Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

(национальный исследовательский университет)»

(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

*Факультет* ***«Робототехника и комплексная автоматизация» (РК)***

*Кафедра* ***«Теория механизмов и машин» (РК-2)***

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

По домашнему заданию №1

По курсу «Прикладная механика»

Вариант 7

|  |  |
| --- | --- |
| Исполнители: | Бабаян В.Ф.,  Ермоленко С.Е.,  Наваркин А.А.,  Ухачев В.С.,  Хмылев К.В. |
| Группа: | РК6-44 |
| Руководители проекта: | Подчасов Е.О.,  Шашурин Г.В. |

Москва, 2018г

# **РЕФЕРАТ**

Пояснительная записка к домашнему заданию №1 по курсу «Прикладная механика» сдержит \_\_ страниц машинописного текста, \_\_ рисунков, \_\_ таблиц, \_\_ приложений. Состоит из \_\_ частей, для написания было использовано \_\_ источников.

Ключевые слова: первичный механизм; группы Ассура; структурная схема механизма; упругость звеньев; число подвижностей на плоскости; параметризация; жесткость звеньев.

В пояснительной записке приведено: описание работы исходного механизма, выходное и выходное звенья, структурная схема исходного механизма с абсолютно жесткими звеньями и голономными связями, определение числа подвижностей на плоскости, выделение всех возможных первичных механизмов и соответствующие им группы Ассура, структурные схемы механизма с учетом различных вариантов упругости и число подвижностей на плоскости для них, геометрически параметризованные мадели звеньев механизма, расчет жесткости для первичных механизмов методом конечных элементов.

**СОДЕРЖАНИЕ**

[РЕФЕРАТ 2](#_Toc514964270)

[ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ 4](#_Toc514964271)

[ОПИСАНИЕ РАБОТЫ МЕХАНИЗМА 5](#_Toc514964272)

[СТРУКТУРНАЯ СХЕМА МЕХАНИЗМА С АБСОЛЮТНО ЖЕСТКИМИ ЗВЕНЬЯМИ И ГОЛОНОМНЫМИ СВЯЗЯМИ 6](#_Toc514964273)

[Первиный механзм I и соответствующая ему группа Ассура 6](#_Toc514964274)

[Первичный механизм II и соответствующая ему группа Ассура 7](#_Toc514964275)

[СТРУКТУРНАЯ СХЕМА МЕХАНИЗМА С УЧЕТОМ РАЗЛИЧНЫЙ ВАРИАНТОВ УПРУГОСТИ ЗВЕНЬЕВ 8](#_Toc514964276)

[ГЕОМЕТРИЧЕСКИ ПАРАМЕТРИЗОВАННЫЕ МОДЕЛИ ЗВЕНЬЕВ 13](#_Toc514964277)

[ПОЛУЧЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ЖЕСТКОСТЕЙ ДЛЯ ПЕРВИЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ 14](#_Toc514964278)

[Звено 1: Кривошип. 14](#_Toc514964279)

[Расчет кривошипа на изгиб 21](#_Toc514964280)

[Звено 2: Камень кулисы 24](#_Toc514964281)

# **ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ**

|  |
| --- |
| Вариант 7. |
| *Рисунок 1 – Исходный механизм.* |
| Для заданного механизма:  1. Составить описание работы механизма, определить входное и выходное звенья.  2. Составить структурную схему механизма с абсолютно жесткими звеньями и голономными связями. Для полученной структурной схемы:  a. Определить число подвижностей на плоскости с использованием формулы Чебышева.  b. Выделить:  - Все возможные первичные механизмы.  - Группы Ассура, соответствующие всем первичным механизмам.  c. Проверить правильность определения числа подвижностей.  3. Составить структурную схему механизма с учетом различных вариантов упругости звеньев (схему эквивалентного механизма).  4. Определить число подвижностей на плоскости для эквивалентного механизма.  5. Составить геометрически параметризованные модели звеньев механизма.  6. Используя метод начальных параметров или метод конечных элементов получить значения жесткостей для первичных механизмов. |

# **ОПИСАНИЕ РАБОТЫ МЕХАНИЗМА**

**Кривошипно-кулисный механизм качающегося цилиндра (№1338 по Артоболевскому).**

Механизм относится:

- По структурно-сконтруктивным признакам – механизм поршневых машин.

- По функциональному назначению – механизм поршневых машин.

Двухступенчатый цилиндр2 качается вокруг оси А. Со штоком звена 3 жестко соединены два поршня различных диаметров. С кривошипом1 жестко связан тяжелый маховик 4.

