

**Министерство образования и науки Украины**  
**Запорожская государственная инженерная академия**

**Г.П. Малышев**  
**А.А. Корытько**  
**А. А. Власов**

**«Монтаж, эксплуатация и ремонт металлургических  
машин»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**к курсовой работе: «Расчет монтажной мачты с**  
**использованием вычислительного комплекса "ЛИРА-9"»**

*для студентов дневной и заочной форм обучения специальности 7.090218*

**Запорожье**  
**2003**

**Министерство образования и науки Украины**  
**Запорожская государственная инженерная академия**

**«Монтаж, эксплуатация и ремонт металлургических машин»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**к курсовой работе: «Расчет монтажной мачты с использованием**  
**вычислительного комплекса "ЛИРА-9"»**  
*для студентов дневной и заочной форм обучения специальности 7.090218*

Рекомендовано к изданию  
На заседании кафедры МОМЗ  
Протокол №     от     2003г

**Запорожье**  
**2003**

## **Монтаж, эксплуатация и ремонт металлургических машин**

Методические указания к курсовой работе: «Расчет монтажной мачты с использованием вычислительного комплекса "ЛИРА-9" для студентов дневной и заочной форм обучения специальности 7.090218 / Составители: Г. П. Малышев, А. А. Корытько, А. А. Власов.-Запорожье: Изд – во ЗГИА, 2002. – 48с

Составители: ***Г.П. Малышев, к.т.н., доцент***

***А. А. Корытько, магистр***

***А. А. Власов, аспирант***

Ответственный за выпуск: **зав. кафедрой МОМЗ**

***профессор А.Я. Жук***

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1 КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА "ЛИРА"	4
2 РАЗБИВКА КОНСТРУКЦИИ НА КОНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ	5
3 РАБОТА С ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ "ЛИРА-9"	6
4 ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ МОНТАЖНОЙ МАЧТЫ	6
5 ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЕТА	9
6 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА	9
7 ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ РАСЧЕТА	10
ЛИТЕРАТУРА	23
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	24

# 1 КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА "ЛИРА"

Вычислительный комплекс "ЛИРА-9" базируется на методе конечных элементов и реализует известный в сопротивлении материалов метод перемещений. ВК предназначен для расчета строительных конструкций (пространственных и плоских стержневых систем, изгибаемых плит, балок-стенок, оболочек, массивных тел, а также композитных систем).

ВК позволяет выполнить расчет конструкций на статические и динамические воздействия, включая расчет на динамическую составляющую при действии ветровой нагрузки и на сейсмические воздействия. Для железобетонных конструкций, представленных в виде стержневых систем, плит и балок- стенок, выбираются расчетные сочетания усилий, выполняется унификация сечений элементов, а также подбирается арматура для всех случаев напряженного состояния сечения.

В исходные данные входит информация о геометрии систем, граничных условиях, структуре и физико-механических свойствах расчетной модели. В результате расчета на печать выводятся характеристики напряженно-деформированного состояния системы.

Задаваемая информация является в основном цифровой – действительные и целые числа; имеются также небольшие алфавитные включения.

Вводимая информация сохраняется в следующих файлах:

- файлы исходных данных формата \*.lir в двоичной форме для отображения графики в каталоге C:\Program Files\LIRA\LDATA;

- текстовые файлы формата \*.txt с информацией о задаче на входном языке процессора; C:\Program Files\LIRA\LDATA;

Файлы результатов расчета текущей задачи сохраняются в каталоге C:\ProgramFiles\LIRA\LWORK;

Рабочий каталог, в котором помещаются рабочие файлы процессора в каталоге C:\ProgramFiles\LIRA\LWORK.

Исходные данные следует задавать в тоннах и метрах, поскольку результаты расчета ориентированны именно на эту размерность.

## 2 РАЗБИВКА КОНСТРУКЦИИ НА КОНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Принципы разбиения конструкций на конечные элементы следующие:

1. Разбиение производится произвольными точками, которые называются узлами.
2. Узлы устанавливаются в местах:
  - а) соединения конструкций;
  - б) изменения размера сечения;
  - в) изменения материала конструкции;
  - г) в точках приложения нагрузки (не всегда);
  - д) определения напряженного состояния элемента.
3. Все стержневые элементы заменяются стержнями, не имеющими размеров поперечного сечения по осям центров тяжести сечений реальных конструкций. Узлы нумеруются (чаще всего снизу вверх слева направо) в сторону меньшей протяженности системы. Конечные элементы нумеруются произвольно.
4. Если в системе есть шарниры, они должны быть отнесены только к одному из контактирующих элементов.
5. Связи накладываются только на те узлы, которые закрепляются в элементах, не входящих в расчетную схему.
6. На расчетную схему наносятся координаты всех узлов. Принимается правая система координат.
7. На расчетную схему наносятся все внешние воздействия, разделенные по загрузкам в следующем порядке:
  - 1 – в общем случае, на первом месте – постоянные нагрузки (собственный вес);
  - 2 – длительно действующие временные нагрузки (полезная нагрузка);
  - 3 – кратко действующие временные нагрузки (снеговая, ветровая, сейсмическая).

### 3 РАБОТА С ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ "ЛИРА-9"

Вычислительный комплекс "ЛИРА-9" – последний продукт НИИАСС, рассчитанный на работу под управлением операционной среды Windows. Ввод исходных данных осуществляется во всплывающих графических окнах, что значительно улучшает наглядность по сравнению с вводом безличных параметров в табличной или текстовой форме.

Далее будут описаны приемы работы с демонстрационной версией. Задача будет состоять в отыскании такого сечения, при котором максимальный прогиб мачты не будет превышать максимально допустимого значения  $1/150$  [4].

### 4 ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ МОНТАЖНОЙ МАЧТЫ

#### 4.1 Признак схемы

После загрузки вычислительного комплекса "ЛИРА-9" в главном меню выбираем **Файл|Новый....** Автоматически откроется окно **Признак схемы**, где следует указать:

1. **Имя задачи** (фамилия студента);
2. **Шифр задачи** (№ группы);
3. **Признак схемы.**

Номера признаков схемы:

- 1 – система, каждый узел которой содержит две степени свободы: линейные перемещения по осям  $X$  и  $Z$ . Система располагается в плоскости  $XOZ$  (шарнирно-стержневые системы – фермы, стенки-балки);
- 2 – система, каждый узел которой содержит три степени свободы: линейные перемещения по осям  $X$  и  $Z$  и поворот вокруг оси  $Y$ . Система располагается в плоскости  $XOZ$  (плоские рамные системы);
- 3 – система, каждый узел которой содержит три степени свободы: линейные перемещения по оси  $Z$  и повороты вокруг осей  $Y$  и  $X$ . Система располагается в плоскости  $XOY$  (балочные ростверки, изгибаемые плиты, плиты на упругом основании);

4 – система, каждый узел которой содержит три степени свободы: линейные перемещения по осям X, Y и Z (пространственные шарнирно-стержневые системы, массивные тела);

5 – система общего вида, каждый узел которой содержит шесть степеней свободы: линейные перемещения по осям X, Y и Z и повороты вокруг тех же осей (пространственные конструкции зданий, оболочки, плиты на упругом основании совместно с надземными сооружениями).

В нашем случае, признак системы – 2.

#### 4.2 Построение схемы

Предварительно следует рассчитать координаты всех узлов мачты. В главном меню следует нажать шестую слева кнопку в среднем ряду - **Добавить узел по координатам**. Во всплывшем окне указываем координаты первого узла.

Аналогично производим ввод координат всех остальных узлов. Затем следует соединить все узлы между собой элементами – в главном меню **Схема|**

**Корректировка.| Добавить элемент, перечислив узлы.**

Соединение узлов следует выполнять по два узла, т.е. первый и второй, второй и третий и т.д., для исключения несоответствий, связанных с неточным предварительным вычислением координат узлов.

#### 4.3 Связи

Для узлов 1 и 4 следует наложить связи, в соответствии с их степенями свободы.

Для узла 1- связи по осям X и Z, для узла 4- связь по оси X. Для наложения связей вызываем редактор узлов из главного меню **Выбор| Информация об узле №**. В появившемся окне указывают номер узла и, после подтверждения, всплывает редактор с указателем номера узла. В соответствующих ячейках отмечаем связи, наложенные на данный узел.

#### 4.4 Местные оси

В схеме мачты нагрузки прикладывают к узлу 5. Направление усилия  $S_{max}$  не совпадает с направлением ни одной глобальной оси X,Y,Z. Поэтому необходимо установить местную ось- ось действия данного усилия, совпадающую с направлением оси мачты. Для этого вызываем редактор узлов из главного меню



**Выбор| Информация об узле №.** В появившемся окне указывают номер узла 5 и, после подтверждения, всплывает редактор с указателем номера узла. В ячейке **Локальные оси** отмечаем **Установить** и в ячейке **X** указываем величину  $x$ , равную разности координат по оси X узлов 5 и 3, отнесенную к величине косинуса угла наклона мачты, т.е.  $x=(x_5-x_3)/\cos(7^\circ..10^\circ)$ . Т.к. величина  $\cos(7^\circ..10^\circ)$  приблизительно равна 1, то ею можно пренебречь, т.е.  $x=(x_5-x_3)$ . Местная ось X1 пройдет через точку  $(x;0;0)$  и точку координат узла 5.

#### 4.5 Приложение нагрузок

Нагрузки должны быть вычислены предварительно. Выделяем узел 5. В главном меню выбираем **Нагрузки|Нагрузка в узле**. Устанавливаем - **Местная, вдоль оси X, сила** и вводим значение усилия  $S_{max}$ .

В главном меню выбираем **Нагрузки|Нагрузка в узле**. Устанавливаем - **Глобальная, вдоль оси Y, сила** и вводим значение усилия  $Q$ .

#### 4.6 Назначение жесткости

Вызов редактора осуществляется из главного меню **Жесткость| Задание и выбор жесткости**. В появившемся окне «Сечение» выбираем «Два швеллера» и **Изменить**. В окне «Стальное сечение» сначала отмечают «Ветвь», затем, убедившись в установке «Файл сортамента» shv\_s.srt, выбирают номер швеллера и переходят к стыковке (кнопка **Стыковка**). Стыковка ведется через привязку желтой точки к голубой. Последовательно закрывая окна через **ОК**, возвращаются в «Сечение» и **Установить как текущий тип**, после чего в верхней области «Текущий тип сечения» должно появиться ваше сечение. Для задания в качестве сечения трубы из окна «Сечение» переходят через **Добавить** в «Стандартные типы сечений» и выбирают двойным щелчком мыши «Кольцо». В «Задании стандартного сечения» вводят значение модуля Юнга  $E$ , диаметры сечения  $D$  и  $d$ , удельный вес  $R_0$ , остальные параметры не редактируют (ввод десятичных дробей через точку). Дальнейшие действия аналогичны вышеописанным для случая сечения из двух швеллеров.

Назначение элементам текущего типа сечения осуществляется из главного меню. Перед этим необходимо выделить все элементы, для которых этот тип

устанавливается: включить на панели кнопку выделения элементов и мышью последовательно отметить необходимые элементы (при выделении меняется цвет на красный).

#### 4.7 Добавление собственного веса

В главном меню- **Нагрузки.** □ **Добавить собственный вес.** Перед добавлением веса необходимо выделить все элементы. При появлении сообщения об ошибке «Имеются элементы с незаданной жесткостью» следует вновь назначить элементам текущий тип жесткости и повторить добавление веса.

### 5 ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЕТА

Программу запускают на счет из главного меню **Режим.** □ **Выполнить расчет.** Расчет ведется линейным процессором с выходом из среды Windows, поэтому рекомендуется предварительно закрыть все открытые приложения.

### 6 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА

Программа возвращается в графическую среду и автоматически переходит в режим «Результаты расчета». Для удобства представления результатов можно отобразить деформированную ось мачты путем утопления третьей слева кнопки второго ряда командной панели или из главного меню **Схема| Исходная + деформированная.** Вход в диалог создания таблицы перемещений осуществляется путем утопления четвертой справа кнопки второго ряда командной панели или из главного меню **Окно| Интерактивные таблицы.** В «Редакторе форм» выбирают «Перемещения», а затем через кнопку **Таблицу–на экран** создают «Таблицу узлов». Полученная «Таблица узлов» (Nodes table) содержит перемещения (displacements) узлов (данном случае, в мм). Размерность перемещений необходимо проверить **Опции| Единицы измерения| Результаты расчета.** Проверяют условие жесткости по наибольшему прогибу (точка 2) и, в случае невыполнении, возвращаются в режим «Расчетная схема» и начинают с пункта 4.6 – корректировки жесткости элементов.

## 7 ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ РАСЧЕТА

Проверку правильности расчета можно выполнить сравнив полученные значения со значениями, которые можно получить с помощью эталонного файла.

Существует эталонный файл Machta\_2.lir, редактируя который под свои значения параметров, получают новую расчетную модель. После этого полученный файл запускают на счет и находят перемещения. Сравнивая полученные в эталонном файле значения перемещений с полученными в своем файле делают вывод о правильности или неправильности выполненного расчета. Если разность в значениях существенна, то следует повторить расчет сначала, пока не будет достигнуто равенство значений с эталонным файлом.

