**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**

**РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИНСТИТУТ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ЛИПЕЦКИЙ ФИЛИАЛ**

**Кафедра "СГ и ОПД"**

**Специальность 140205.65 - "Электроэнергетические системы и сети"**

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

**на тему "Основы расчетов прочностной надежности элементов конструкций"**

**по дисциплине "Техническая механика"**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Выполнил студент группы** |  | **ЭЭз-08** |
|  |  | | **(индекс группы)** |
|  | **Таравков Сергей Васильевич** |  |  |
| **(фамилия, имя, отчество)** |  | **(подпись)** |
|  | **Схема** |  | **21** |
|  | **Вариант** |  | **6** |
|  | **Проверил преподаватель** |  |  |
|  | **Халеев Вячеслав Иванович** |  |  |
|  | **(фамилия, имя, отчество)** |  | **(подпись)** |

**Липецк - 2010**

**Содержание**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Введение..................................................................................................................... | | | 3 |
| 1. | Расчет прочностной надежности бруса при растяжении (сжатии)............... | | 4 |
| 1.1. | | Построение эпюры продольных сил............................................................ | 5 |
| 1.2. | | Определение вида нагружения участков бруса........................................... | 5 |
| 1.3. | | Определение геометрических размеров поперечных сечений бруса........ | 6 |
| 1.4. | | Построение эпюры максимальных нормальных напряжений................... | 7 |
| 1.5. | | Построение эпюры нормальных напряжений по высоте поперечного сечения............................................................................................................. | 7 |
| 1.6. | | Определение деформаций бруса и построение эпюры абсолютных удлинений....................................................................................................... | 8 |
| 2. | Расчёт прочностной надёжности вала круглого поперечного сечения при кручении.............................................................................................................. | | 10 |
| 2.1. | | Построение эпюры крутящих моментов...................................................... | 11 |
| 2.2. | | Определение геометрических размеров поперечных сечений вала.......... | 12 |
| 2.3. | | Построение эпюры максимальных касательных напряжений................... | 13 |
| 2.4. | | Построение эпюры касательных напряжений по высоте поперечного сечения............................................................................................................. | 14 |
| 2.5. | | Построение эпюры относительных углов закручивания........................... | 14 |
| 3. | Расчёт прочностной надёжности балки на двух опорах при изгибе............. | | 16 |
| 3.1. | | Определение реакций в опорах балки.......................................................... | 17 |
| 3.2. | | Построение эпюры поперечных сил............................................................. | 18 |
| 3.3. | | Построение эпюры изгибающих моментов................................................. | 19 |
| 3.4. | | Определение размеров поперечного сечения балки................................... | 21 |
| 3.5. | | Построение эпюры нормальных напряжений в опасном сечении............ | 22 |
| 3.6. | | Определение прогиба балки в середине пролёта........................................ | 25 |
| Библиографический список...................................................................................... | | | 30 |

**Введение**

Настоящая курсовая работа имеет цель закрепление теоретических знаний, полученных в ходе лекционных и практических занятий.

Задачами курсовой работы являются изучение основных принципов инженерных расчетов типовых элементов конструкций на прочность и жесткость, включающих построение эпюр внутренних силовых факторов (продольных сил N при растяжении или сжатии бруса, крутящих моментов Т при кручении вала, поперечных сил Q и изгибающих моментов М при изгибе балки на двух опорах), определение геометрических размеров поперечных сечений элементов, исходя из условий прочности по нормальным или касательным напряжениям (в зависимости от вида нагружения) и условия жесткости, анализ напряженного и деформационного состояний.

Курсовая работа включает три этапа:

1. расчет бруса переменного поперечного сечения на прочность при растяжении (сжатии);
2. расчет вала переменного поперечного сечения на прочность и жесткость при кручении;
3. расчет балки на двух опорах на прочность и жесткость при изгибе.