Кривошипно-кулисный механизм с качающейся кулисой служит для преобразования вращательного движения кривошипа 1 в качательное движение кулисы 3 и при этом происходит быстрый ход при движении камня кулисы 2 в одну сторону и медленный – в другую. Механизм широко применяется в металлорежущих станках, например: в поперечно-строгальных, зубодолбежных и др.

Входное звено – кривошип 1.

Выходное звено – кулиса 3.

# **СТРУКТУРНАЯ СХЕМА МЕХАНИЗМА С АБСОЛЮТНО ЖЕСТКИМИ ЗВЕНЬЯМИ И ГОЛОНОМНЫМИ СВЯЗЯМИ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Рисунок 2 – Структурная схема механизма.* | Механизм представляет собой плоский трехзвенный механизм с тремя одноподвижными вращательными и одной одноподвижной поступательной парами.  a. Определим число подвижностей на плоскосте заданного механизма (Рисунок 2) с использованием формулы Чебышева:  (1)  где n – число подвижных звеньев схемы,  pн – число нижних кинематических пар,  pв – число высших кинематических пар,  qп – число избыточных (повторных) связей.  Расчитаем подвижность на плоскости для нашего механизма:  b. Условия ассурова механизма,  m – четное (общее число звениев),  W = 0, pв = 0 pн = 1.5n.  Оба условия выполняются, следовательно, данный механизм можно разбить на группы Ассура. | |
| Первиный механзм I и соответствующая ему группа Ассура   *Рисунок 3 – Первичный механизм I и группа Ассура соответствующая ему.* | | |
|  | |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Первичный механизм II и соответствующая ему группа Ассура   *Рисунок 4 – Первичный механизм II и группа Ассура соответствующая ему.* | |
|  |  |
| c. число подвижностей данного механизма определено правильно. | |

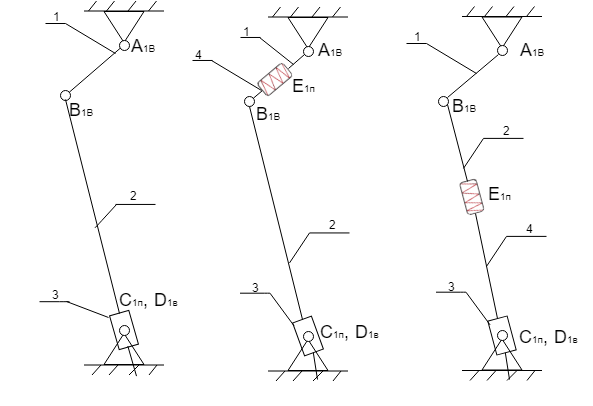
# **СТРУКТУРНАЯ СХЕМА МЕХАНИЗМА С УЧЕТОМ РАЗЛИЧНЫЙ ВАРИАНТОВ УПРУГОСТИ ЗВЕНЬЕВ**

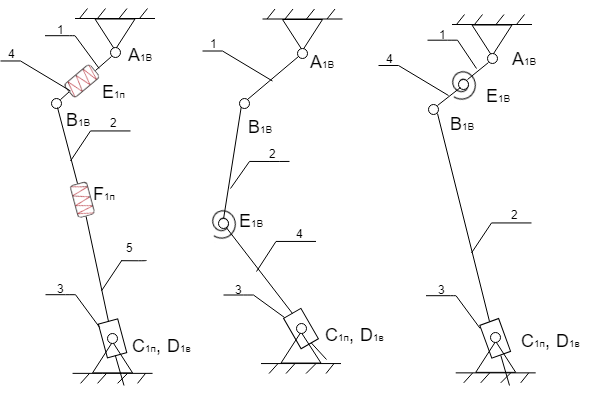
Звенья механизма мегуть предполагать упругие деформации – линейные и угловые.

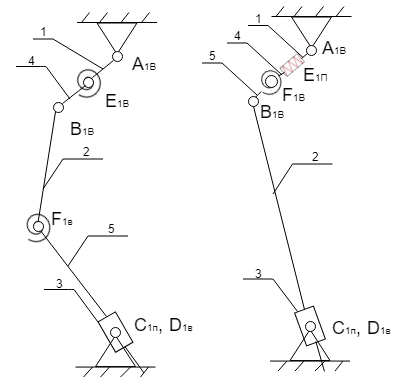
Для учета всех возможный вариантов замены применена формула подсчета количества комбинаций.

