Министерство образования Российской Федерации

Курский государственный технический университет

Кафедра сопротивления материалов и строительной механики

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по выполнению расчетно-графических работ

по сопротивлению материалов

Курск 2003

Составители: Л. Ю. Ступишин, А. В. Масалов

УДК 539.3/8

Рецензент канд. техн. наук., доцент теоретической механики Мищенко В. Я.

Методические рекомендации по выполнению расчетно-графических работ по сопротивлению материалов/ Курск.гос.техн.ун-т; Сост. Л. Ю. Ступишин, А. В. Масалов. Курск 2003

Излагаются методические рекомендации по выполнению расчетно-графических работ по сопротивлению материалов.

Предназначены для студентов технических специальностей.

Ил. 14. Табл. 1

Редактор Т. Н. Иванова

Подписано в печать 16.11.95. Формат 60 х 84 1/16.

Печать офсетная

Усл.печ.л.3,74 Уч.изд.л. 3,96 Тираж 200 экз.

Заказ 464 .Бесплатно

Курский государственный технический университет.

Издательско-полиграфический УСИТР . Курского государственного технического университета. 305035, Курс, ул. 50 лет Октября, 94.

ВВЕДЕНИЕ

1. Общие замечания

 При изучении дисциплин кафедры наибольшие трудности у студентов возникают при решении практических задач.

Вместе с тем именно решение задач в значительной степени способствует развитию инженерного мышления у студентов, приобретению ими необходимых навыков прочности расчетов элементов инженерных конструкций. В настоящей методической разработке подробно рассмотрены решения типовых задач, а также изложены требования по выполнению и оформлению индивидуальных расчетно-графических работ, предусмотренных программками курсов сопротивления материалов, механики деформируемого твердого тела, прикладной и технической механики для студентов дневного обучения всех специальностей.

* 1. Основные требования по выполнению расчетно-графических работ

1.2.1 Оформление титульного листа

Все расчетно-графические работы выполняются из стандартных листах бумаги с размерами 210 х 297 мм, окропленных в тетрадь.

Титульный лист (передний лист обложки) оформляется в соответствии с требованиями ЕСКД. Все надписи на титульном листе располагаются в строго определенных местах выполняются чертежным шрифтом. Разрешается выполнять титульный лист в компьютерном варианте.

Рекомендуется следующие номера шрифта для конкретных надписей:

«Министерство образования РФ» – шрифт №7+; в компьютерном варианте шрифт Times 16пт;

«Курский государственный технический университет» - шрифт №5; в компьютерном варианте шрифт Times 14пт;

«Кафедра сопротивления материалов и строительной механики» - шрифт №5; в компьютерном варианте шрифт Times 14пт;

названию расчетно-графической работы – шрифт №10; в компьютерном варианте Times 18пт;

«расчетно-графическая работа №…» - шрифт №7; в компьютерном варианте Times 14пт;

«Выполнил …», «Проверил …» - шрифт №5; в компьютерном варианте Times 14пт;

год выполнения работы – шрифт №5; в компьютерном варианте Times 14пт.

1.2.2. Оформление расчетно-пояснительной записки

Расчетно-пояснительная записка должна быть достаточно краткой, без лишних подробных пояснений и теоретических выводов, имеющихся в учебниках и других учебных пособиях, но не чересчур краткой, содержащей один только формулы и вычисления. В расчетно-пояснительной записке от начала до конца должна четко прослеживаться логическая связь выполняемых операций, а также должны быть отмечены основания для выполнения этих операций. Приведенные в настоящей методической разработке примеры решения отдельных задач могут послужить основой для составления записок.

Формулы, приводимые в записке, должны быть, как правило, записаны сначала в общем виде, а затем уже должна быть произведена подстановка исходных данных и выполнены необходимые вычисления. При подстановке исходных данных нужно внимательно следить за соблюдением одинаковой размерности. После получения значения искомой (промежуточной или окончательной) величины обязательно проставляется ее размерность.

Все записи в расчетно-пояснительной записке ведутся чернилами на одной стороне листа писчей бумаги четкими разборчивым почерком, с расстоянием между строками в 8/12 мм.

На каждой странице оставляются поля: слева шириной 25 мм – для скрепления листов в тетрадь, и справа – 10мм.