### 7.1 ОПИСАНИЕ

Все возникающие при пуске окна и сообщения должны быть закрыты. При загрузке исходного файла (в данном случае, machta\_2. lir) программа будет иметь вид, показанный на рис. 3.1. Расчетная схема соответствует рис.3.0.

Первый этап – корректировка геометрии мачты, заключающаяся в подстановке координат узлов своей мачты. Координаты узлов должны быть вычислены предварительно (в зависимости от геометрических параметров мачты - высота мачты, высота точки крепления полиспаста, угол отклонения мачты от вертикали, длины консольного участка). Вызов редактора узлов осуществляется из главного меню **Выбор| Информация об узле №** (рис. 3.2). В появившемся окне указывают номер узла и, после подтверждения, всплывает редактор с указателем номера узла (рис. 3.3). Для узлов 1-4 подлежат изменению лишь координаты Z и X, всякое другое редактирование приведет к неверному решению (программа может вообще не пуститься на счет вследствие обнаружения препроцессором нестыковки исходных данных и расчетной схемы). Для узла 5 задаются дополнительно величины нагрузок Q и Smax. Предварительно следует вычислить значение Smax - максимальное натяжение в канате полиспаста. Положение переключателя локальных осей «Установить» обязательно. Ввод значения силы Smax (рис. 3.4): в групповом окне «Нагрузки» выбирают «Сила вдоль местной оси X», затем **Изменить**; в появившемся окне «Параметры нагрузки» вводят значение силы (в данном случае в

МН) и **Подтвердить**. Ввод значения силы  $Q$  (рис. 3.5): в групповом окне «Нагрузки» выбирают «Сила вдоль глобальной оси  $Z$ », затем **Изменить**; в появившемся окне «Параметры нагрузки» вводят значение силы и **Подтвердить**.

Второй этап – корректировка геометрии сечения (жесткости элементов). Вызов редактора осуществляется из главного меню **Жесткость | Задание и выбор жесткости** (рис. 3.6). В появившемся окне «Сечение» (рис. 3.7) выбираем «Два швеллера» и **Изменить**. В окне «Стальное сечение» (рис. 3.8) сначала отмечают «Ветвь», затем, убедившись в установке «Файл сортамента» `shv_s.srt`, выбирают номер швеллера и переходят к стыковке (кнопка **Стыковка**). Стыковка ведется через привязку желтой точки к голубой (рис. 3.9). Последовательно закрывая окна через **ОК**, возвращаются в «Сечение» и **Установить как текущий тип**, после чего в верхней области «Текущий тип сечения» должно появиться ваше сечение. Для задания в качестве сечения трубы из окна «Сечение» переходят через **Добавить в «Стандартные типы сечений»** и выбирают двойным щелчком мыши «Кольцо». В «Задании стандартного сечения» вводят значение модуля Юнга  $E$ , диаметры сечения  $D$  и  $d$ , удельный вес  $R_0$ , остальные параметры не редактируют (ввод десятичных дробей через точку). Дальнейшие действия аналогичны вышеописанным для случая сечения из двух швеллеров.

Назначение элементам текущего типа сечения осуществляется из главного меню (рис. 3.10). Перед этим необходимо выделить все элементы, для которых этот тип устанавливается: включить на панели кнопку выделения элементов и мышью последовательно отметить необходимые элементы (при выделении меняется цвет на красный).

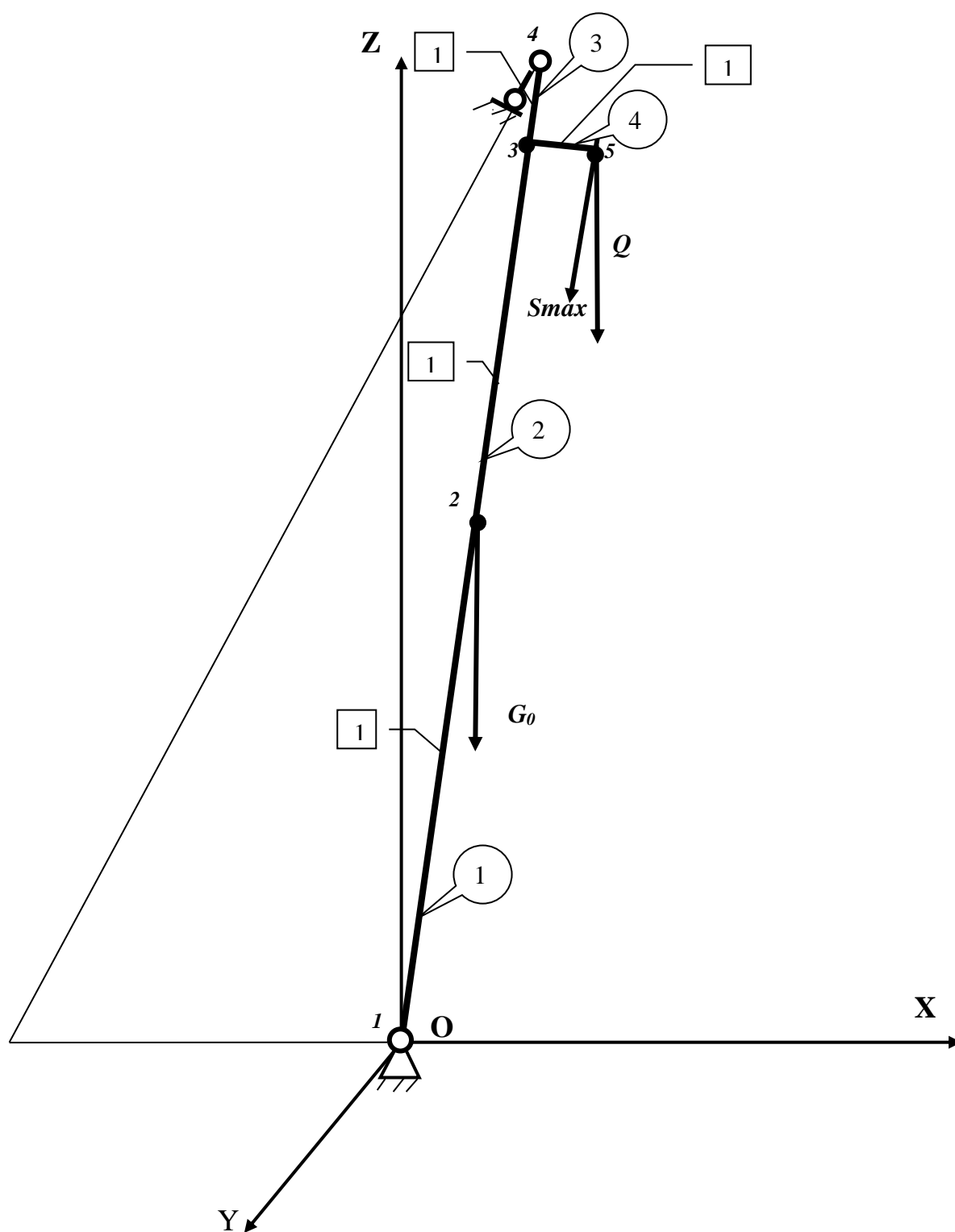


Рис. 3.0 – Расчетная схема монтажной мачты: номер типа жесткости – в окружности, номер элемента – в квадрате.