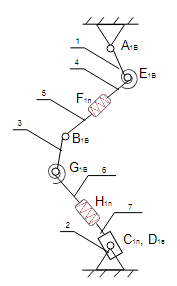
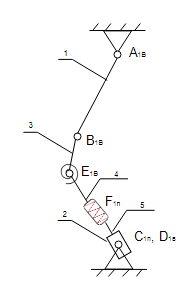
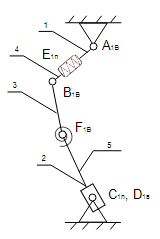
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Звено 1** | **Звено 2** | **Звено 3** |  |  | **Звено 1** | **Звено 2** | **Звено 3** |
| **1** | - | - | - |  | **33** | - | В | ВП |
| **2** | П | - | - |  | **34** | В | В | П |
| **3** | - | - | П |  | **35** | В | В | В |
| **4** | П | П | - |  | **36** | В | В | ВП |
| **5** | В | - | - |  | **37** | ВП | - | П |
| **6** | - | В | - |  | **38** | ВП | - | В |
| **7** | В | В | - |  | **39** | ВП | - | ВП |
| **8** | ВП | - | - |  | **40** | - | ВП | П |
| **9** | - | ВП | - |  | **41** | - | ВП | В |
| **10** | ВП | ВП | - |  | **42** | - | ВП | ВП |
| **11** | П | В | - |  | **43** | ВП | ВП | П |
| **12** | П | ВП | - |  | **44** | ВП | ВП | В |
| **13** | В | П | - |  | **45** | ВП | ВП | ВП |
| **14** | В | ВП | - |  | **46** | П | В | П |
| **15** | ВП | П | - |  | **47** | П | В | В |
| **16** | ВП | В | - |  | **48** | П | В | ВП |
| **17** | - | - | П |  | **49** | П | ВП | П |
| **18** | - | - | В |  | **50** | П | ВП | В |
| **19** | - | - | ВП |  | **51** | П | ВП | ВП |
| **20** | П | - | П |  | **52** | В | П | П |
| **21** | П | - | В |  | **53** | В | П | В |
| **22** | П | - | ВП |  | **54** | В | П | ВП |
| **23** | - | П | П |  | **55** | В | ВП | П |
| **24** | - | П | В |  | **56** | В | ВП | В |
| **25** | - | П | ВП |  | **57** | В | ВП | ВП |
| **26** | П | П | П |  | **58** | ВП | П | П |
| **27** | П | П | В |  | **59** | ВП | П | В |
| **28** | П | П | ВП |  | **60** | ВП | П | ВП |
| **29** | В | - | П |  | **61** | ВП | В | П |
| **30** | В | - | В |  | **62** | ВП | В | В |
| **31** | В | - | ВП |  | **63** | ВП | В | ВП |
| **32** | - | В | П |  | **64** | ВП | ВП | ВП |

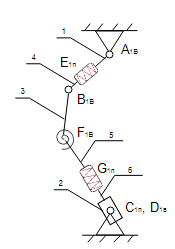
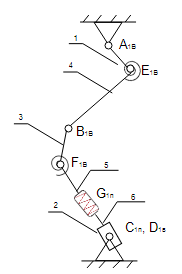
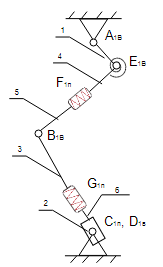
*Таблица 1 – Вырианты врезания КП.*