Если у автора расчетно-графической работы неразборчивый почерк, то записку он должен выполнять чертежным шрифтом.

Изложение текстового материал записки следует вести от первого лица множественного числа, например: «…определяем…», «…вычисляем…», «…находим…», и т.д., или в безличной форме: «…можно определить…», и т.п., а не «…я определяю…», «…нахожу…», и т.д. Текст всей записки должен быть выдержан в единой стиле; например, если пояснения ведутся в безличной форме, то эта форма должна сохраняться во всей работе.

В конце записки необходимо привести перечень литературы, использованной студентом в процессе выполнения работы, в той последовательности, в какой литературные источники отмечены квадратными скобками в тексте.

В страницы расчетно-графической работы должны быть последовательно пронумерованы в правой верхней части страницы арабскими цифрами с точкой. Нумерация страниц должна быть сквозное от титульного листа до последней страницы, включая чертежи (схемы). На титульном листе, который является первой страницей, номер страницы не ставится, хотя и подразумевается.

1.2.3. Выполнение графической части работы

Графическая часть работы выполняется на бумаге формате А4 (210 х 297 мм) или формата А3 (297 х 480 мм) карандашом или тушью с применением необходимых чертежей инструментов.

В соответствии с заданной схемой по числовым данным варианта вычерчивается в масштабе схема сооружения (расчетная схема, поперечные сечения бруса и т.д.), на которой проставляются исходные данные (размеры) как в буквенных обозначениях, так и в числах, а также наносится заданная нагрузка. Кроме того, все размеры, используемые в расчетах, также должны быть показаны на чертеже. Эпюры внутренних усилий (напряжений, перемещений) должны вычерчиваться строго под расчетной схемой бруса (или рядом с ней). На расчетной схеме должны быть отмечены все сечения, для которых, определяются внутренние усилия; на эпюрах обязательно проставляются значения вычисленных характерных ординат. Для каждой экстремальной точки любой эпюры обязательно определяется ее положение и подсчитывается значение ордината (max или min). Эпюры заштриховываются тонкими линиями (расстояние между линиями 2+3 мм). Перпендикулярно оси элемента конструкции. На заштрихованном поле эпюры проставляется ее знак «+» или «-».

1.2.4. Защита расчетно-графических работ

Каждым студентом все расчетно-графические работы должны выполняться и сдаваться на проверку преподавателю в сроки, предусмотренные графиком работы студентов в текущем семестре. После исправления студентом всех ошибок, отмечен их преподавателем при проверке, каждая расчетно-графическая работа должна быть защищена. При исправлении ошибок из проверенной работы ни в коем случае ничего не выбрасывается. Исправления аккуратно записываются студентом на чистых страницах. На защиту студенты приносят исправленные работы, сдают их преподавателю, получают индивидуальные карточки-задания на решение задачи по соответствующему разделу курса. На решение задачи отводится максимум 30+40 мин. Если студент успешно решил задачу и у преподавателя нет никаких дополнительных замечаний по расчетно-графической работе, то защита считается законченной. После защиты работа остается у преподавателя. Если студентом все работы защищены успешно и в срок, то в конце семестра он автоматически получает зачет по курсу. В случае, когда студент при защите не справляется с решением типовых задач, то преподавателем назначается дополнительная защита (не более двух раз!). Если студентом какие-либо расчетно-графические работы не защищены в течении семестра, то их защита и сдача зачета по курсу производится в зачетное – экзаменационную сессию.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

ПРИМЕР 1

Для изображенного на рис. 1.1. поперечного сечения требуется:

1. Определить положение центра тяжести сечения;
2. Определить положение главных центральных осей инерции;
3. Вычислить величины главных центральных моментов инерции.

Исходные данные:

а = 1,8 м.

РЕШЕНИЕ

1. Определение положения центра тяжести сечения.

Разбиваем сечения на простые фигуры, центры тяжести которых известны

 (рис. 1.1.):

1. полукруг с радиусом R=а;
2. прямоугольник со сторонами 3/4а\*2а;
3. треугольник с основанием а и высотой а/2.

Определим геометрические характеристики составляющих фигур (У - координата центра тяжести; А – площадь; J.  - моменты инерции относительно собственных главных центральных осей).

 



Изобразим заданные сечения в определенном масштабе и выберем исходные оси (оси, в которых будет определяться центр тяжести). Пример в качестве исходных собственные оси фигуры «2» (рис. 1.2).

