений, на вкладке «Данные-загрузки» добавим загрузку вертикальной нагрузкой, а на вкладке «Данные-нагрузки» введем узловые массы для решения динамической задачи и определения сейсмических квазистатических сил, приложенных в этих же узлах (рис. 2.12).

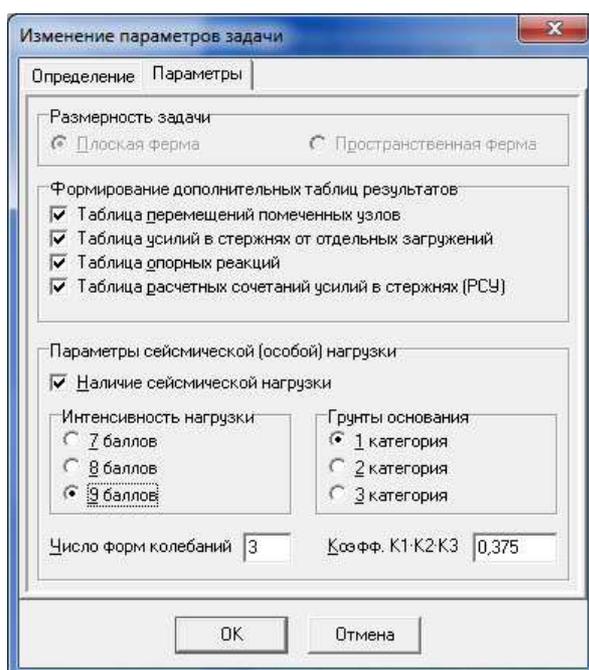


Рис. 2.47. Экранная форма «Параметры системы»  
для учета сейсмических воздействий

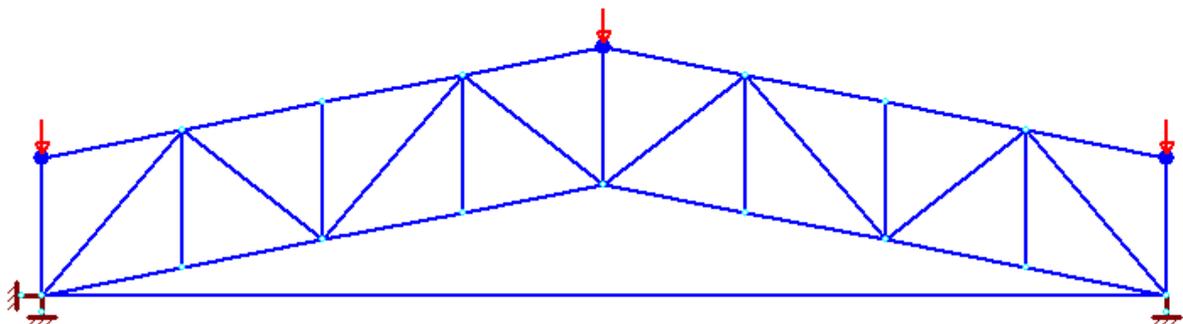


Рис.2.48. Схема сейсмической нагрузки на ферму

В результате расчета без сейсмической нагрузки получим следующие результаты по сечениям типоразмеров: для верхнего пояса тавр 15-БТ1, для нижнего пояса тавр 17,5-БТ3, для раскосов уголки 2х125х8, для стоек уголки 2х90х7. Теоретическая масса фермы составляет 2664 кг.

В результате расчета с сейсмической нагрузкой получили точно такой же результат как и без сеймики.

Аналогично рассчитываем ферму типа «арка с затяжкой» пролетом 36 м при шаге 12м и добавляем сейсмическую нагрузку через команду параметры в программе «SteelTruss». Далее мы рассчитываем ферму с сейсмической нагрузкой и сравним его с задачей без сейсмической нагрузки.