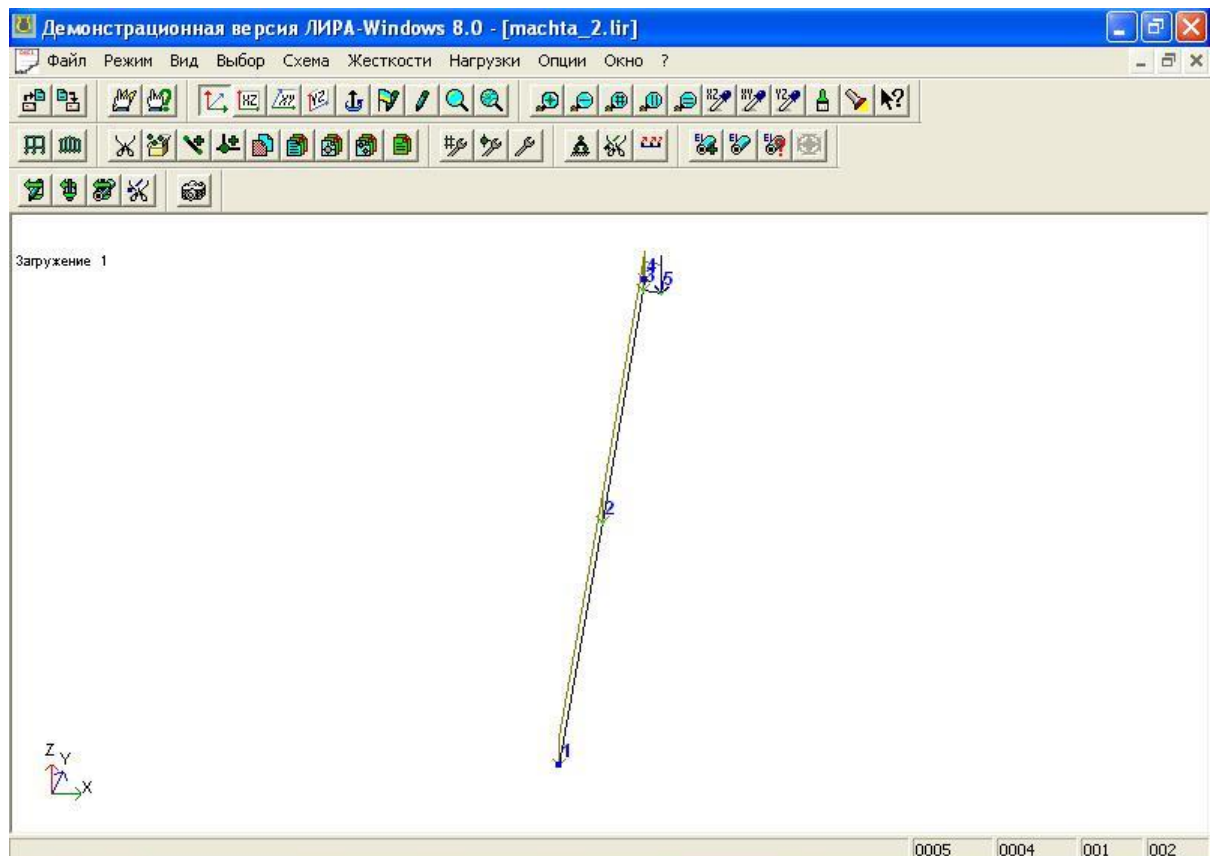


Рис. 3.1 – Вид программы при загрузке эталонного файла

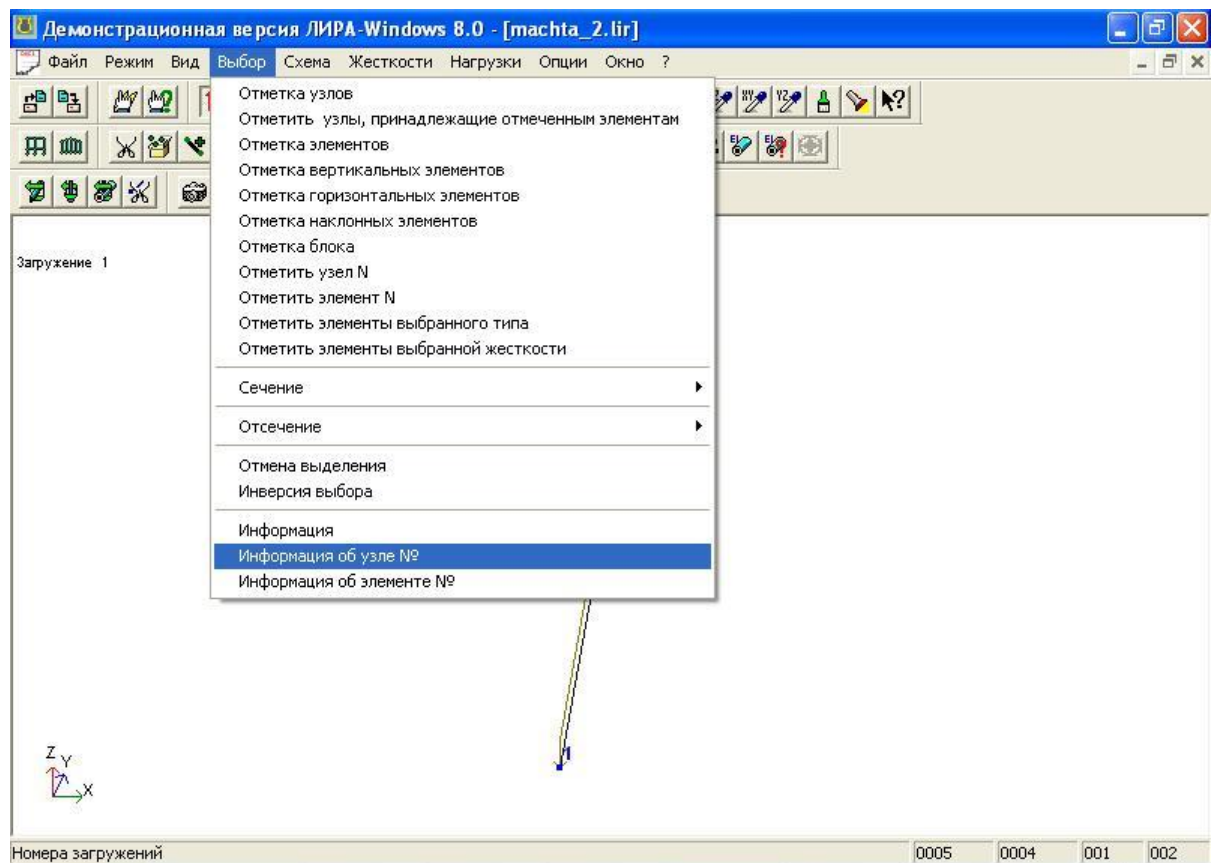


Рис. 3.2 – Вызов редактора узлов

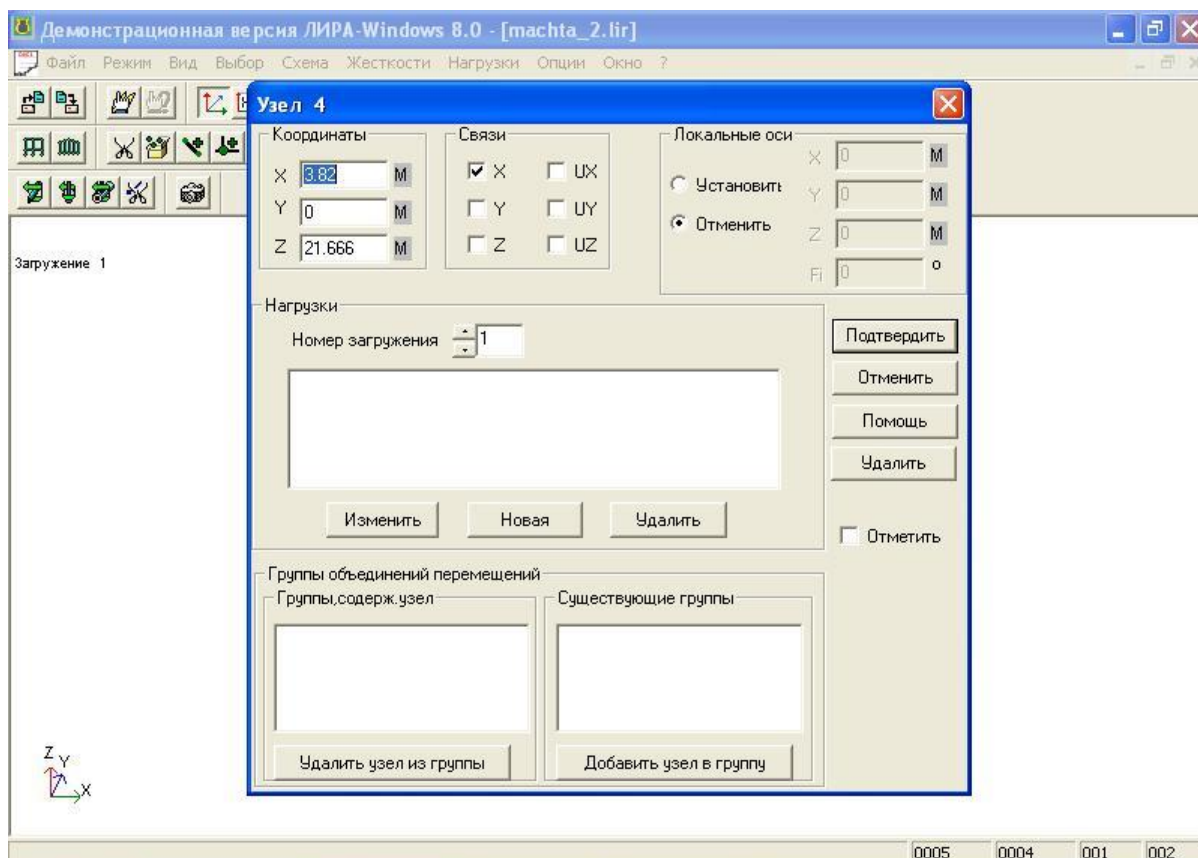


Рис. 3.3 – Редактирование координат узла (одинаково для узлов 1-4)

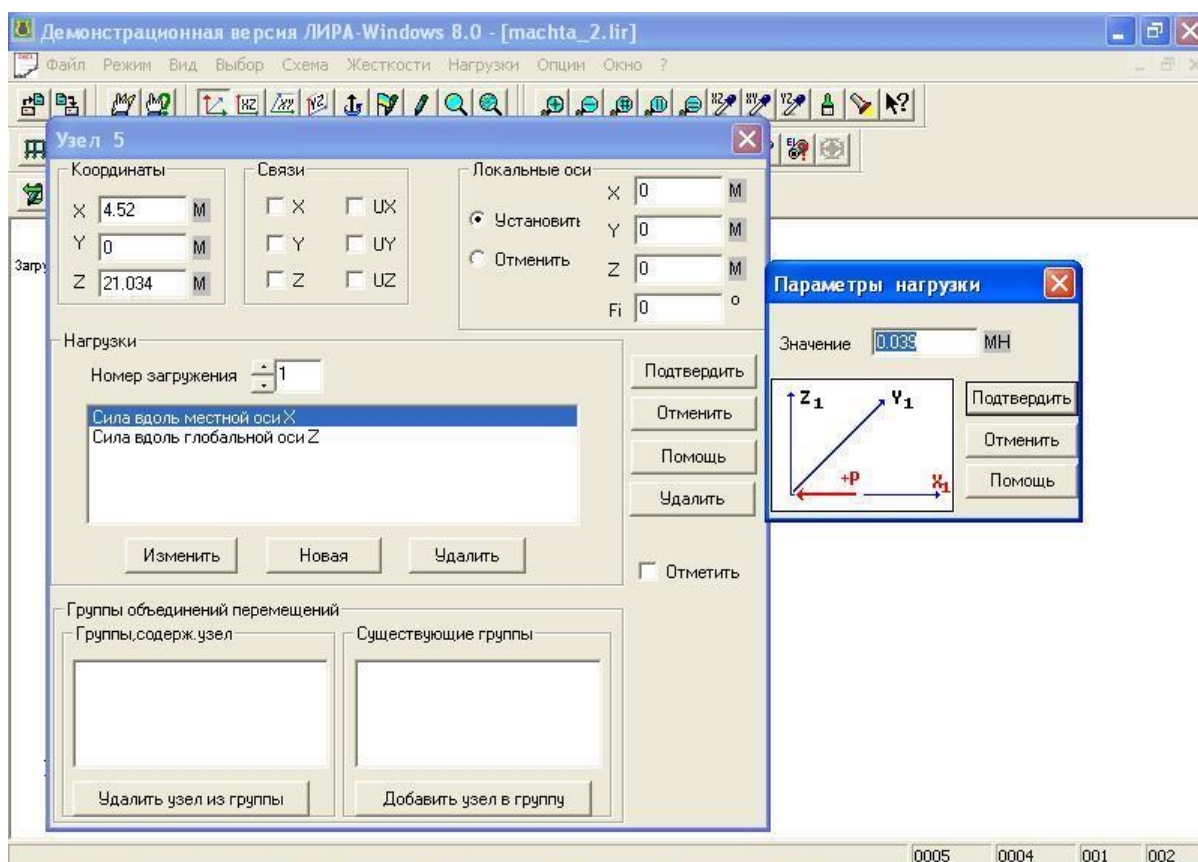


Рис. 3.4 – Редактирование узла 5: ввод значения силы  $S_{\max}$

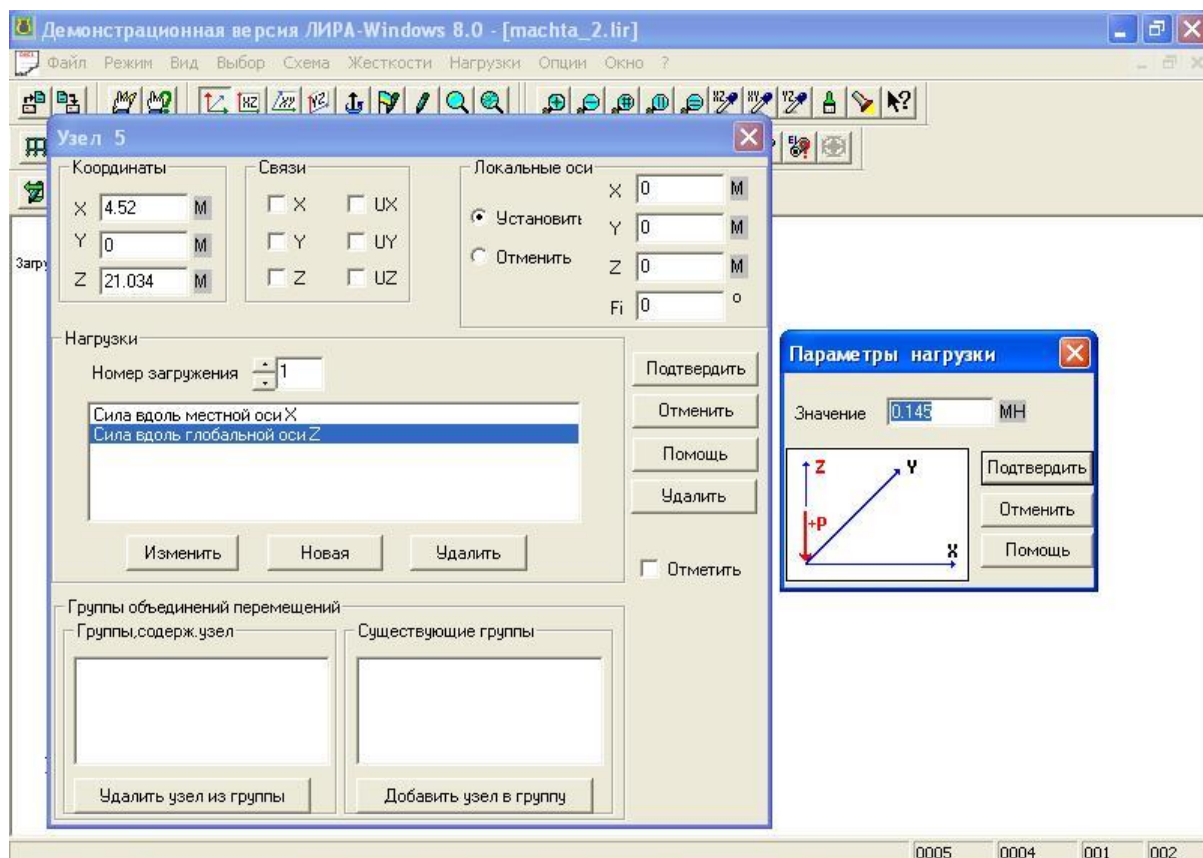


Рис. 3.5 – Редактирование узла 5: ввод значения силы Q

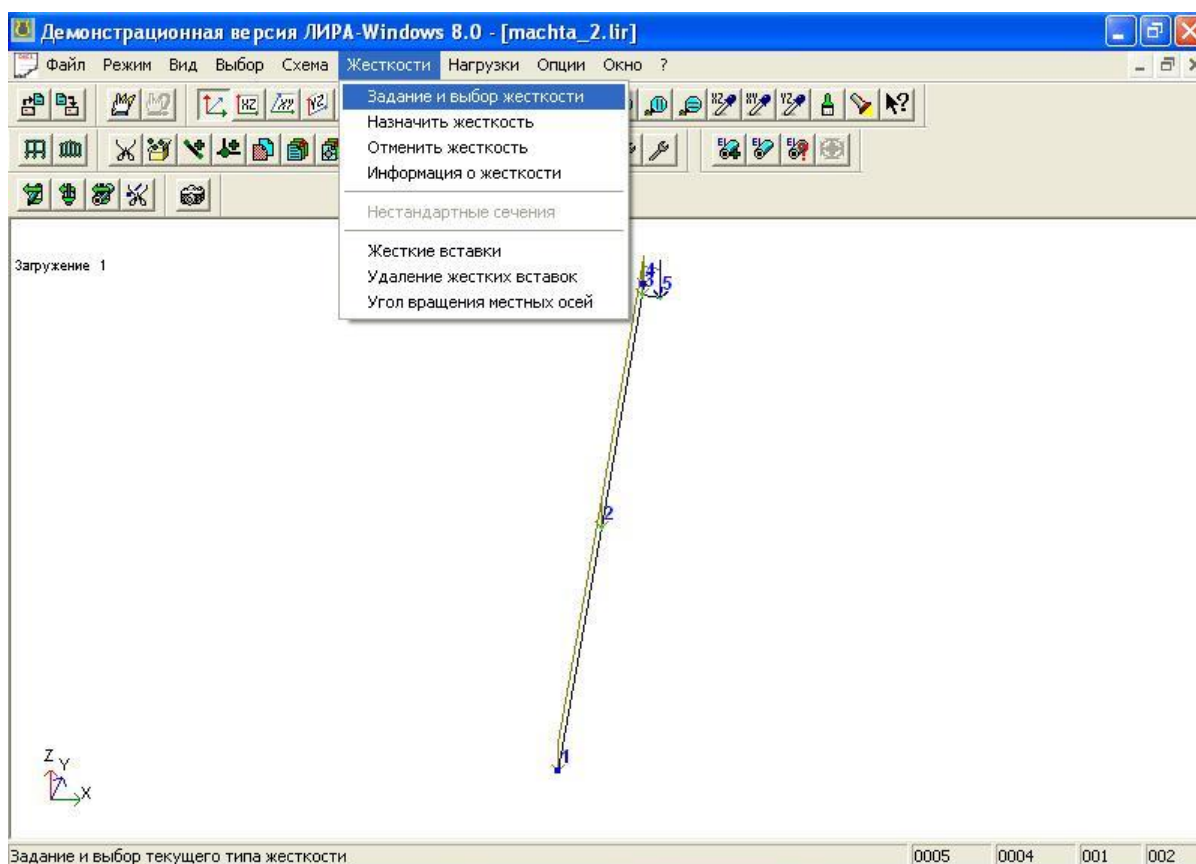


Рис. 3.6 –Вызов редактора сечения



Третий этап – добавление собственного веса мачты (рис. 3.11), если он еще не задан: **Нагрузки| Добавить собственный вес**. Перед добавлением веса необходимо выделить все элементы. При появлении сообщения об ошибке «Имеются элементы с незаданной жесткостью» следует вновь назначить элементам текущий тип жесткости и повторить добавление веса.