Определим координаты  центра тяжести всей фигур «с» в выбранной исходной системе координат . Так как ось - ось симметрии всей фигуры, то центр тяжести лежит на оси  и  Координат  равна (рис.1.2):





 Откладываем отрезки  и  и отмечаем центр тяжести С (рис 1.2).

 Проверим правильность определения центра тяжести. Статический момент всей фигуры относительно осей, проходящих через центр тяжести, равен нулю.

 Определим (рис. 1.2):



Центр тяжести найден верно.

2. Определение положения главных центральных осей.

Заданное сечение имеет ось симметрии Yc. Следовательно, центробежный момент - главные центральные оси.

1. Вычисление виличины главных центральных моментов инерции .

Смещению центров тяжести С1 , С2, С3 от осей Yc и Zc показано на рис. 1.2. Численные значения  приведены выше. Значения моментов инерции составляющих фигур относительно собственных осей приведены в разделе 1.





ПРИМЕР 2

Для изображенного на рис. 2.1. поперечного сечения бруса требуется:

1. определить положение центра тяжести сечения;
2. определить положение главных центральных осей инерции;
3. вычислить величины главных центральных моментов инерции.

Исходные данные:

элемент 1 - [ №20,

элемент 2 – I №20

элемент 3 – прямоугольник

300 х 20 (), мм.

РЕШЕНИЕ

1. Определение центра тяжести поперечного сечения.

Определим необходимые геометрические характеристики составляющих фигур ( - координата центров тяжести; Ai – площадь;  - моменты инерции относительно собственных главных центральных осей). Для прокатных профилей швеллера (I) и двутавра (2) данные взяты из таблиц сортамента прокатной стали.

 

Изобразим сечение в масштабе, укажем центры тяжести составляющих фигур и переведем главные центральные оси составляющих фигур (рис. 2.2).

 За исходные оси (оси, в которых будет определяться центр тяжести) примем главные центральные оси фигуры «2» (рис. 2.2). Определяем координаты Yc и Zc центра тяжести всей фигуры «с» в выбранной исходной системе координат Y2C2Z2. Так как ось У2 – ось симметрии всей фигуры, то центр тяжести лежит на оси Уz и Zc = 0. Координата Ус равна (рис. 2.2).



 Откладываем отрезки Ус = - 3,48 и Zc=0 и отмечаем центр тяжести «С» (рис2.2).

 Проверка правильности определения центра тяжести проводится аналогично решению примера 1, пункт 1.

1. Определение положения главных осей.

Заданное сечение имеет ось симметрии Ус. Следовательно, центробежный момент  - главные. А так как «С» центр тяжести, то оси Ус и Zc – главные центральные.

1. Определение величины главных центральных моментов инерции .

Смещение центров тяжести составляющих фигур относительно осей Ус и Zc показано на рис. 2.2:



 Значения моментов инерции составляющих фигур относительно собственных главных осей приведены в разделе 1.



ПРИМЕР 3

 Для изображенной на рис. 3.1 схема стального бруса требуется:

1. построить эпюры продольных сил *N* и нормальных напряжений б, записав в общем виде для каждого участка выражения *N* и б и указа на эпюрах их значения в характерных сечениях;
2. установить опасное сечение и записать условие прочности. Определить размеры прямоугольного сечения бруса, приняв h/b=2?0;
3. найти перемещения сечения 2.

Исходные данные:



 Для выполнения числовых расчетов принять:  (для студентов строительных специальностей принять R=210МПа)

РЕШЕНИЕ

1. Изобразим в масштабе расчетную схему бруса (рис. 3.2ба) с учетом знаков исходных данных (если нагрузка задана со знаком минус, то ее на схеме следует направить в противоположную сторону). Построим эпюры N и б, рассматривая каждый участок, начиная со свободного конца. Используя метод сечений, разрежем брус некоторым сечением с ординатой  (участок 1-2), изобразим нижнюю часть бруса отдельно, отбросив верхнюю часть и заменив ее действие продольной силой N (рис. 3.2,б).

Запишем уравнение равновесия и найдем силу N:

 - уравнение наклонной прямой.