Оформление курсовой работы выполнено с применением печатающих и графических устройств вывода персональных компьютеров согласно стандарту СТО МИКТ 26499161-001.

1. **Расчет прочностной надежности бруса при растяжении (сжатии)**

**Требуется решить следующие задачи:**

- построить эпюру продольных сил N (в кН);

- определить вид деформации (растяжение или сжатие) на каждом участке бруса;

- определить геометрические размеры поперечных сечений стального бруса (диаметры d1, d2, D в мм) при заданном соотношении диаметров d1/D=0.6 и d2/D=0.8, исходя из условия прочности при растяжении (сжатии) по нормальным напряжениям (; принять  = 160 МПа);

- построить эпюру нормальных напряжений **** (в МПа), возникающих в поперечных сечениях по длине бруса, и сделать вывод о выполнении условия прочности по нормальным напряжениям для рассматриваемого бруса;

- определить опасные сечения (или сечение) и построить эпюру нормальных напряжений σ (в МПа) по высоте поперечного сечения;

- определить абсолютные удлинения ∆Li (в мм) участков бруса, абсолютное удлинение ∆L∑ бруса, относительные деформации (в процентах) участков бруса **εi** и относительную деформацию **ε∑** бруса (принять E=2\*105 МПа);

- построить эпюру абсолютных удлинений ∆L (в мм) по длине бруса.

|  |  |
| --- | --- |
| Таблица | 1 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер варианта | **F1** | **F2** | **F3** | **k1** | **k2** | **k3** |
| кН | | | мм | | |
| 6 | 600 | 700 | 100 | 350 | 250 | 400 |

|  |
| --- |
|  |

|  |  |
| --- | --- |
| Схема | 21 |



|  |
| --- |
|  |

**1.1. Построение эпюры продольных сил**

1.1.1 Разбиваем брус на участки (I, II, III), (см. рисунок 3). Границами участков являются переходные по размерам поперечные сечения бруса и сечения, в которых приложена внешняя нагрузка (сосредоточенные силы F1, F2, F3).

1.1.2 Проводим базовую линию (N) (см. рис. 2).

1.1.3 Для каждого участка, начиная с противоположного от защемления конца бруса, принимаем метод сечений (РОЗУ).

Определяем ординаты эпюры N на участках бруса:





















Проверка:

*R=700-100-600=0*

1.1.4 По результатам расчетов строю эпюру N (см. рисунок 2).

1 кН = 103Н;

1 МПа = 106Па = 1 Н/мм2;

*N –* продольная сила, Н;

*F* – действующая нагрузка, Н;

*А* – площадь поперечного сечения, мм2;

*Е* – модуль упругости материала, МПа;

*σ* – нормальное напряжение, МПа;

*∆l –* абсолютное удлинение, мм;

*ε* – относительное удлинение, %;

*d/D* – диаметр вала, мм.

**1.2. Определение вида нагружения участков бруса**

Вид нагружения участка бруса определяется по знаку величины продольной силы, возникающей в соответствующих поперечных сечениях.

*NI* - участок сжат

*NII* – участок сжат

*NIII* – нет деформации

**1.3. Определение геометрических размеров поперечных сечений бруса**

Для расчета параметров поперечных сечений бруса использую условие прочности по нормальным напряжениям:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (1) |

где  - расчетные напряжения в поперечных сечениях по длине бруса (в МПа);

i – номер участка;

 - допускаемое нормальное напряжение при растяжении (сжатии);

 = 160 МПа (Н/мм2) - для стали

Так как величину определяю по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| *Ni* /*Ai* , | (2) |

то величина площади A (в мм2) поперечного сечения должна удовлетворять следующему условию:

|  |  |
| --- | --- |
| *A ≥ N /* [σ], | (3) |
| *A =* , |  |
| (4) |

*AI = 0.09\*π\*D 2 ≥ NI /* [σ]

*AII = 0.16\*π\*D2 ≥ NII /* [σ]