Четвертый этап – непосредственно расчет. Программу запускают на счет из главного меню **Режим | Выполнить расчет** (рис. 3.12). Расчет ведется линейным процессором с выходом из среды Windows, поэтому рекомендуется предварительно закрыть все открытые приложения. На экран будет информация, подобная представленной на рис. 3.13.

Пятый этап – обработка результатов расчета. Программа возвращается в графическую среду и автоматически переходит в режим «Результаты расчета» (рис. 3.14). Для удобства представления результатов можно отобразить деформированную ось мачты путем утопления третьей слева кнопки второго ряда командной панели (рис. 3.14) или из главного меню **Схема| Исходная + деформированная**. Вход в диалог создания таблицы перемещений осуществляется путем утопления четвертой справа кнопки второго ряда командной панели (рис. 3.15) или из главного меню **Окно| Интерактивные таблицы**. В «Редакторе форм» выбирают «Перемещения», а затем через кнопку **Таблицу–на экран** создают «Таблицу узлов». Полученная «Таблица узлов» (Nodes table) содержит перемещения (displacements) узлов (данном случае, в мм). Размерность перемещений необходимо проверить **Опции| Единицы измерения| Результаты расчета**. Проверяют условие жесткости по наибольшему прогибу (точка 2) и, в случае невыполнении, возвращаются в режим «Расчетная схема» (рис. 3.16) и начинают со второго этапа – корректировки жесткости элементов.