 Мысленно выполняя приведенные выше операции метода сечений для каждого участка, запишем выражения для N и б: участок 1-2: 

- уравнение наклонной прямой;

 - уравнение наклонной прямой при 

участок 2-3; 



 По полученным значениям в масштабе строим эпюру N (рис.3.2, в) и эпюру б (рис.3.2,г).

1. Сечение будет опасным, если напряженна б будет наибольшим (без учета знака). По эпюре 3.2, г, видно, что опасное сечение 1 или весь участок 3-4, где  =2qa/A. Запишем условие прочности:

а) для студентов всех специальностей, кроме строительных:



Принимаем b=0,008м=8мм

 h=0,016m=16мм.

 б) для студентов строительных специальностей:



Принимаем b=0,010м=10мм

 H=0,020m-20mm.

1. На основании дифференциальных зависимостей при растяжении (сжатии)

 

 которого находим, защемлением.

 Найдем перемещение сечения 2, используя эпюру N(рис. 3.1, а; 3.2, в)

  (здесь 

ПРИМЕР 4

 Для изображенной на рис. 4.1 схемы стального бруса требуется:

1. построить эпюры крутящих моментов Т и касательных напряжений , записав в общем виде для каждого участка выражения Т, и указав на эпюрах их значения в характерных сечениях;
2. установить опасное сечение и записать условие прочности, определить диаметр бруса;
3. найти угол закручивания сечения 1.

Исходные данные:



 Для выполнения числовых расчетов принять:

 = 96 МПа; а = 0,5 м; 

(для студентов строительных специальностей принять ).

РЕШЕНИЕ

1. Изобразим в масштабе расчетную схему бруса (рис. 4.2, а) с учетом знаков исходных данных. Построим эпюры Т и , рассмотрев каждый участок, начиная со свободного конца. Используя метод сечений, разрежем брус некоторым сечением с абсциссой  (участок 1-2), изобразим правую часть бруса отдельно, отбросив левую часть, заменив действие левой части крутящим моментом Т (рис. 4.2, б).

 Запишем уравнение равновесия и найдем момент Т:



 Мысленно выполняя приведенные выше операции метода сечений для каждого участка, запишем выражения для Т и :

Участок 1-2 







По полученным значениям в масштабе строим эпюру Т (рис. 4.2,в) и (рис. 4.2,г)

1. Опасным будет сечение, где По эпюре (рис. 4.2,г) видно, что опасным является сечение 3, в котором 

Запишем условие прочности:

а) для студентов всех специальностей, кроме строительных:

 

Принимаем: d= 0,180 м = 150 мм.

 б) для студентов строительных специальностей:

 

Принимаем d=0,135 m = 135 mm.

1. На основании дифференциальных зависимостей при кручении



определяем, н защемлением.

 Найдем угол закручивания сечения 1, используя эпюру Т (рис. 4.2, а).



 ПРИМЕР 5

 Для изображенной на рис. 5.1. схема стальной балки требуется:

1. построить эпюры поперечных сил Q (Qy) и изгибающих моментов М (Mz), запасов в общем виде для каждого участка выражения Q и М и указав на эпюрах значения в характерных сечениях;
2. установить опасное сечение, записать условие прочности и подобрать номер двутавра;
3. определить прогиб сечения 3 и угол поворота сечения 2.

Исходные данные:



Для выполнения числовых расчетов принять:



(для студентов строительных специальностей принять R=210МПа).

 РЕШЕНИЕ

1. Изобразим в масштабе схему балки (рис. 5.2,ф) с учетом знаков исходных данных.

Расчет двухопорной балки начинаем с определения опорных реакций (для защемленной с одного конца балки реакции обычно не определяются, а построение эпюр Q и М начинается со свободного конца)







 Реакции  получили со знаком плюс, значит первоначальное направление выбрано верно. Если бы получили одну (или обе) реакцию со знаком минус, то ее (их) следовало бы направить в противоположную сторону.

 Проверка: 

Следовательно, реакции определены верно и можно приступать и построению эпюр.

 Для их построения рассмотрим каждый участок балки и, используя метод сечений (см. пример 3, 4), запишем выражения для Q и М с учетом принятого правила знаков.