*AIII = 0.09\*π\*D2 ≥ NIII /* [σ]

Определяем диаметр вала из расчета на прочность на участках:

DI ≥ **

DII ≥ **

DIII ≥ **

Решением системы является наибольший

DI ≥ 115,16 мм

R > 100 мм, ↔ DI ≥ 120 мм

d1/D = 0.6

d2/D = 0.8

Получив D, определяю d1

d1 = 0.6\*D = 0.6\*120 = 72 мм

Принимаем d1 = 72 мм

d2 = 0.8\*D = 0.8\*120 = 96 мм

Принимаем d2 = 96 мм

**1.4. Построение эпюры максимальных нормальных напряжений**

Рассчитаю значения **** для каждого участка бруса по уравнению (**2**) с учетом полученных в **п.1.3** стандартных размеров d1, d2, D.







Самый нагруженный участок (I):

**1.5. Построение эпюры нормальных напряжений по высоте поперечного сечения**

, то функция .

На участке (I) (рис. 4) все сечения опасны.

Графическое представление изменения нормальных напряжений по высоте поперечного сечения бруса на рис. 1.



|  |
| --- |
| Рисунок 1 |

**1.6. Определение деформаций бруса и построение эпюры абсолютных удлинений**

Абсолютные удлинения (8) определяются из формулы закона Гука (5):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |
|  |  |
|  |  |
|  |  |





Абсолютное удлинение ∆l∑ бруса определяю (9):

|  |  |
| --- | --- |
| ∆l∑ = ∆lI + ∆lII + ∆lIII |  |

∆l∑=(-0.2947)+(-0.1208)+0=-0.4155 мм

**Брус сжался на 0,4155 мм.**

Рассчитаю относительные деформации *εi* (в процентах) участков бруса:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

%

%

%

Перемещение текущего поперечного сечения на участке бруса в результате деформации равно:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |

*Z* – координата положения текущего поперечного сечения на участке бруса;

0 ≤ *Z* ≤ l0,i

*∆lIII + ∆lII* = 0+(-0.1208)=-0.1208 мм

*∆lII + ∆lI =* (-0,1208)+(-0,2947)=-0,4155 мм

Так как уравнение (**7**) описывает линейную функцию изменения *∆li* ,то для построения эпюры *∆l* на участке бруса достаточно двух граничных значений: при z=0 ∆*l*=0; при z=*li* *∆l*=∆*li*.

Вычерчиваю эпюру ∆l (в мм) без масштаба под эпюрой **σ** (рис.2), начиная для первого от защемления участка бруса (в защемлении ∆l=0).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Схема | 21 | - | эпюры *N, σ, ∆l* |



Рисунок 2

**2. Расчёт прочностной надёжности вала круглого поперечного сечения при кручении**

На рис. 3 приведена расчётная схема вала круглого поперечного сечения (диаметры вала выражены через параметр d), к которому приложены внешние вращающие моменты Т1, Т2, Т3, Т4. Длины участков бруса равны К1, К2, К3, К4.

В табл. 3 приведены исходные данные для расчёта.

Таблица 3

Исходные данные для расчёта вала круглого поперечного сечения при кручении

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Т1 | Т2 | Т3 | К1 | К2 | К3 | К4 |
| кН·м | | | мм | | | |
| 0,6 | 0,7 | 1,3 | 350 | 250 | 400 | 300 |

Величину Т4 (в табл. 3 не указана) определить исходя из условия равновесия вала (сумма всех четырех моментов равна нулю). При этом, если указанное на рис. 3 направление момента Т4 не совпадает с расчетным (значение Т4<0), необходимо изменить его направление на противоположенное.