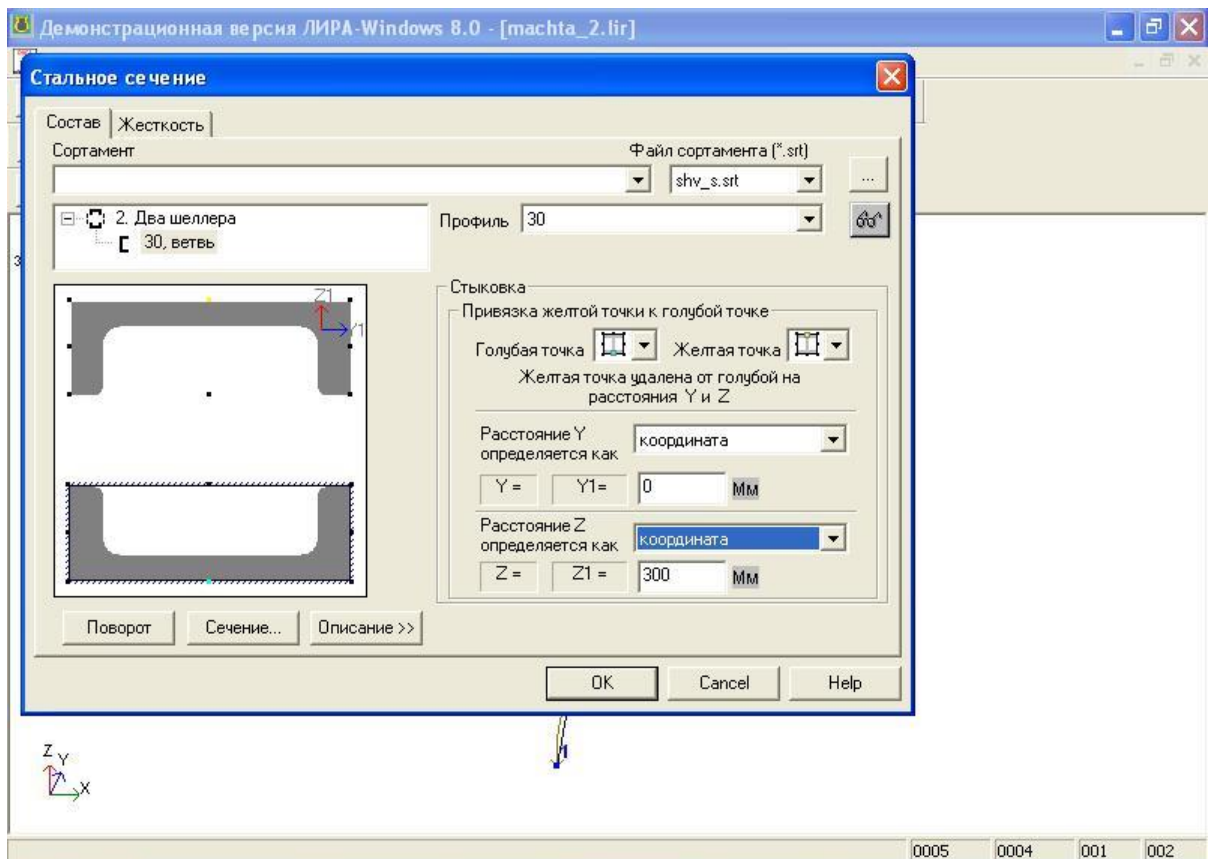


Рис. 3.9 – Стыковка профилей сечения

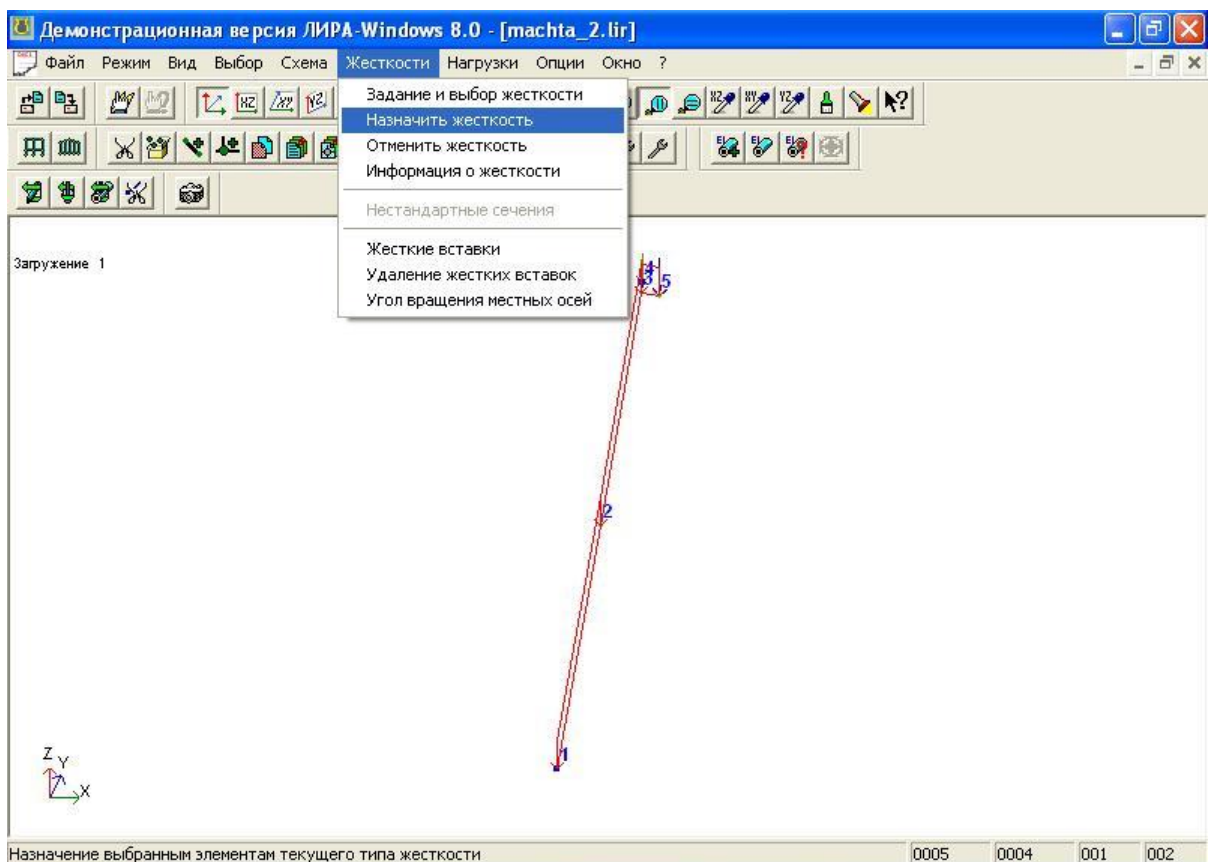


Рис. 3.10 – Назначение сечения

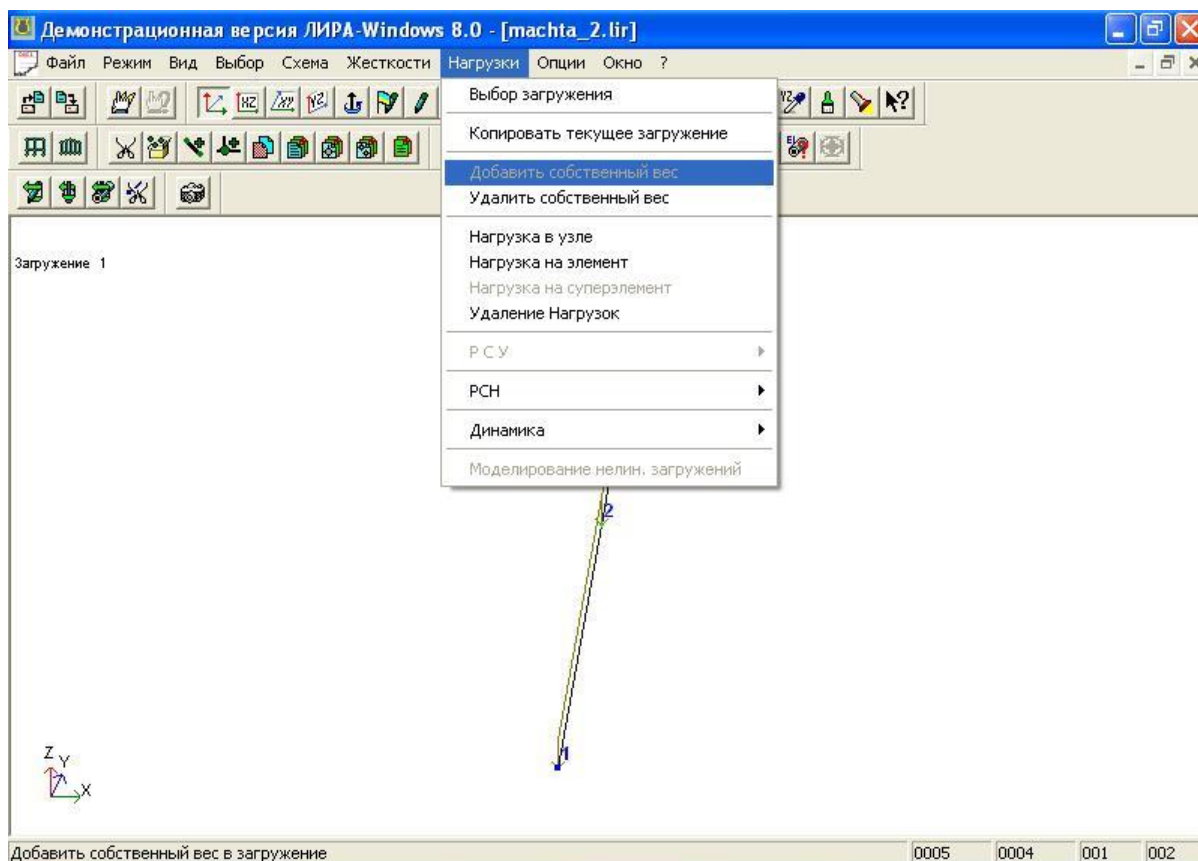


Рис. 3.11 – Добавление собственного веса мачты

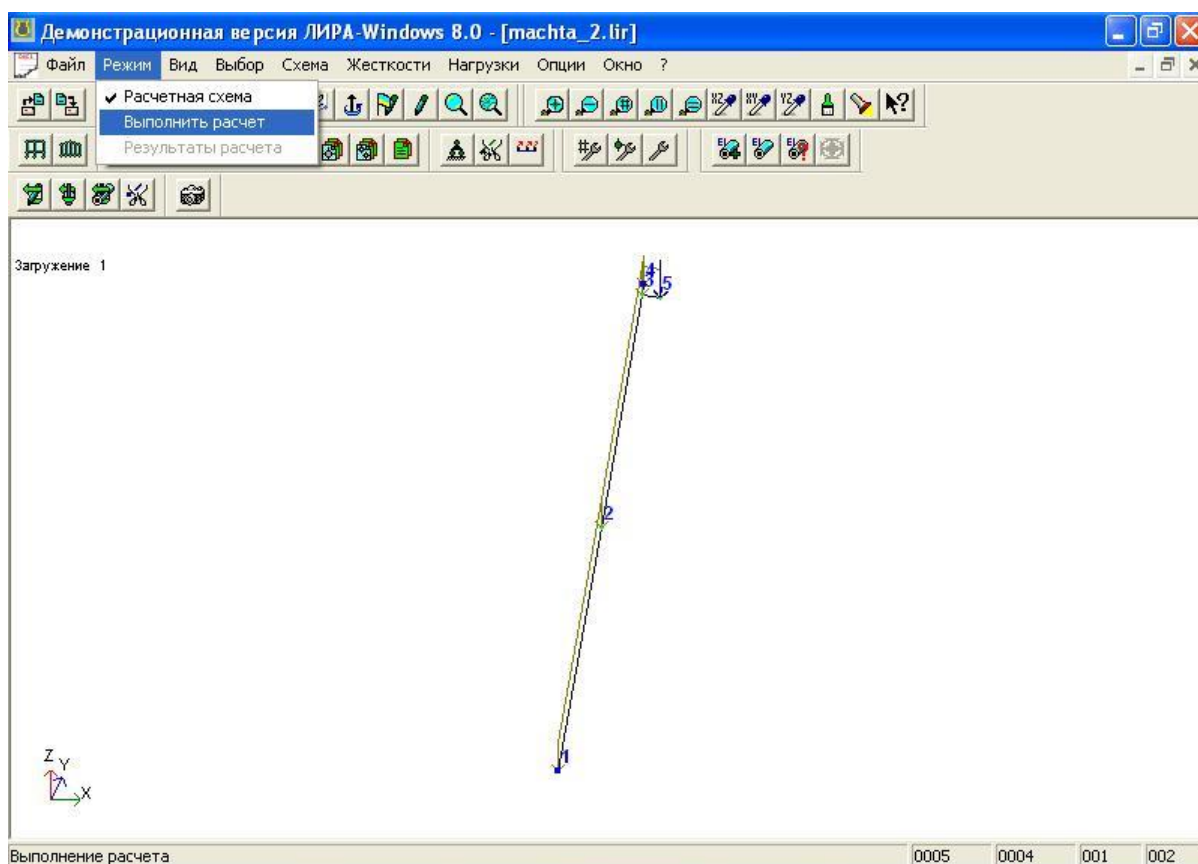


Рис. 3.12 – Запуск программы на счет

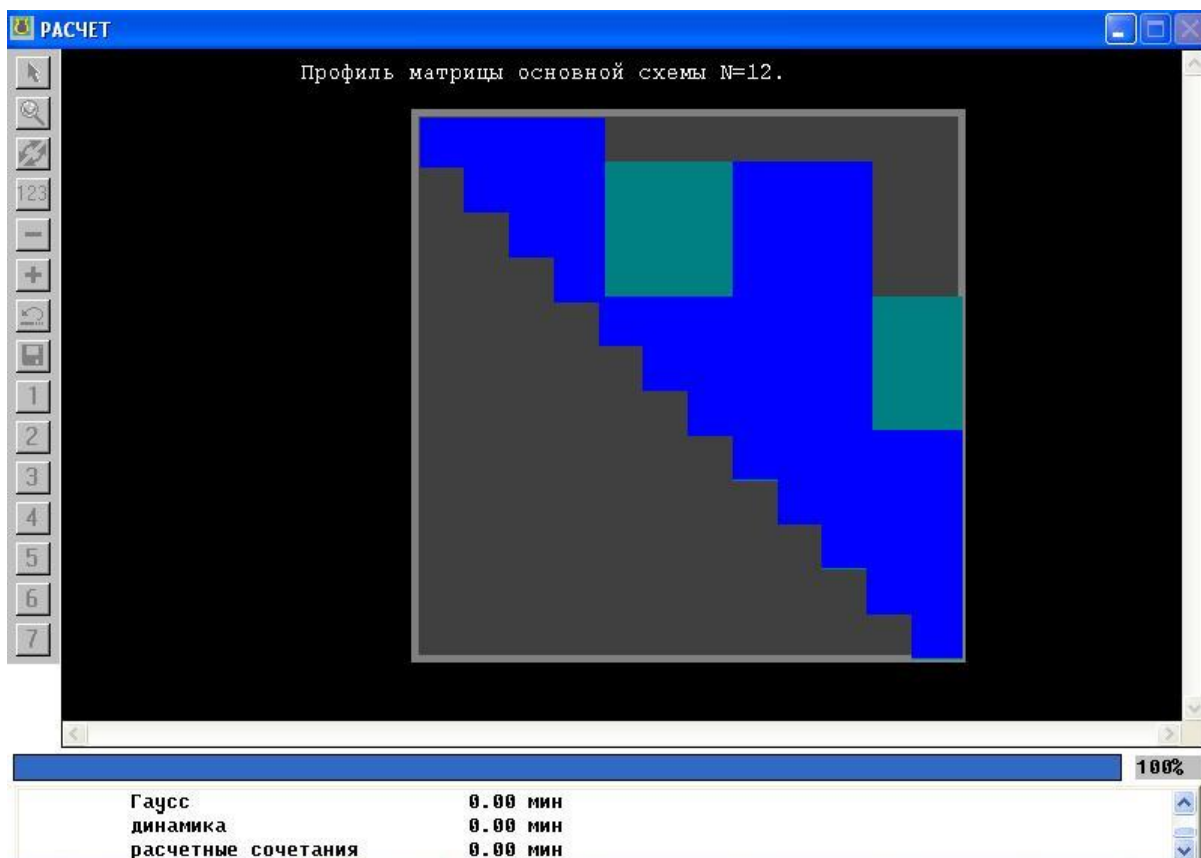


Рис. 3.13 – Вид программы при счете

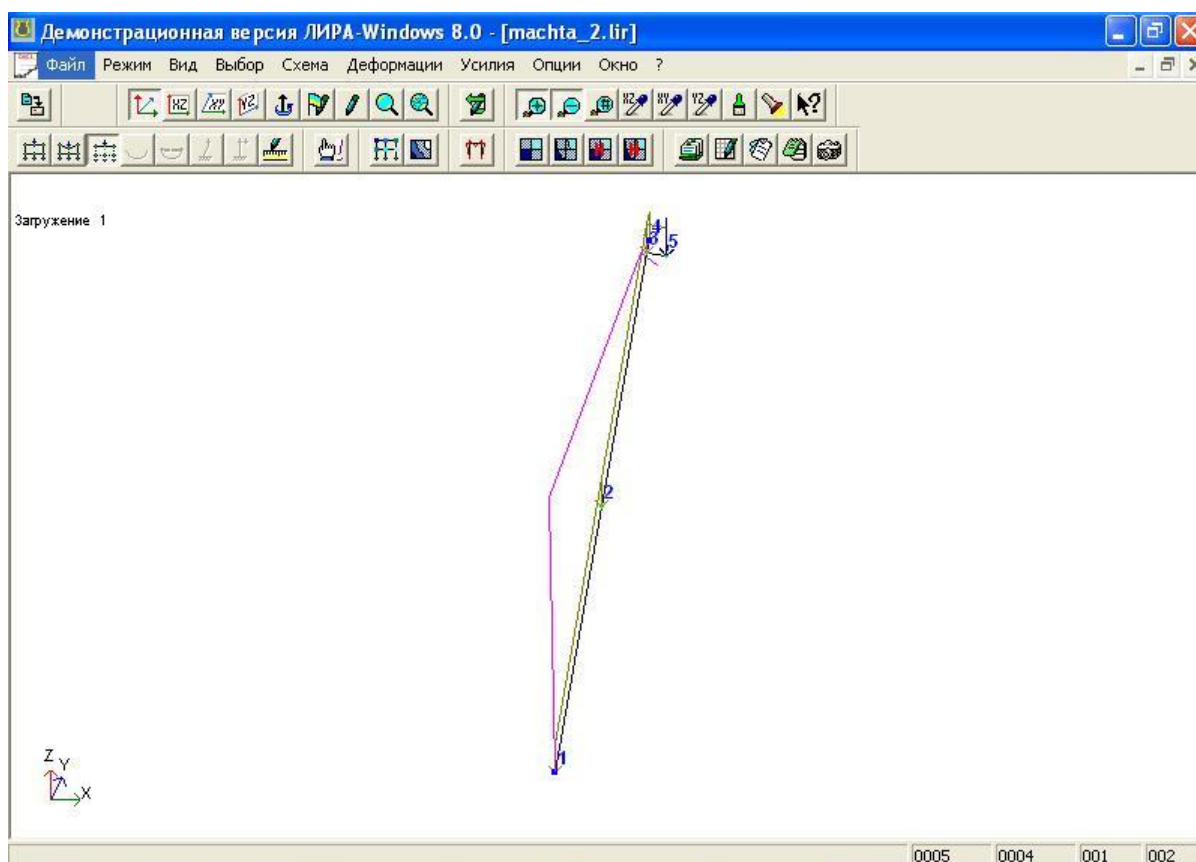


Рис. 3.14 – Вид программы после счета (красная линия – деформированная ось мачты)