 Участок 3-1; 

Q = -2qx – уравнение наклонной прямой;

- уравнение квадратной параболы;

при 

 (средняя ордината эл. М)

В масштабе строим эпюры Q и М на участке 3-1 (рис. 5.2, б, 5.2, в). На этом участке эпюра Q знак не меняют, поэтому на эпюре М экстремального значения не будет и ее можно приближенно провести по двум точкам ( Эпюру М принято строить на сжатых волокнах для студентов машиностроительных и технологических специальностей (т.е. отрицательные значения откладываются вниз, положительные – вверх); для студентов строительных специальностей ее принято строить на растянутых волокнах балки (т.е. отрицательные значения откладывается вверх, положительные – вниз (рис. 5.2,г).

 Участок 1-4: при 

Строим эпюры Q и М на участке 1-4 в выбранном масштабе. На этом участке эпюра Q проходит через нуль, меняя знак, следовательно на эпюре М в этом сечении будет экстремальное значение. Найдем его, приравняв Q на участке 1-4 к нулю (рис. 5.2, г):



 Можно продолжать рассмотрение участков балки слева, но расчеты при этом усложняются (в уравнение для Q и М входит много слагаемых). Поэтому далее будем строить эпюры Q и М, рассматривая участки белки справа.

 Участок 5-2; 



 По этим значениям строим эпюры Q и М на участке 5-2.

 Участок 2-4; 



 По этим значениям строим эпюры Q и М на участке 2-4.

 2.Опасным будет сечением, где 

 Из рассмотрения рис. 5.2, в,г видно, что 

 Запишем условие прочности:

а) для студентов всех специальностей, кроме строительных

 

По таблице сортимента выбираем двутавр №16, для которого 

б) для студентов строительных специальностей:

 



По таблице сортимента выбираем двутавр №14, для которого



 3. Найдем прогиб сечения 3, используя способ перемножения эпюр.

 Для этого в направлении предполагаемого перемещения прикладываем единичную силу (рис. 5.2, д). Определяем опорные реакции и стороны единичную эпюру изгибающих моментов 



 Запишем выражения для изгибающих моментов на участках балки.

 Участок 3-1; 



 Участок 2-1; 



 По полученным значениям строим эпюру (рис.5.2, е).

Перемножим по формуле Симпсона эпюру М (Мz) на эпюру и найдем искомый прогиб сечения 3:



 Знак «минус» показывает, что прогиб сеч. 3 направлен не вниз (как была направлена сила ), а вверх.

 Найдем угол поворота сечения 2, используя способ перемножения эпюр. Для этого прикладываем в сечении 2 в предполагаемом направлении его поворота единичную пару сил  (рис.5.2, ж.), определяем опорные реакции и строим единичную эпюру изгибающихся моментов  (рис. 5.1, з)

 



 Построенная эпюра  изображена на рис. 5.2, з. Перемножим по формуле Симпсона эпюру на эпюру М (Мz) и найдем искомый угол поворота сеч. 2:



ПРИМЕР 6 (для студентов строительных специальностей)

 Для изображенной на рис. 6.1 схемы рамы (материал-сталь) требуется:

1. построить эпюры изгибающих моментов М (Мz), поперечных сил Q (Qy) и придельных сил N (Nx) двумя путями:

а) записав в общем виде для каждого участка выражения М, Q, N.

б) построив эпюры М (аналогично п.а. или по значениям М в характерных сечениях), а затем по дифференциальным зависимостям и уравнениям равновесия эпюры Q и N;

 2) установить опасное сечение, записать условие прочности и определить

 величину безопасности нагрузки;

3) определить горизонтальный прогиб сечения 5 и угол поворота сечения

 3 рамы.

 Исходные данные:

 При выполнении числовых расчетов принять:



1. Размеры поперечного сечения стержня подбираем из условия его устойчивости в плоскости наименьшей жесткости:



Найдем геометрические характеристики, выразив их через «а»:



Гибкость стержня в плоскости его наименьшей жесткости:



где коэффициент приведения длины (v)M=0,7 при заданных условиях закрепления его концов (рис. 9.1).

Первое приближение: принимаем 

Тогда:

 

Далее найдем:



 Из таблицы коэффициентов  (имеются в справочниках и пособиях по сопротивлению материалов) по интерполяции находим табличные значения составляющие =102 для стали 3:

при 

тогда: 

Поскольку (относительная разница между ними составляет:

 что больше 5%), то расчет повторяем во втором приближении.