Требуется решить следующие задачи:

- построить эпюру крутящих моментов Т (в кН·м);

- определить диаметры поперечных сечений стального вала (в мм) при заданном соотношении диаметров исходя из условия прочности при кручении по касательным напряжениям (; принять );

- построить эпюру касательных напряжений  (в МПа), возникающих в поперечных сечениях по длине вала, и сделать вывод о выполнении условия прочности по касательным напряжениям для рассматриваемого вала;

- определить опасные сечения (или сечение) и построить эпюру касательных напряжений в опасном сечении  (в МПа);

- определить углы закручивания  (в градусах) левых сечений вала относительно правых для каждого участка вала и угол закручивания  (в градусах) крайнего левого торцевого сечения вала относительно правого;

- построить эпюру углов  (в градусах) закручивания поперечных сечений вала относительно крайнего правого.

**2.1. Построение эпюры крутящих моментов**

Крутящим моментом Т называют внутренний силовой фактор, возникающий в поперечных сечениях вала при кручении под действием заданной нагрузки (вращающих моментов).

Правило определения величины крутящего момента в сечении заключается в следующем. Крутящий момент в сечении вала равен сумме всех вращающих (внешних) моментов для рассматриваемой его части. При этом направление и знак величины вращающего момента определяют со стороны отброшенной части: вращающие моменты, направленные против хода часовой стрелки, принимаются положительными, а вращающие моменты, направленные по часовой стрелке – отрицательными. Согласно данному правилу составляем уравнения для расчета величины крутящих моментов на каждом участке вала.

ТI =Т1 = 0,6 кН·м;

ТII = Т1 = 0,6 кН·м;

ТIII = Т1 + Т2 = 1,3 кН·м;

ТIV = Т1 + Т2 – Т3 = 0 кН·м;

-Т1 – Т2 + Т3 + Т4 = 0 кН·м,

Т4 = Т1 + Т2– Т3 = 0,8 кН·м.

По результатам расчета строим эпюру Т (рис. 3).

**2.2. Определение геометрических размеров поперечных сечений вала**

Для расчета параметров поперечных сечений используем условие прочности по касательным напряжениям:

 (7)

где  – расчётные напряжения в поперечных сечениях по длине вала (в МПа);  – допускаемое касательное напряжение при кручении материала вала (для стали принимают )

Так как величину  определяем по формуле:

 (8)

то величина полярного момента сопротивления  (в мм3) сечения должна удовлетворять следующему условию:

 (9)

где Т – крутящий момент в сечении.

По условию (9) определяем неизвестные размеры поперечного сечения вала, решая его как систему неравенств при заданных соотношениях между диаметрами (см. рис. 3)

  

Расчётные значения диаметров вала (в мм) округляем до стандартных согласно условию (7): d ≥ 106,3 мм. Принимаем d = 110 мм.

Тогда 0,5d = 55 мм  56 мм, 1,5d = 165 мм  165 мм, 2d = 220 мм 220 мм.

**2.3. Построение эпюры максимальных касательных напряжений**

Эпюра максимальных касательных напряжений  является графическим представлением изменения касательных напряжений по длине бруса и вычерчивается (в МПа) без масштаба под эпюрой Т. Для этого необходимо рассчитать значения  для каждого участка бруса по уравнению (8) с учетом полученных в п. 2.2 стандартных значений диаметров.









Построим эпюру максимальных касательных напряжений (рис. 3).

**2.4. Построение эпюры касательных напряжений по высоте поперечного сечения**

Эпюра  является графическим представлением изменения касательных напряжений по высоте (наружному диаметру) поперечного сечения вала и вычерчивается (в МПа) без масштаба по тексту расчетов аналогично рассмотренной в п. 1.5. Для построения эпюры  используют функцию , где  – полярный момент инерции сечения. Эпюра касательных напряжений по высоте поперечного сечения показана на рис.4.



Рис. 4. Эпюра касательных напряжений по высоте поперечного сечения

**2.5. Построение эпюры относительных углов закручивания**

Эпюра относительных углов закручивания  (в градусах) является графическим представлением изменения углов закручивания поперечных сечений по длине вала относительно крайнего торцевого его сечения (правого согласно п.2).