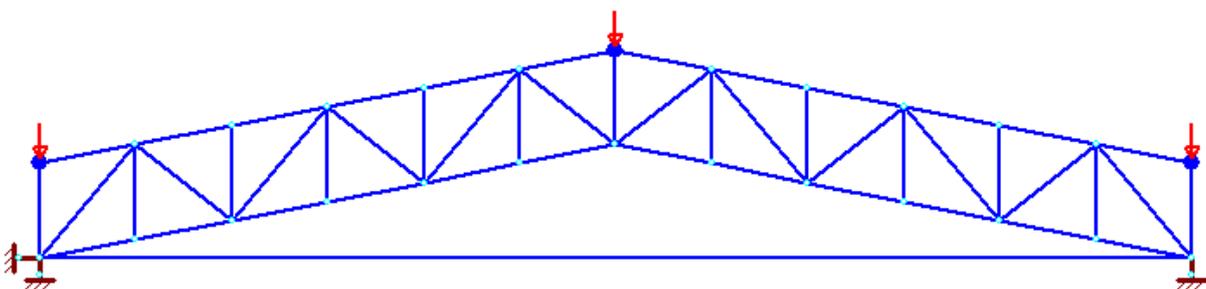


Рис.2.49. Схема сейсмической нагрузки на ферму

В результате расчета с сейсмической нагрузкой получим следующие результаты по сечениям типоразмеров: для верхнего пояса тавр 25-БТ1, для нижнего пояса тавр 20-БТ1, для раскосов уголки 2х160х10, для стоек уголки 2х90х7. Теоретическая масса фермы составляет 5809 кг.

В результате расчета без сейсмической нагрузки получим следующие результаты по сечениям типоразмеров: для верхнего пояса тавр 25-БТ1, для нижнего пояса тавр 20-БТ2, для раскосов уголки 2х140х10, для стоек уголки 2х90х7. Теоретическая масса фермы составляет 5502 кг.

Таблица 2.1. Влияние сейсмической нагрузки на ТЭП фермы «арка с затяжкой 36м»

Наименование	С сейсмической нагрузкой (кг)	Безсеймики (кг)	Разница в %
Вес жестких эл.	5565	5235	
Вес затяжки	264	267	
Общий вес	5829	5502	5,94