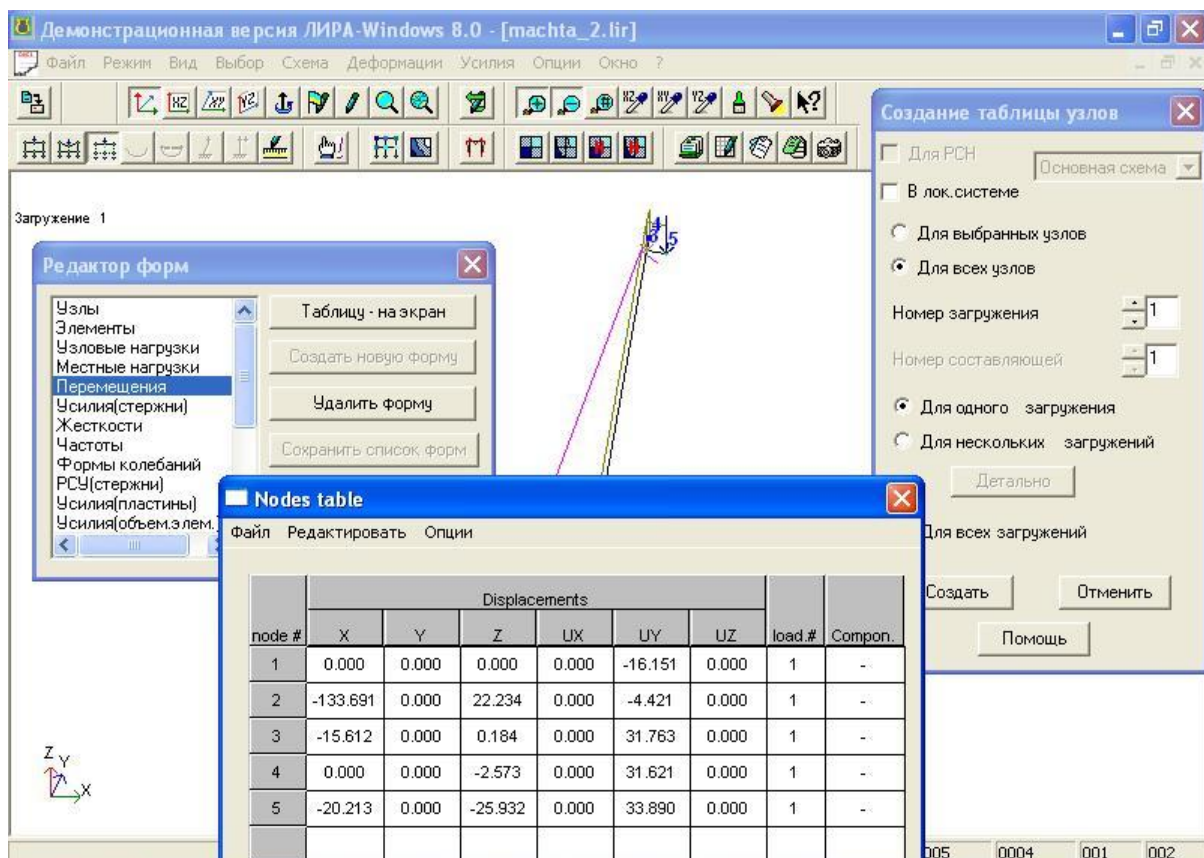


Рис. 3.15 – Вызов таблицы перемещений

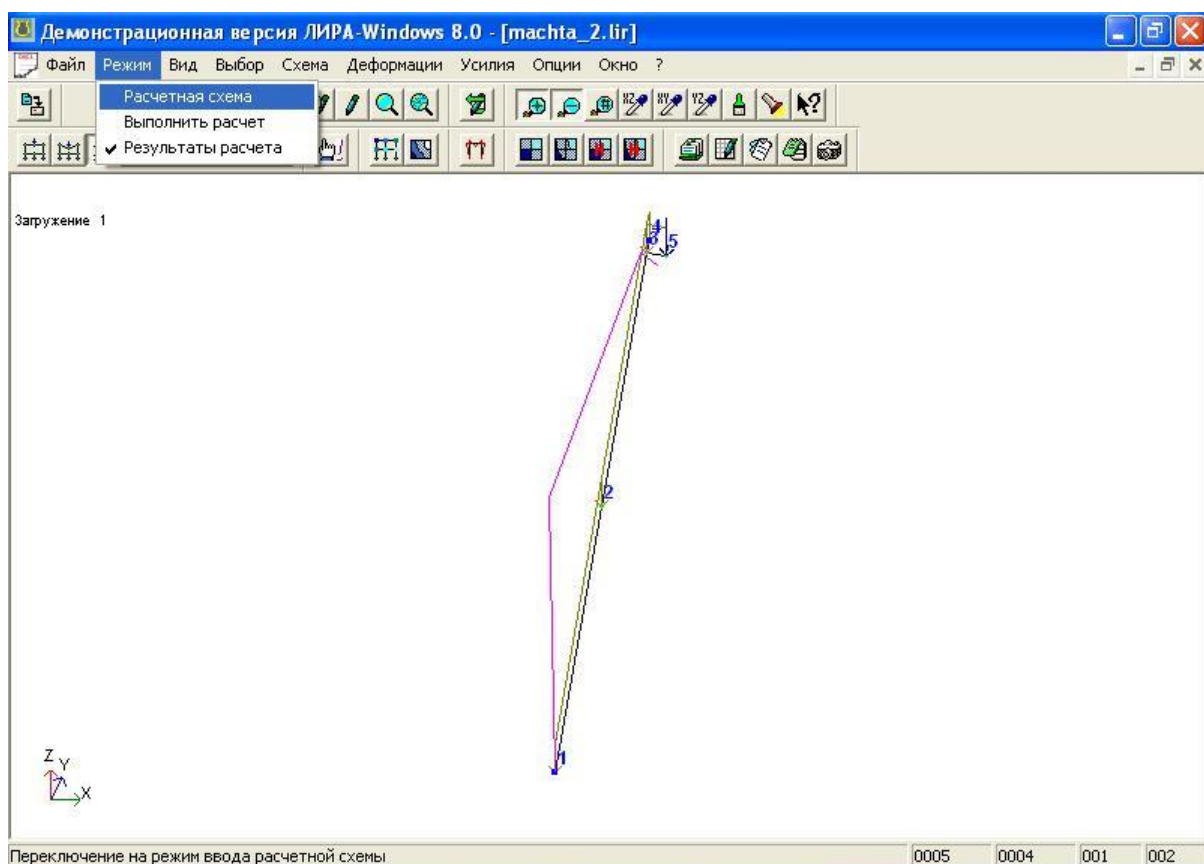


Рис. 3.16 – Возврат в режим расчетной схемы для последующего редактирования.

Пример выполнения курсовой работы приведен в приложении 1.



## Литература

1. Кузьмин А.В., Марон Ф.А. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин. М.: Высшая школа, 1983г.
2. Малышев Г.П., Андрусевич А.Г. Практикум по ремонту, надежности и монтажу металлургических машин. ЗИИ, Запорожье 1989г.
3. Седуш В.Д. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин. М.: Высшая школа, 1976г.
4. Притыкин Д.П. Надежность, ремонт и монтаж металлургического оборудования.: Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1985. 368с.
5. Методические указания к самостоятельной работе по курсу САПР (для студентов специальности 2903)/Сост.: В.А. Банах, В.В. Шкода.- Запорожье: ЗИИ, 1992. – 47с.
6. Система автоматизированного проектирования объектов строительства. Пакет прикладных программ автоматизированного проектирования железобетонных конструкций наземных и подземных сооружений в промышленном и гражданском строительстве: Описание применения ППП. – К.: НИИАСС Госстроя УССР, 1979. – 80 с.
7. Методические указания к лабораторным работам по курсу: "Программное обеспечение инженерных расчетов"/Сост.: В.А. Банах, В.В. Шкода.- Запорожье: ЗГИА, 1996. – 50 с.
8. СНИП II-23-81. Стальные конструкции. М.: Стройиздат, 1982.
9. Методические указания к курсовой работе: «Расчет монтажной мачты с использованием вычислительного комплекса "ЛИРА" /Сост.: Г. П. Малышев, А. А. Корытько, А. А. Власов.- Запорожье: ЗГИА, 2002. – 18 с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ  
ЗАПОРОЖСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ  
Кафедра МОМЗ

**Курсовая работа**

По курсу «Монтаж, эксплуатация и ремонт»  
На тему: РАСЧЕТ МОНТАЖНОЙ МАЧТЫ  
ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 190 Кн.

Выполнил:

ст. гр. ММО-99

Фик В.А.

Принял:

доцент Малышев Г.П.

Запорожье



## Реферат

Расчетно-графическая работа: 21с., 2 рис. 4 источника.

Объект расчета – монтажная мачта  $Q=19\text{т}$ .

В работе произведен расчет монтажной мачты, а также вспомогательных узлов. Расчеты проведены двумя способами: вручную и с помощью программного комплекса «ЛИРА-9», который основан на методе конечных элементов.

СТРОПА, ЛЕБЕДКА, ПОЛИСПАСТ, МАЧТА.

## Содержание

Введение	4
Исходные данные	5
1. Расчет полиспаста	6
2. Расчет стропов	6
3. Расчет барабана	8
4. Расчет мачты	9
5. Пространственное положение узлов	10
6. Выбор электродвигателя	12
7. Выбор редуктора	12
8. Значение реакций опор	12
9. Подбор поперечного сечения мачты	13
10. Расчет противовеса	13
11. Расчет узла крепления полиспаста	14
Расчет программным комплексом «ЛИРА-9»	15
Выводы	25
Литература	26

## Введение

По мере повышения уровня заводской готовности и блочности поставляемого в монтаж оборудования, индустриализации монтажа и ремонта, увеличения массы поднимаемых и перемещаемых грузов роль и значение такелажра растут.

Такелажные работы – операции по захвату и освобождению, подъему и опусканию, перемещению, удержанию на весу груза при его монтаже, ремонте, погрузке и выгрузке.

По мере переноса большей части сборочных операций на заводы – изготовители в ремонтные цехи доля такелажных работ в общей трудоемкости монтажа и ремонта неуклонно растет.

Монтажные мачты используют только в тех случаях, когда на объекте монтажа нет штатных или самоходных ГПМ необходимой грузоподъемности. Различают мачты трубчатые, которые позволяют поднимать груз до 300 т на высоту до 30 м и решетчатые, которые позволяют поднимать груз до 75 т на высоту до 45м.

# Исходные данные

G, кН	H <sub>гр</sub> , м	V <sub>гр</sub> , м/с	γ, град	β, град	тип сечения
190	18	0,15	7	40	1

## 1. Расчет полиспаста

Схема полиспаста (рис 1).

### 1.1 Усилие в канате, набегаящем на барабан

$$S_{\max} = Q \frac{1-\eta}{1-\eta^m} = 190000 \cdot \frac{1-0.97}{1-0.97^6} = 341260H,$$

где  $m$  – кратность полиспаста,  $m=6$  [1, табл. 2,2];

$\eta$  - КПД блока, принимаем  $\eta=0,97$  [1, табл. 2,1].

### 1.2 Расчетное разрывное усилие в канате

$$P_{\text{разр}} = S_{\max} \cdot k = 341260 \cdot 5.5 = 1876930H,$$

где  $k$  коэффициент запаса прочности,  $k=5.5$  [1, табл. 2,3].

Выбираем канат [1, табл. III 1,1] двойной свивки типа ЛК-Р конструкции  $6 \times 19(1+6+6/6)+10.c$  по ГОСТ 2688-80, диаметром  $d=19,5\text{мм}$ , маркированная группа 1764МПа,  $P_{\text{разр}} = 2090000H$

## 2. Расчет стропов

### 2.1. Усилие в стропе

$$S_{\max.\text{разр}} = \frac{Q}{m \cdot \sin \alpha} \cdot \beta = \frac{190000}{4 \cdot \sin 45} \cdot 1.4 = 94045.2H,$$

где  $\beta$  - коэффициент неравномерности нагрузки ветви стропы,  $\beta=1,4$  [2, стр. 9];

$m$  - число ветвей стропы,  $m=4$ ;

$\alpha$  - угол наклона ветвей стропы,  $\alpha_{\min} = 30^\circ$  принимаем  $\alpha = 45^\circ$ .

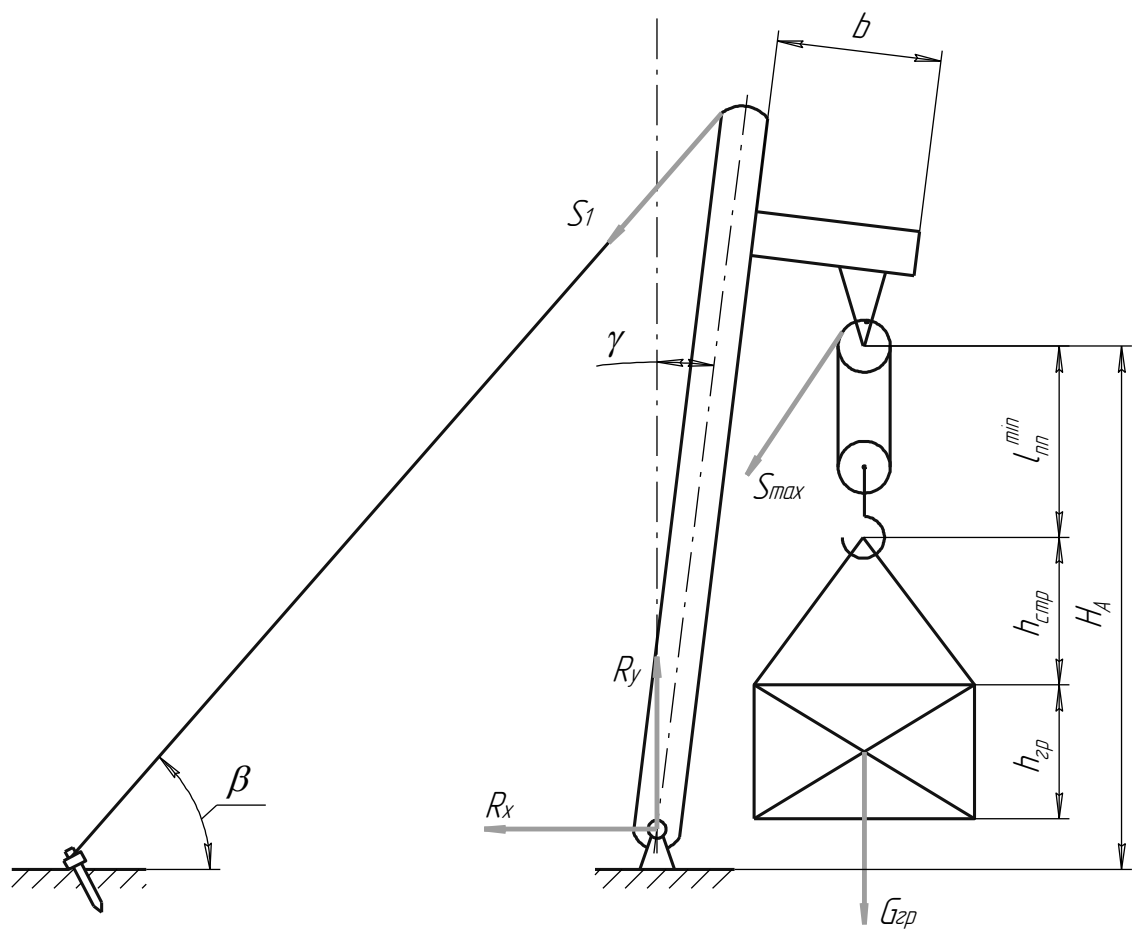


Рисунок 1. Схема монтажной мачты.

## 2.2 Разрывное усилие в стропе

$$P_p = S_{\max. \text{стр}} \cdot R_c = 94045.2 \cdot 6 = 564271.2 \text{ Н},$$

где  $R_c$  – коэффициент запаса прочности стропа,  $R_c=6$  [2, табл. 2,1].