Угол закручивания  текущего поперечного сечения на участке бруса в результате деформации равен

 (10)

где  – координата положения текущего поперечного сечения на участке бруса, ; G – модуль упругости материала вала при сдвиге (для стали принимать G=0,8·105 МПа);  – полярный момент инерции поперечного сечения вала ().

Так как уравнение (10) описывает линейную функцию изменения , то для построения эпюры  на участке бруса достаточно двух граничных значений: при  ; при  .

Таким образом, для первого от крайнего правого торцевого сечения вала откладывают на соответствующих границах участка по ординате  значения 0 и , для второго участка – значения  и , для третьего участка – значения  и , получая для крайнего левого поперечного сечения вала ординату .









Построим эпюру относительных углов закручивания (рис. 3).

**3. Расчёт прочностной надёжности балки на двух опорах при изгибе**

На рис. 5 приведена расчётная схема балки на двух опорах постоянного поперечного сечения, к которой приложена система внешних сил и моментов: сосредоточенная сила (силы) F, распределённая нагрузка с интенсивностью q и сосредоточенный изгибающий момент (моменты) М. Длины участков балки равны К1, К2, К3.

В табл. 3 приведены исходные данные для расчётов.

Таблица 3

Исходные данные для расчёта вала круглого поперечного сечения при кручении

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| q | F | М0 | К1 | К2 | К3 |
| кН/м | кН | кН·м | м | | |
| -50 | 70 | 80 | 3 | 1 | 1 |

Требуется решить следующие задачи:

- определить реакции в опорах балки;

- построить эпюру поперечных сил Q (в кН);

- построить эпюру изгибающих моментов М (в МПа);

- определить опасное сечение (или сечения) по длине балки;

- определить размеры (в мм) поперечного сечения стальной балки для следующих профилей поперечного сечения: двутавр, круг, прямоугольник (с заданным соотношением сторон h/b=2) и кольцо (с заданным соотношением диаметров d/D=0,9), исходя из условия прочности при изгибе по нормальным напряжениям;

- построить эпюры нормальных напряжений  (в МПа), возникающих в опасном сечении для каждого рассматриваемого профиля балки;

- сделать вывод о рациональности применения каждого профиля по критерию минимума массы балки;

- определить прогиб (в мм) двутавровой балки в середине пролёта двумя способами (с помощью интеграла Мора и с помощью правила «дирижёра») и сделать заключение о выполнении условия жёсткости при изгибе для рассматриваемой балки.

**3.1. Определение реакций в опорах балки**

Определение реакций в опорах балки является первым этапом выполнения данного задания. Для этого составим расчетную схему балки. Расчетная схема балки вычерчивается без масштаба по ширине листа (см. рис. 5). далее обозначаем опоры (левая опора А, а правая опора В) и прикладываем неизвестные по величине и направлению реактивные силы Rа и Rв к балке в опорных сечениях в произвольном направлении параллельно оси у.

Составляем уравнения равновесия балки  и  и решаем их относительно величин Rа и Rв. Если величина реакции получилась отрицательная, это означает, что необходимо изменить первоначально выбранное направление реакции на противоположенное. Знак минус после замены направления реакции не учитывается. Составляем уравнение  (сумма проекций сил на ось У). это уравнение является проверочным в расчете реакций и обязательным для выполнения. Если сумма проекций всех сил не равна нулю, решение некорректно и необходимо найти ошибку в расчете реакций.



















**3.2. Построение эпюры поперечных сил**

Эпюра поперечных сил Q является графическим представлением изменения внутренних сил по длине балки и вычерчивается под расчетной схемой балки.