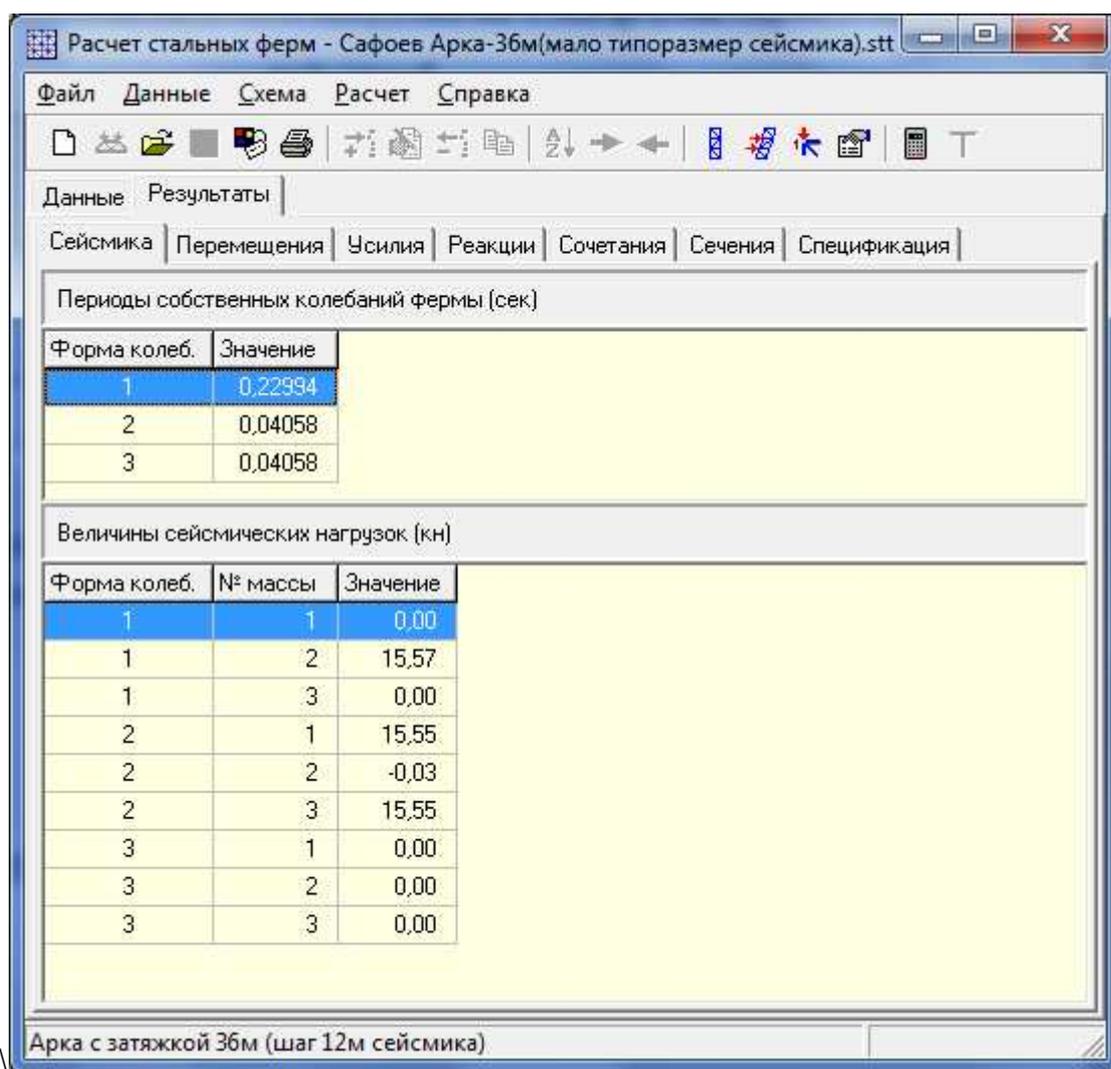


Рис. 2.49. Значения периодов собственных колебаний и величины квазистатических узловых нагрузок для 1-ой формы колебаний

Как видно из результатов ферма рассчитанная с сейсмической нагрузкой тяжелее фермы рассчитанной без сейсмике на 307 кг или 5,94% что очень значима. Получается при ферме в пролете 24 м влияние сейсмике не наблюдается а при 36 м влияние наблюдается в значительных величинах.

Отсюда можно сделать вывод о том что влияние сейсмической нагрузки влияет значительно при больших пролетах, в сравнении с маленькими пролетами.

### ***3.3. Оптимальные типы сечений стержней фермы «арка с затяжкой»***

Чтобы найти оптимальные типы сечений стержней фермы «арка с затяжкой» берем ранее рассчитанную в главе 3.1. фермы разных пролетов и начнем менять его типы сечений на другие и ввести его в таблицу.

#### **Преднапряженная ферма типа «Арка с затяжкой 24м».**

Вначале примем шаг 12 м, высота фермы в 1-ом приближении  $H= 3,0$  м (транспортный габарит), уклон верхнего пояса – 20%. Примем вначале пояса из тавров и решетку из спаренных уголков. На последующих рисунках 2.20-2.22 показаны скопированные из программы схемы фермы с нумерацией узлов, стержней и нагрузками. После 1-го расчета произведем замену профилей в меню «Расчет» и произведем 2-ой расчет.

Замена сечений типоразмеров в программе осуществляется следующим образом. На вкладке «Данные-Типоразмеры» для каждого типоразмера редактируем тип сечения и профиль, после чего выполняем 1-ый расчет, производим замену профилей и выполняем 2-ой расчет. Все результаты для фермы пролетом 24 м сведем в таблицу 2.2.

Таблица 2.2. Показатели массы ферм пролетом 24 м

Ша Г	Масса (кг) при сечениях стержней					
	Уголки+	Тав-	ГСП+	Двуга-	Двугав-	Тру-

(м)	уголки	ры+ уголки	ГСП	ры+ ГСП	ры+ двутавры	бы+ трубы
6	2656	2398	1309	2561	4564	1246
	213%	192%	105%	205%	366%	100%
12	2584	2440	–	2703	4570	1400
	184,5%	174%		193%	326,4%	100%

**Преднапряженная ферма типа «Арка с затяжкой 36м».** Здесь тоже вначале примем шаг 12 м, высота фермы в 1-ом приближении  $H= 3,0$  м (транспортный габарит).

Аналогично здесь тоже вначале примем пояса из тавров и решетку из спаренных уголков. На последующих рисунках показаны скопированные из программы схемы фермы с нумерацией узлов, стержней и нагрузками. После 1-го расчета произведем замену профилей в меню «Расчет» и произведем 2-ой расчет.

Примем шаг 12 м, высота фермы в 1-ом приближении  $H= 3,0$  м (транспортный габарит), уклон верхнего пояса – 20%. Зададим параметры нового файла и сгенерируем типовую схему (треугольную с дополнительными стойками). Для проверки прогиба фермы зададим печать перемещений конькового узла; кроме того, зададим печать РСУ и сечений типоразмеров. Сейсмическую нагрузку пока не учитываем. Отметим также, что программа при генерации схемы создает только 4 типоразмера стержней – верхний пояс, нижний пояс, раскосы и стойки. Далее, на основе расчета 1-го приближения, можно будет провести более детальную унификацию с целью экономии стали. Рассмотрим поподробнее.