Выбираем канат [1, табл. III 1,1] двойной свивки типа ЛК-Р конструкции  $6 \times 19(1+6+6/6)+10.c$  по ГОСТ 2688-80, диаметром  $d=32\text{мм}$ , маркированная группа 1764МПа,  $P_{\text{разр}} = 573000 \text{ Н}$

## 2.3 Высота строповки

$$h'_{\text{стр}} = \frac{AB}{2} \cdot \operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{1^2 + 1.5^2}}{2} \cdot \operatorname{tg} 45 = 0.90 \text{ м},$$

принимаем  $h_{\text{стр}} = 1 \text{ м}$

$$V_{\text{зп}} = \frac{G_{\text{зп}}}{\rho \cdot g} = \frac{190000}{7200 \cdot 9.81} = 2.69 \text{ м}^3,$$

с учетом этого высота груза:

$$h_{\text{зп}} = \frac{V_{\text{зп}}}{A} = \frac{2.69}{1.5 \cdot 1} = 1.8 \text{ м}$$

## 3. Расчет барабана

$$d_{\text{бл}} = d_{\kappa} (e - 1) = 19.5(20 - 1) = 370.5 \text{ мм},$$

где  $e$  – коэффициент, зависящий от условий работы, принимаем  $e=20$ .

Принимаем  $d_{\text{бл}}=400\text{мм}$ ;  $D_{\text{б}}=400\text{мм}$ .

Минимальная высота полиспаста

$$l_{\text{пп}}^{\min} = 3.5 \cdot d_{\text{бл}} = 3.5 \cdot 400 = 1400 \text{ мм} = 1.4 \text{ м},$$

следовательно, длина каната, навиваемого на барабан

$$L_{\kappa} = H_{\text{эп}} \cdot m = 18 \cdot 6 = 108 \text{ м},$$

длина каната в одном витке на барабане

$$L_{\kappa}^1 = \pi D_{\text{бар}} = 3.14 \cdot 400 = 1256 \text{ мм} = 1.256 \text{ м},$$

$$z = \frac{L_{\kappa}}{L_{\kappa}^1} = \frac{108}{1.256} = 86.0,$$

длина барабана при трехслойной навивке

$$L_{\text{б}} = \frac{z}{3} \cdot d_{\kappa} + 2d_{\kappa} = \frac{86}{3} \cdot 19.5 + 2 \cdot 19.5 = 598 \text{ мм},$$

проверка

$$\frac{L_{\text{бар}}}{D_{\text{бар}}} = \frac{598}{400} = 1.5$$

#### 4. Расчет мачты

Высота закрепления полиспаста

$$H_a = k_B \cdot h_A + H_{\text{эп}} = 1.09 \cdot 4.2 + 18 = 22.6 \text{ м},$$

где  $h_A$  – расстояние от нижней части груза до места крепления полиспаста;  
 $k_B$  – коэффициент запаса высоты.

$$h_A = h_{\text{эп}} + h_{\text{стр}} + h_{\text{нн}}^{\min} = 1.8 + 1 + 1.4 = 4.2 \text{ м},$$

$$H = H_a + h_{\text{огол}} = 22.6 + 0.4 = 23 \text{ м},$$

длина консоли

$$b = 2.3 \cdot D_{\text{бл}} = 2.3 \cdot 400 = 920 \text{ мм} = 0.92 \text{ м},$$

$$L_{\text{см}} = AB = \frac{H}{\cos \gamma} = \frac{23}{\cos 7} = 23.17 \text{ м},$$

$$AC = \frac{H_a}{\cos \gamma} = \frac{22.6}{\cos 7} = 22.77 \text{ м},$$

$$BC = AB - AC = 23.17 - 22.77 = 0.4 \text{ м}.$$



## 5. Пространственное положение узлов

Точка 1:  $x_1 = 0; z_1 = 0$ .

Точка 2:  $z_2 = \frac{H}{2} = \frac{23}{2} = 11.5м$ ,

$x_2 = \frac{H}{2} \operatorname{tg} \gamma = \frac{23}{2} \operatorname{tg} 7 = 1.41м$ .

Точка 3:  $z_3 = AC \cdot \cos \gamma = 22.77 \cdot \cos 7 = 22.6м$ ,

$x_3 = z_3 \cdot \operatorname{tg} \gamma = 22.6 \cdot \operatorname{tg} 7 = 2.77м$ .

Точка 4:  $z_4 = AB \cdot \cos \gamma = 23.17 \cdot \cos 7 = 23.0м$ ,

$x_4 = z_4 \cdot \operatorname{tg} \gamma = 23 \cdot \operatorname{tg} 7 = 2.82м$ .

Точка 5:  $z_5 = z_3 - b \cdot \sin \gamma = 22.6 - 0.92 \cdot \sin 7 = 22.49м$ ,

$x_5 = x_3 + b \cdot \cos \gamma = 2.77 + 0.92 \cdot \cos 7 = 3.68м$ ,

$x_5 - x_3 = 3.68 - 2.77 = 0.91м$ .

Для сечения 1:

$$G_0 = 0.15 \cdot G = 0.15 \cdot 190000 = 28500H,$$

$$M_2 = S_{\max} \cdot b + G \cdot \cos \gamma \cdot b = 34126 \cdot 0.92 + 190000 \cdot \cos 7 \cdot 0.92 = 204893H \cdot м,$$

$$M_3 = (L_{cm} - h_{огол}) \cdot G \cdot \sin \gamma = (23.17 - 0.4) \cdot 190000 \cdot \sin 7 = 527243H \cdot м,$$

$$M_4 = G_0 \cdot \sin \gamma \cdot \frac{L_{cm}}{2} = 28500 \cdot \sin 7 \cdot \frac{23.17}{2} = 40238H \cdot м,$$

$$S_1 = \frac{M_2 + M_3 + M_4}{L_{cm} \cdot \sin(90 - \beta - \gamma)} = \frac{204893 + 527243 + 40238}{23.17 \cdot \sin(90 - 40 - 7)} = 48878.5H,$$

$$M_1 = S_1 \cdot \sin \beta \cdot L_{cm} = 48878.5 \cdot \sin 40 \cdot 23.17 = 727967H \cdot м,$$

$$S_{1x} = S_1 \cdot \cos \beta = 48878.5 \cdot \cos 40 = 37443.1H,$$

$$S_{1z} = S_1 \cdot \sin \beta = 48878.5 \cdot \sin 40 = 31418.5H.$$

Разрывное усилие в канате растяжки

$$P_{разр} = S_1 \cdot k = 48878.5 \cdot 5.5 = 208831.8H,$$

Выбираем канат [1, табл. III 1,1] двойной свивки типа ЛК-Р конструкции 6х19(6+6+6/6)+1<sub>о.с.</sub> по ГОСТ 2688-80, диаметром d=19,5мм. Маркировочная группа 1764МПа,  $P_{\text{разр.}}=209000 \text{ Н}$

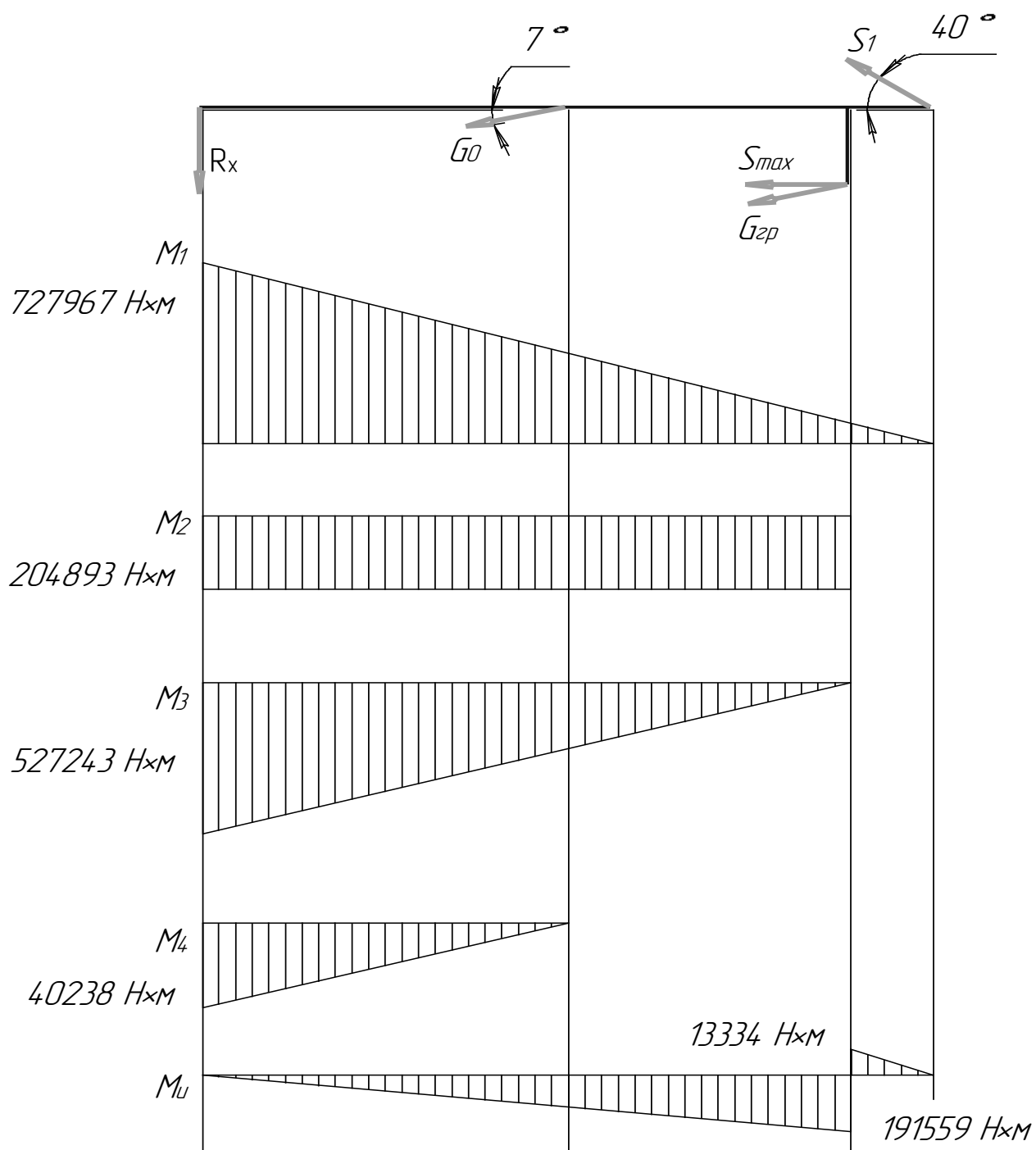


Рисунок 2. Эпюры изгибающих моментов.

## 6. Выбор электродвигателя

$$N = \frac{G \cdot V}{1000 \cdot \eta} = \frac{190000 \cdot 0.15}{1000 \cdot 0.85} = 33.5 \text{ кВт},$$

выбираем электродвигатель МТФ 412-6 [1, табл. III 3,5], имеющий при ПВ=25% номинальную мощность N=40кВт;  $b_{31}=198\text{мм}$ , частота вращения  $n_{\text{дв}}=960\text{мин}^{-1}$ , вес двигателя  $G_{\text{дв}}=210\text{кг}$ .

## 7. Выбор редуктора

Частота вращения барабана

$$n_{\delta} = \frac{30 \cdot V \cdot m}{\pi \cdot R_{\delta}} = \frac{30 \cdot 0.15 \cdot 6}{3.14 \cdot 0.2} = 43.0 \text{ мин}^{-1},$$

необходимое передаточное число редуктора

$$i = \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\delta}} = \frac{960}{43} = 22.3,$$

требуемое межосевое расстояние

$$a_w = \frac{D_{\delta}}{2} + (n+1) \cdot d_k + b_{31} = \frac{400}{2} + (3+1) \cdot 19.5 + 198 = 465.5 \text{ мм},$$

выбираем редуктор [1, табл. III 4,2] типа Ц2-500: передаточное число  $u=24,9$ , мощность N=52,7кВт,  $n=750\text{мин}^{-1}$ .

## 8. Значение реакций опор

$$R_x = S_1 \cdot \cos \beta + S_{\text{max}} \cdot \sin \gamma = 48878.5 \cdot \cos 40 + 34126 \cdot \sin 7 = 41602.0 \text{ Н},$$

$$R_y = G_0 + G + S_1 \cdot \sin \beta + S_{\text{max}} \cdot \cos \gamma = \\ = 28500 + 190000 + 48878.5 \cdot \sin 40 + 34126 \cdot \cos 7 = 283790.1 \text{ Н}$$

усилие, действующее в стержне

$$P = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{41602^2 + 283790.1^2} = 286823.2 \text{ Н}.$$

## 9. Подбор поперечного сечения мачты

Определим необходимую площадь сечения мачты

$$A' = \frac{k \cdot P}{[\sigma] \cdot \varphi} = \frac{1.3 \cdot 2868232}{160 \cdot 10^6 \cdot 0.4} = 5.826 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2,$$

выбираем трубу диаметром  $D=325\text{мм}$ , толщина стенки  $\delta=40\text{мм}$ , площадь поперечного сечения  $A = 35.8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ ,

моменты инерции сечения

$$I_x = I_y = \frac{\pi}{64} \cdot [D^4 - (D - 2 \cdot \delta)^4] = \frac{3.14}{64} \cdot [0.325^4 - (0.325 - 2 \cdot 0.04)^4] = 0.371 \cdot 10^{-3} \text{ м}^4,$$

моменты сопротивления сечения

$$W_x = W_y = \frac{I}{y_{\max}} = \frac{I}{0.5 \cdot D} = \frac{0.371 \cdot 10^{-3}}{0.5 \cdot 0.325} = 2.283 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3,$$

максимальный момент в мачте

$$\begin{aligned} M_u &= M_2 - S_1 \cdot h_{\text{голл}} \cdot \sin(90 - \beta - \gamma) \\ &= 204893 - 48878.5 \cdot 0.4 \cdot \sin(90 - 40 - 7) = 191559.0 \text{ Н} \cdot \text{м}, \end{aligned}$$

Проверяем мачту по условию прочности

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{P}{\psi \cdot A} + \frac{M_u}{W} < [\sigma], \\ \frac{2868232}{0.4 \cdot 35.8 \cdot 10^{-3}} + \frac{192325.6}{2.283 \cdot 10^{-3}} &= 101.2 \text{ МПа} < 160 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Условие выполняется.