Правило определения величины поперечной силы в сечении заключается в следующем. Поперечная сила в сечении балки равна сумме проекций на сечение всех внешних сил (в том числе и реакций) для рассматриваемой части балки. При этом внешние силы, вращающие рассматриваемую часть (левую или правую) относительно сечения по ходу часовой стрелки, считаются положительными, а вращающие против часовой стрелки – отрицательными. Согласно данному правилу составляем уравнения для расчета изменения величины Q на каждом участке балки.





















По уравнениям рассчитываем граничные для каждого участка балки значения Q, откладываем эти значения с учетом знаков в соответствующих сечениях без масштаба и строим эпюру по длине балки (рис. 5)

**3.3. Построение эпюры изгибающих моментов**

Эпюра изгибающих моментов М является графическим представлением изменения внутренних моментов по длине балки и вычерчивается под эпюрой поперечных сил Q.

Правило определения величины изгибающего момента в сечении заключается в следующем. Изгибающий момент в сечении балки равен сумме моментов всех внешних сил (в том числе и опорных реакций) относительно сечения для рассматриваемой части балки. При этом для рассматриваемой левой части балки момент считается положительным, если он направлен по ходу часовой стрелки относительно сечения. Для рассматриваемой правой части балки момент считается положительным, если он направлен против хода часовой стрелки относительно сечения, иначе – моменты считаются отрицательными. Согласно данному правилу составляем уравнения для расчета изменения величины М на каждом участке балки.







, , 



















По уравнениям рассчитываем граничные для каждого участка балки значения М, откладываем эти значения с учетом знаков в соответствующих сечениях без масштаба и строим эпюру по длине балки (рис. 5)

**3.4. Определение размеров поперечного сечения балки**

Для расчёта параметров поперечных сечений балки используем условие прочности по нормальным напряжениям (1).

При этом величину нормальных напряжений  при изгибе определяем по формуле:

 (11)

где М – изгибающий момент в сечении;  – момент сопротивления сечения относительно оси х.

тогда величина момента сопротивления сечения  должна удовлетворять следующему условию:

 (12)

Из условия (12) следует, что максимальное значение  принимает при максимальном значении М, т.е. в опасном сечении балки (см. рис. 5). Поэтому определение размеров любого профиля поперечного сечения балки (с постоянным по длине поперечным сечением) проводим для опасного сечения.



- для двутавра:

N = 55; Wx = 2035·103 мм3; А = 11800 мм2; Jx = 55962·104 мм4.



Определение размеров прямоугольного, круглого и кольцевого сечения выполняем расчётным путем с учётом заданных в п. 3 соотношений.

Формулы для расчёта момента сопротивления сечений имеют вид:

- для прямоугольного сечения , где b, h – ширина и высота прямоугольного сечения, соответственно, (в мм);













- для круглого сечения , где d – диаметр круга, (в мм);











- для кольцевого сечения , где D – наружный диаметр кольца, (в мм); ; d – внутренний диаметр кольца, (в мм).













**3.5. Построение эпюры нормальных напряжений в опасном сечении**

Эпюра  является графическим представлением изменения нормальных напряжений по высоте (наружному диаметру) поперечного сечения балки и вычерчивается (в МПа) без масштаба по тексту расчетов аналогично рассмотренной п. 1.5. Для построения эпюры  используют функцию , где  – момент инерции сечения. Эпюра  строится для каждого профиля поперечного сечения балки (в МПа). При этом необходимо определить положение сжатых и растянутых волокон (и знака нормальных напряжений, соответственно) по высоте поперечного сечения. Если в опасном сечении изгибающий момент (рис. 5) отрицательный, то сжатые волокна находятся в нижней относительно продольной оси балки половине поперечного сечения, а растянутые – в верхней половине сечения. Если в опасном сечении изгибающий момент положительный, то сжатые волокна находятся в верхней относительно продольной оси балки половине поперечного сечения, а растянутые – в нижней половине сечения.

Построение эпюры нормального напряжения в опасном сечении для двутавра рис. 6.