Примем вначале пояса из тавров и решетку из спаренных уголков. На последующих рисунках показаны скопированные из программы схемы фермы с нумерацией узлов, стержней и нагрузками. После 1-го расчета произведем замену профилей в меню «Расчет» и произведем 2-ой расчет.

Таблица 2.3. Показатели массы ферм пролетом 36 м

Ша	Масса (кг) при сечениях стержней
----	----------------------------------

Г (м)	Уголки+ уголки	Тав- ры+ уголки	ГСП+ ГСП	Двута- ры+ ГСП	Двута- ры+ двута- тавры	Тру- бы+ трубы
6	3450	3202	2086	3418	5717	1806
	191%	177%	115,5%	189%	316%	100%
12	3770	3285	-	3560	5735	2318
	162%	141%		153%	247%	100%

Как видно из таблицы, наименьшую массу имеют фермы из труб – что было очевидно заранее. Фермы из ГСП при шаге ферм тяжелее всего на 5%, но при шаге 12 м применение ГСП уже невозможно из-за ограниченности сортамента. При сочетании ГСП с прокатными двутаврами при шаге ферм утяжеление составляет 105%, а при шаге 12 м – только 93%. Видимо, с увеличением пролета эта разница будет уменьшаться. Фермы, выполненная полностью из двутавров, явно неэкономичны – но здесь нужно проследить тенденцию при увеличении пролета.

Что касается тавров и уголков, то такие фермы тяжелее трубчатых в среднем на 20%, а разница между ними самими невелика. Тем не менее фермы с поясами из тавров предпочтительнее из-за уменьшения размеров фасонки и длин сварных швов. Здесь также нужно проследить тенденцию при увеличении пролетов.

### ***3.4. Выводы и рекомендации по главе***

1. Полученные результаты, представленные в табличной форме и в форме диаграммы, показывают эффективность и пределы применимости различных профилей проката, а также закономерность возрастания массы конструкций в зависимости от пролета и шага.
2. Наименьшую массу имеют фермы из труб – что было очевидно заранее. Фермы из ГСП при шаге ферм тяжелее всего на 5%, но при шаге 12 м применение ГСП уже невозможно из-за ограниченности сортамента. При сочетании ГСП с прокатными двутаврами при шаге ферм утяжеление со-

ставляет 105%, а при шаге 12 м – только 93%. Видимо, с увеличением пролета эта разница будет уменьшаться. Фермы, выполненная полностью из двутавров, явно неэкономичны – но здесь нужно проследить тенденцию при увеличении пролета.

3. Расчеты с учетом вертикальной сейсмической нагрузки и особых сочетаний нагрузок показали, что для пролета 24 м при сейсмичности 7-9 баллов расчетными являются основные сочетаний усилий, поэтому учет сейсмических воздействий не требуется. А при пролете 36 м разница ТЭП между расчетами с сейсмикой и без составляет 5-6%.
4. Анализ ТЭП фермы при их различных пролетах и шаге показало что видна тенденция падения разницы между разными профилями в варианте с шагом на 12 м по сравнению с вариантом шага 6 м.

## Общие выводы и рекомендации

1. На примере ферм типа «арка с затяжкой» пролетом 36 м с треугольной решеткой показана методика расчета конструкций по программе «Стальные фермы» с использованием функций поэлементного ввода и редактирования данных. Показана возможность варьирования уклона поясов, типоразмеров (групп унификации) стержней, типов сечений и других параметров системы с оценкой результатов по вычисляемой программой теоретической массе.
2. Был выполнен расчет с разным расположением затяжек на фермах типа «арка с затяжкой», затяжка по нижнему поясу и шпренгельные. Вычислены значения оптимальной расход стали и было сделано сравнения в виде таблиц. Из таблицы было сделано вывод что ферма типа «арка с затяжкой» наиболее экономичнее других видов затяжек при одном и том же пролете.
3. При регулировании величины преднапряжения затяжки можно найти оптимальное преднапряжение затяжки к технико-экономическим показателям расхода стали. Для нашего примера фермы типа «арка с затяжкой» оптимальным преднапряжением затяжки было установлено в 350 Кн.
4. Выполнен также анализ влияния прочности стали в пределах 230-310 МПа на массу и приведенную массу (с учетом удорожания материала) ферм. Как видно по результатам, снижение массы за счет увеличения прочности стали может достигать 22%, в то время как приведенная масса (или стоимость материала) снижается только до 5-6%.
5. Наименьшую массу имеют фермы из труб – что было очевидно заранее. Фермы из ГСП при шаге ферм тяжелее всего на 5%, но при шаге 12 м применение ГСП уже невозможно из-за ограниченности сортамента.