Второе приближение: принимаем

 

Далее расчет повторяем



Из таблицы:



 Окончательно принимаем следующие размеры сечения:



 Проверим устойчивость стержня:



1. Поскольку то критическую силу определяем по формуле Эйлера (если то критическая сила определяется по формуле Ясинского: 



 Найдем коэффициент запаса устойчивости:



ПРИМЕР 10

 Для заданной рамы (рис.10.1) требуется:

1. установить степень статической неопределимости;
2. выбрать основную систему и составить канонические уравнения метода сил;
3. построить эпюры изгибающихся моментов от внешней нагрузки и единичных сил;
4. вычислить все перемещения, входящие в канонические уравнения;
5. найти величины лишних неизвестных;
6. построить окончательные эпюры N, Q и М;
7. провести деформационную проверку;
8. подобрать размеры поперечных сечений всех элементов рамы, приняв , поперечное сечение ригеля в форме двутавра, стойки – кольца с соотношением d/D=0,8.

 Исходные данные:



РЕШЕНИЕ

По исходным данным строим расчетную схему (рис. 10.2,а).

1. Устанавливаем степень статистической неопределенности системы:

 n=x-y=6-4=2,

где:

x=G-число неизвестных реактивных факторов

( по рис. 10.2,а.);

y=4 – число применимых уравнений равновесия

(- дополнительное уравнение, т.к. в шарнире момент равен нулю по рис. 10.2, а.)

Рассматриваемая рама два раза статистически неопределима.

1. Выбираем основную систему. Наиболее удобный вариант разрезать ригель по шарниру (рис. 10.2, б.). Приложив к основной системе по направлению отброшенных связей усилия  и заданную нагрузку, получим эквивалентную систему (рис.10.2, в.). Запишем канонические уравнения метода сил для этой статически неопределимой системы:

 

1. Построим эпюры изгибающих моментов для принятой основной системы:

а) построение эпюры  (рис. 10.2, д.) от силы (рис.10.2, г.)-первое единичное состояние.

Так как основная система и нагрузка () симметричны, то эпюра  будет симметричной. Поэтому ординаты изгибающих моментов достаточно определить только для элементов одной части рамы (правой или левой) и симметричную отложить их значения на другой.

Вычисляем изгибающие моменты для левой части рамы.

Определяем опорные реакции из уравнения статики:





Построим эпюру :

Участок ШЕ 

=0.

Участок ЕА 



при 

Участок ВА 



Построим эпюру  на участке ШК, КД, СД аналогично.

По полученным значениям строим эпюру , откладывая ординаты в крайних точках участков со стороны сжатых волокон;

б) построение эпюры  (рис.10.2, ж.) от силы  (рис. 10.2, е.). Так как основная система симметричная, а нагрузка () – несимметрична, то эпюра  также будет несимметричной.

 Определяем опорные реакции из уравнений статики.





Построим эпюру :

Участок ШЕ 



Участок ЕА 



при 

Участок ВА 



Построение эпюры , на участках ШК, КД, СД аналогично.

Алгебраически сложив ординаты: крайних точках соответствующих участков эпюр и , построим дополнительную суммарную единичную эпюру Мs (рис. 10.2, s).

в) построение эпюры  (рис.10.2, к.) от внешних нагрузок (рис.10.2, и.)-грузовое состояние.

 Определяем опорные реакции из уравнения статики: левая часть рамы



 Проверка. 

 Участок ШЕ 



 Участок ЕА 



 Участок ШК 



1. а) вычислим коэффициенты канонических уравнений путем «перемножения» соответствующих эпюр, учитывая, что 





 б) вычислим «грузовое» слагаемое:



.

 Для последующей проверки правильности вычисленных коэффициентов и «грузовых»слагаемых, «перемножим» эпюру  саму на себя и на эпюру :

 Проверим правильность вычисленных коэффициентов:



 Коэффициент найдены верно.

1. Решаем систему канонических уравнений и определяем величину «лишних» неизвестных:



 

1. Построим окончательные эпюры N, Q и M.

Рассматриваем эквивалентную систему при найденных значениях 

(рис.10.2,м.).

 Определяем опорные реакции из уравнений статики:

левая часть рамы: 







правая часть рамы:



Запишем уравнения для N, Q, M на каждом характерном участке (рис.10.2,м.).

 Участок ШЕ 