Рис. 6. Эпюра нормального напряжения в опасном сечении для двутавра

Построение эпюры нормального напряжения в опасном сечении для прямоугольника рис. 7.



Рис. 7. Эпюра нормального напряжения в опасном сечении для прямоугольника

Построение эпюры нормального напряжения в опасном сечении для круга рис. 8.



Рис. 8. Эпюра нормального напряжения в опасном сечении для круга

Построение эпюры нормального напряжения в опасном сечении для кольца рис. 9.



Рис. 9. Эпюра нормального напряжения в опасном сечении для кольца

Далее проводим выбор рациональных профилей поперечного сечения балки по критерию минимума веса балки. Для этого последовательно рассчитываем соотношения площадей прямоугольного, круглого и кольцевого поперечных сечений к площади двутаврового сечения: ; ; , где  ,  – площадь прямоугольного, круглого, кольцевого и двутаврового сечений, соответственно, (в мм2).







В результате анализа делаем заключение, что выгоднее использовать двутавр, затем кольцо, прямоугольник и круг.

**3.6. Определение прогиба балки в середине пролёта**

Пролётом называют расстояние между опорами балки. Для определения прогиба балки в середине пролёта необходимо выполнить следующее.

Под эпюрой изгибающих моментов М заново начертим балку без нагрузки (рис. 5). При этом данную балку называют вспомогательной. Далее приложим единичную силу (безразмерную) в середине пролёта в направлении, перпендикулярном продольной оси балки (вверх или вниз). Определить реакции  и  в опорах балки (см. п. 3.1). Составим два уравнения изгибающих моментов  для каждого участка пролёта от действия единичной силы.













, , 

, , 

, , 

, , 

Определим сумму интегралов Мора

 (13)

где Е – модуль упругости материала балки;  – момент инерции двутаврового сечения относительно оси х (см. п. 3.4); f – прогиб (в мм) балки в середине пролёта; L – длина соответствующего участка;  – уравнение изгибающего момента от действия приложенной нагрузки на соответствующем участке балки (см. п. 3.3);  – уравнение изгибающего момента от действия приложенной в середине пролёта единичной силы на соответствующем участке балки.



I участок





II участок











III участок











IV участок







После расчёта суммы (13) определим прогиб (в мм) балки в середине пролёта. Если , то это означает, что центр тяжести поперечного сечения балки в середине пролёта переместится в направлении, противоположенном направлению единичной силы, иначе (если ) – по направлению единичной силы.





Второй способ («правило дирижёра») определения прогиба балки в заданном сечении заключается в следующем.

Каждый интеграл суммы (13) рассчитывают по уравнению (14):

 (14)

где q – интенсивность распределённой нагрузки на участке пролёта (см. схему балки); l – длина участка; h – значение ординаты  под центром тяжести «чистой» параболы ; а, с – значение ординат  и  в левом крайнем сечении на участке, соответственно; b, d – значение ординат  и  в правом крайнем сечении на участке, соответственно.

I участок.



II участок.



III участок.



IV участок



Рассчитаем сумму интегралов и определим прогиб f





Условие жёсткости балки для рассматриваемой задачи имеет вид

 (15)

где f – расчётное значение прогиба (в мм) балки;  – допускаемое значение прогиба (в мм) балки (; р – длина (в мм) пролёта балки).



**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. СТО МИКТ 26499161-001-2006. Стандарт организации. Оформление выпускных квалификационных работ, курсовых работ и проектов, рефератов, отчетов и контрольных заданий, Воронеж, 2006, 65 с.
2. Сапрыкин, В.Н. Техническая механика: серия "Учебники, учебные пособия" / В.Н. Сапрыкин – Ростов н / Д: Феникс; Харьков: Торсинг, 2003, 560 с.
3. Олофинская, В.П. Техническая механика: курс лекций с вариантами практических тестовых заданий. Учебное пособие / В.П. Олофинская – М.: Форум: ИНФРА-М, 2003, 349 с.