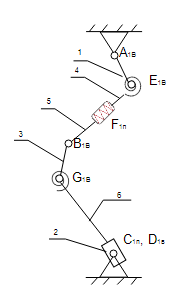


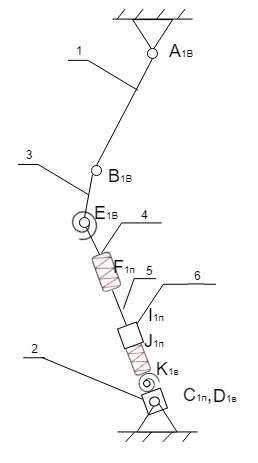
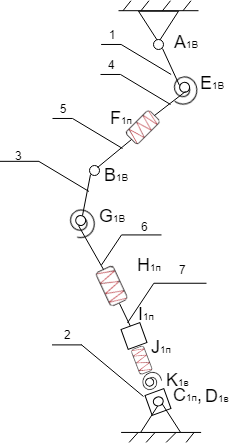
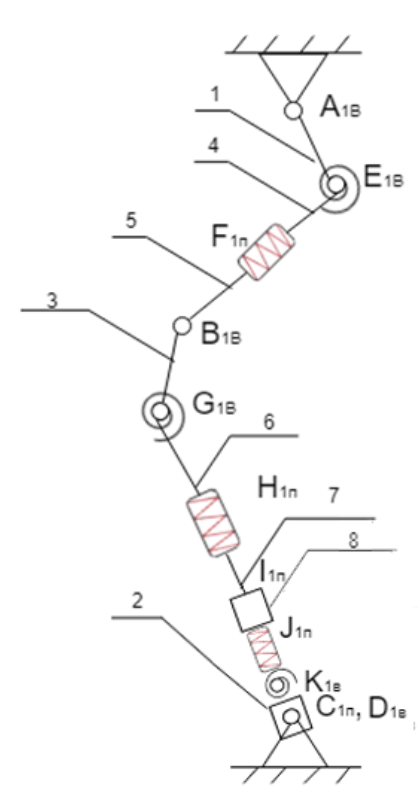


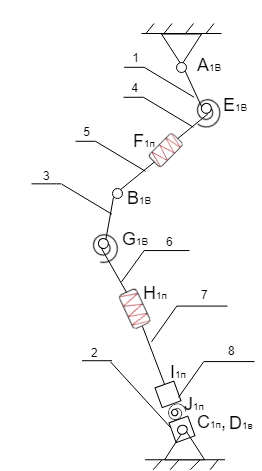
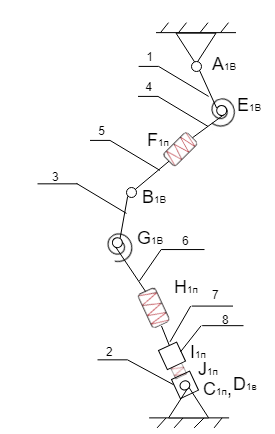
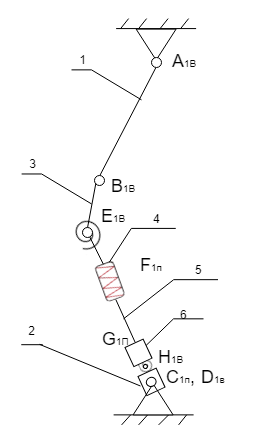








# **ГЕОМЕТРИЧЕСКИ ПАРАМЕТРИЗОВАННЫЕ МОДЕЛИ ЗВЕНЬЕВ**

|  |
| --- |
| Звено 1 – Кривошип: |
| E:\Study\4sem\appmech\homework\1\report\5\кривошип.png |
| E:\Study\4sem\appmech\homework\1\report\5\кривошип_2.png |
| E:\Study\4sem\appmech\homework\1\report\5\кривошип_3.png |

|  |
| --- |
| Звено 2 – Кулиса: |
| E:\Study\4sem\appmech\homework\1\report\5\поршень.png |

|  |
| --- |
| Звено 3 – Камень кулисы: |
| E:\Study\4sem\appmech\homework\1\report\5\гидроцилиндр_2.png |
| E:\Study\4sem\appmech\homework\1\report\5\гидроцилиндр_1.png |
| E:\Study\4sem\appmech\homework\1\report\5\гидроцилиндр.png |

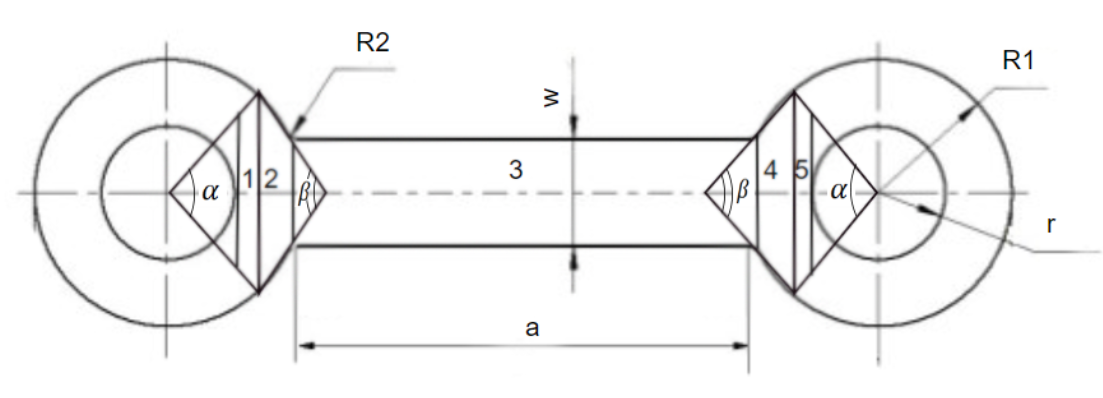
# **ПОЛУЧЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ЖЕСТКОСТЕЙ ДЛЯ ПЕРВИЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

## Звено 1: Кривошип.

1. В случае растяжения-сжатия ведет себя аналогично стержню.