При сочетании ГСП с прокатными двутаврами при шаге ферм утяжеление составляет 105%, а при шаге 12 м – только 93%. Видимо, с увеличением пролета эта разница будет уменьшаться. Фермы, выполненная полностью из двутавров, явно неэкономичны – но здесь нужно проследить тенденцию при увеличении пролета.

6. Расчеты с учетом вертикальной сейсмической нагрузки и особых сочетаний нагрузок показали, что для пролета 24 м при сейсмичности 7-9 баллов расчетными являются основные сочетаний усилий, поэтому учет сейсмических воздействий не требуется. А при пролете 36 м разница ТЭП между расчетами с сейсмикой и без составляет 5-6%.
7. Анализ ТЭП фермы при их различных пролетах и шаге показало что видна тенденция падения разницы между разными профилями в варианте с шагом на 12 м по сравнению с вариантом шага 6 м.

## Список использованной литературы

1. КМК 2.01.03-96. Строительство в сейсмических районах / Госкомархитекстрой. – Ташкент. 1996. – 127 с.
2. КМК 2.03.05-97. Стальные конструкции. Нормы проектирования / Госкомархитекстрой. – Ташкент. 1997. – 118 с.
3. КМК 2.01.07-96. Нагрузки и воздействия / Госкомархитекстрой. – Ташкент. 1996. – 126 с.
4. Металлические конструкции: Специальный курс. / Под ред. Е.И. Беленя. – М., Стройиздат, 1991. - 687 с.
5. Металлические конструкции: Учебник для ВУЗов / Под ред. Ю.И. Кудишина. – М., Academia, 2006. - 675 с.
6. Металлические конструкции: Справочник проектировщика. В 3-х томах. / Под ред. В.В. Кузнецова. - М., изд. АСВ, 1998.
7. Проектирование металлических конструкций: специальный курс. / Под ред. В.В.Бирюлева. – Л., Стройиздат, 1990. – 432 с.
8. Программно-вычислительный комплекс «Ли́ра 9.0» для расчета и проектирования строительных конструкций (ВК «Ли́ра»). Руководство пользователя. / Киев, НИИАСС, 2002.
9. Фридман Г.С. Программа «SteelTruss» расчета плоских и пространственных ферм / Инструкция для пользователей и электронная справка. Самарканд, СамГАСИ, 2002.
10. Алдашев М.Б. Проектирование стальных ферм с применением компьютерных программа. Магистерская диссертация (рук. Фридман Г.С.). Самарканд, СамГАСИ, 2007. – 73 с.
11. Фридман Г.С. Расчеты стальных ферм с использованием компьютерной программы WinTruss. Строительная механика и расчет конструкций. Материалы международной научно-технической конференции, книга 3. Самарканд, СамГАСИ, 2007. – 6 с.

12. Фридман Г.С. Подбор сечений стальных стержней ферм в программе «WinTruss». Проблемы архитектуры и строительства (научно-технический журнал). Самарканд, 2007, №2. – 4 с.
13. Фридман Г.С. Технико-экономический анализ стальных ферм с использованием компьютерной программы «WinTruss». Проблемы архитектуры и строительства (научно-технический журнал). Самарканд, 2007, №3. – 5 с.
14. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81\*). ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. М., Стройиздат, 1989. – 214 с.
15. Металлические конструкции. / Учебник для ВУЗов в 3-х томах под ред. В.В. Горева. – Том 1. Элементы конструкций. / М., Высшая школа, 2001. – 277 с.
16. Постановление Президента Республики Узбекистан «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности проектно-изыскательских организаций». – Проблемы архитектурно-строительной школы, №2, 2008. – 4 с.
17. Каримов И.А. «Мировой финансово-экономический кризис, пути и меры по его преодолению в условиях Узбекистана». – Изд. «Узбекистан», Ташкент, 2009. – 48 с.

### **Использованные информационно-технические средства**

- 1) Компьютерная программа «SteelTruss» (Стальные фермы).
- 2) Компьютерная программа «MicrosoftWord».
- 3) Компьютерная программа «MicrosoftExcel».