## 10. Расчет противовеса лебедки

Из условия устойчивости:

$$K_y = \frac{M_{\text{восст}}}{M_{\text{опр}}} \geq [K_y],$$

где  $M_{\text{вост}}$ ,  $M_{\text{опр}}$  – соответственно восстанавливающий и опрокидывающий моменты.

С учетом этого вес противовеса

$$G_{np} = \frac{1.4 \cdot S_{\max} \cdot (l_1 \cdot \sin \beta + l \cdot \cos \beta - 0.5 \cdot D_{\bar{o}}) - G_{\text{л}} \cdot l_1}{l_2},$$

где  $G_{\text{л}}$  – вес лебедки,

$l, l_1, l_2$  – размеры лебедки.

$$G_{\text{л}} = G_{\bar{o}} + G_p + G_{\text{ов}} = 1700 + 5000 + 3450 = 10150 \text{ Н},$$

$$l = 0.5 \cdot D_{\bar{o}} + (n + 2) \cdot d_{\text{к}} = 0.5 \cdot 400 + (3 + 2) \cdot 19.5 = 297.5 \text{ мм},$$

$$l_1 \approx l = 297.5 \text{ мм},$$

из конструктивных соображений  $l_2 = 995 \text{ мм}$ ,

с учетом этого

$$G_{np} = \frac{1.4 \cdot 341260 \cdot (297.5 \cdot \sin 40 + 297.5 \cdot \cos 40 - 0.5 \cdot 400) - 10150 \cdot 297.5}{995} = 7486.9 \text{ Н}$$

пределяем высоту противовеса

$$h_{np} = \frac{G_{np} \cdot a_{np} \cdot b_{np}}{\gamma} = \frac{7486.9 \cdot 1.5 \cdot 1.5}{7200} = 2.34 \text{ м},$$

где  $a_{np}, b_{np}$  – размеры противовеса (принимая конструктивно).

## 11. Расчет узла крепления полиспаста

Условие прочности:

$$\sigma = \frac{Q}{A} \leq [\sigma],$$

где  $A$  – площадь поперечного сечения болта;

$[\sigma]$  – допускаемое напряжение растяжения. Определим диаметр болта

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot [\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 190000}{3.14 \cdot 450}} = 23.2 \text{ мм},$$

принимая болт М36.

Произведем расчет с помощью программного комплекса «ЛИРА» 9.0 D. Результаты расчетов представим в виде пояснительной записки.

# ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Имя задачи: Фик

Расчет плоской системы, состоящей из стержневых элементов на статические нагрузки

Объект: Монтажная мачта  $Q = 19\text{т}$ .

Организация: ЗГИА, каф. МОМЗ

Выполнил: студент гр. ММО -99 д

Фик В. А.

Проверил: доцент

Малышев Г. П.

Запорожье  
2003г.

## ВВЕДЕНИЕ

Расчет выполнен программным комплексом "ЛИРА".

В основу расчета положен метод конечных элементов в перемещениях. В качестве основных неизвестных приняты следующие перемещения узлов:

X      линейное по оси X

Z      линейное по оси Z

UY    угловое вокруг оси Y

В ПК "ЛИРА" реализованы положения следующих разделов СНиП (с учетом изменений на 1.01.97):

СНиП 2.01.07-85\* нагрузки и воздействия

СНиП 2.03.01-84\* бетонные и железобетонные конструкции

СНиП II-7-81\* строительство в сейсмических районах

СНиП II-23-81\* стальные конструкции

Типы используемых конечных элементов указаны в документе 1. В этом документе, кроме номеров узлов, относящихся к соответствующему элементу, указываются также номера типов жесткостей.

В расчетную схему включены следующие типы элементов:

Тип 10. Универсальный пространственный стержневой КЭ.

Координаты узлов и нагрузки, приведенные в развернутых документах 4,6,7, описаны в правой декартовой системе координат.

Расчет выполнен на следующие загрузки:

Загрузка 1 - статическое нагружение

## ЧТЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СЧЕТА

Результаты счета разбиты на следующие разделы:

Раздел 1. Протокол работы процессора.

Раздел 2. Исходные данные.

Раздел 3. Диагностические сообщения.

Раздел 5. Перемещения узлов.

Раздел 6. Усилия (напряжения) в элементах.

Раздел 7. Реакции в узлах.



В разделе 5 в табличной форме выпечатываются перемещения узлов рассчитываемой задачи. Размерность перемещений указана в шапке таблицы. В первой графе находится номер загрузки и индексация перемещений. В остальных графах - номера узлов в порядке возрастания и величины перемещений, им соответствующие.

Линейные перемещения считаются положительными, если они направлены вдоль осей координат. Положительные угловые перемещения соответствуют вращению против часовой стрелки, если смотреть с конца соответствующей оси.

Перемещения имеют следующую индексацию:

X      линейное по оси X

Z      линейное по оси Z

UY    угловое вокруг оси Y

В разделе 6 в табличной форме выпечатываются усилия в элементах рассчитываемой задачи. Размерность усилий указана в шапке таблицы. В первой графе указывается тип КЭ из библиотеки конечных элементов, номер загрузки и индексация усилий. В последующих графах указываются: в первой строке шапки - номер элемента и номер сечения в этом элементе, для которого печатаются усилия; во второй строке - номера первых двух узлов.

## ИНДЕКСАЦИЯ И ПРАВИЛА ЗНАКОВ УСИЛИЙ В КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Тип 10. Универсальный пространственный стержневой КЭ.

Конечный элемент воспринимает следующие виды усилий:

N      осевое усилие; положительный знак соответствует растяжению.

МК    крутящий момент относительно оси X1; положительный знак соответствует действию момента против часовой стрелки, если смотреть с конца оси X1, на сечение, принадлежащее концу стержня.

MY    изгибающий момент относительно оси Y1; положительный знак соответствует действию момента против часовой стрелки, если смотреть с конца оси Y1, на сечение, принадлежащее концу стержня.

$MZ$  изгибающий момент относительно оси  $Z1$ ; положительный знак соответствует действию момента против часовой стрелки, если смотреть с конца оси  $Z1$ , на сечение, принадлежащее концу стержня.

$QY$  перерезывающая сила вдоль оси  $Y1$ ; положительный знак соответствует совпадению направления силы с осью  $Y1$  для сечения, принадлежащего концу стержня.

$QZ$  перерезывающая сила вдоль оси  $Z1$ ; положительный знак соответствует совпадению направления силы с осью  $Z1$  для сечения, принадлежащего концу стержня.

Таблица узлов

№ узла	Координаты			Связи					
	X (м)	Y (м)	Z (м)	X	Y	Z	UX	UY	UZ
1	0,000	0,000	0,000	+	-	+	-	-	-
2	1,410	0,000	11,500	-	-	-	-	-	-
3	2,770	0,000	22,600	-	-	-	-	-	-
4	2,820	0,000	23,000	-	-	+	-	-	-
5	3,680	0,000	22,490	-	-	-	-	-	-

Таблица элементов

№ элем	Тип элем	Кол.сечений	Тип жестк	Угол м.осей	Жесткие вставки		№№ узлов
					АХ н	АХ к	
1	10	2	1	0	-	-	1,2
2	10	2	1	0	-	-	2,3
3	10	2	1	0	-	-	3,4
4	10	2	1	0	-	-	5,3

Таблица узловых нагрузок

№ узла	Тип	Напр	Значение (м, тс)	М/Г	№ загруз
4	сила	Z	3,140	Г	1
4	сила	X	3,740	Г	1
5	сила	Z	19,000	Г	1
5	сила	X	3,410	М	1

Таблица местных нагрузок

№ элем	Тип	Напр	М/Г	Параметры (м, тс, °С)				№ загруж
				P1	P2	P3	P4	
1	распред.сила	Z	Г	0,547	0,000	0,000	0,000	1
2	распред.сила	Z	Г	0,547	0,000	0,000	0,000	1
3	распред.сила	Z	Г	0,547	0,000	0,000	0,000	1
4	распред.сила	Z	Г	0,547	0,000	0,000	0,000	1

Таблица узлов

№ узла	Перемещения						№ загруж	Составл
	X (мм)	Y (мм)	Z (мм)	UX (рад*1000)	UY (рад*1000)	UZ (рад*1000)		
1	0,000	0,000	0,000	0,000	-2,185	0,000	1	-
2	-21,496	0,000	2,348	0,000	-1,000	0,000	1	-
3	-2,377	0,000	-0,223	0,000	5,797	0,000	1	-
4	-0,063	0,000	-0,513	0,000	5,780	0,000	1	-
5	-3,050	0,000	-5,801	0,000	6,295	0,000	1	-

Таблица усилий

№ элем	№ сечен	Усилия						Тип элем	№ загруж	Составл
		N (тс)	Mk (тс*м)	My (тс*м)	Qz (тс)	Mz (тс*м)	Qy (тс)			
1	1	-38,925	0,000	0,000	-0,077	0,000	0,000	10	1	-
1	2	-32,632	0,000	-5,362	-0,849	0,000	0,000	10	1	-
2	1	-32,632	0,000	-5,362	-0,851	0,000	0,000	10	1	-
2	2	-26,557	0,000	-19,044	-1,596	0,000	0,000	10	1	-
3	1	-3,800	0,000	1,600	-3,956	0,000	0,000	10	1	-
3	2	-3,581	0,000	0,000	-3,983	0,000	0,000	10	1	-
4	1	2,272	0,000	0,000	-22,273	0,000	0,000	10	1	-
4	2	2,333	0,000	-20,644	-22,771	0,000	0,000	10	1	-

Коэффициент запаса устойчивости

№ загруж	Коэф. запаса	Комментарий	Интервал поиска	Точность
1	-	Коэф. запаса > 2.0000	0 - 2.0000	0.0100

Задача: Фикс.11с; Шедр. Фикс

Система абсолютно устойчива  
Загружение 1



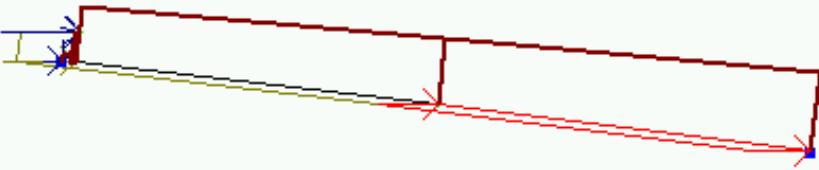
Монтажная масса Q-19к.

Расчетно-графическая работа по курсу КСР № листа 1			
Исполнил	Фикс	Дата	
Проектировщик	Монтажная	19.5.2003	



Задача: Фикс. Лис. Шафр. Фикс

Загружение 1  
Эпюра N  
Единицы измерения - Т

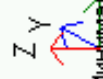


Z Y X  
Минимальное усилие -38.9252  
Максимальное усилие 2.33262

Монтажная масса 0-19 т			
Расчетно-графическая работа			№ листа 2
Контроль	Фикс		Дата
Проектировщик	Монтажник		19.5.2003

Задача: Фикс. Лис, Шваб, Фикс

Загружение 1  
Эпюра М<sub>у</sub>  
Единицы измерения - Т\*м



Минимальное усилие -20.6439  
Максимальное усилие 1.60016

Минимальная нагрузка 0-15%			
Расчетно-графическая работа			№ листа 3
Исполнитель	Фикс	Дата 19.5.2003	
Проверен	Малышев		

## Выводы

В результате расчетов монтажной мачты в программном комплексе «ЛИРА» и вручную, погрешность составила 6,8%. Погрешность расчетов обуславливается разными методиками расчета собственного веса конструкции.



## Литература

1. Кузьмин А.В., Марон Ф.А. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин. М.: Высшая школа, 1983г.
2. Малышев Г.П., Андрусевич А.Г. Практикум по ремонту, надежности и монтажу металлургических машин. ЗИИ, Запорожье 1989г.
3. Седуш В.Д. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин. М.: Высшая школа, 1976г.
4. Притыкин Д.П. Надежность, ремонт и монтаж металлургического оборудования.: Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1985. 368с.
5. Методические указания к самостоятельной работе по курсу САПР (для студентов специальности 2903)/Сост.: В.А. Банах, В.В. Шкода.- Запорожье: ЗИИ, 1992. – 47с.