Пусть к концу стержня будет приложена сила 1Н

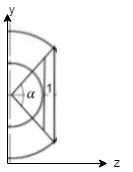
Разбиение стержня на конечные элементы:



*Рисунок – Разбиение звена 1 на конечные элементы.*

Вычислили необходимые параметры, используя параметризированный чертёж кривошипа

1. Рассмотрим элемент 1



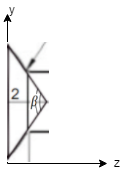
*Рисунок – Конечный элемент 1 звена 1.*

Интегрирование от до

Нахождение матрицы жесткости [K] конечного элемента 1:

[K] =

1. Рассмотрим элемент 2



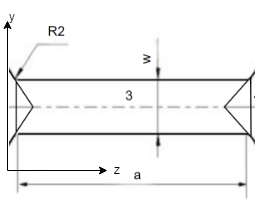
*Рисунок – Конечный элемент 2 звена 1.*

Интегрирование от до

Нахождение матрицы жесткости [K] конечного элемента 2:

[K] =

1. Рассмотрим элемент 3

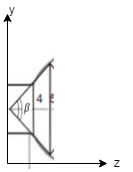


*Рисунок – Конечный элемент 3 звена 1.*

Нахождение матрицы жесткости [K] конечного элемента 3:

[K] =

1. Рассмотрим элемент 4



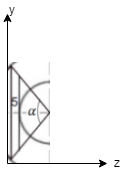
*Рисунок – Конечный элемент 4 звена 1.*

Интегрирование от до

Нахождение матрицы жесткости [K] конечного элемента 4:

[K] =

1. Рассмотрим элемент 5



*Рисунок – Конечный элемент 4 звена 1.*

Интегрирование от до

Нахождение матрицы жесткости [K] конечного элемента 5:

[K] =

Для дальнейших расчётов обозначения матриц жесткости 1-5 конечных элементов приняты равными K1, K2, K3, K4, K5 соответственно.

Выполнена операция ансамблирования.

Основное уравнение метода конечных элементов

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 (K1) | 0 (-K1) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 (-K1) | K1+ K2 | - K2 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | - K2 | K2+ K3 | - K3 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | - K3 | K3+ K4 | - K4 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | - K4 | K4+ K5 | - K5 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | - K5 | K5 |

X =

Полученная система уравнений

Результаты решения системы уравнений

X2=

X3= +

X4= + +

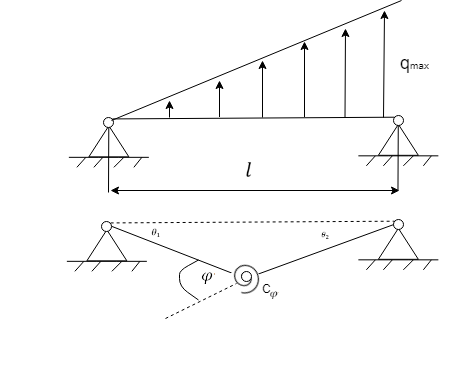
X5= + + +

X6= + + + +

{U}=

**Расчет кривошипа на изгиб**

Изгиб можно считать только для элемента 3, поскольку другие элементы имеют много большую площадь поперечного сечения и меньшую длину, находясь на краях изделия. Отсюда следует, что в них будут возникать пренебрежимо малые деформации



Поскольку длина балки =

Отсюда:

Момент инерции элемента 3:

Из условий эквивалентности:

1. A1вн  = A2вн <=> U1y = U2y
2. V1max  = V2ф

Нахождение вектора приложенных сил:

Для расчета узловых перемещений используется уравнение жесткости:

,

где – матрица жесткости.

Матрица жесткости для элемента 3 имеет вид:

Отсюда уравнение жесткости

Вектор узловых перемещений:

Таким образом:

Вычисление углов  и :

Окончательно, вектор узловых перемещений будет иметь вид:

По условию мал*о*сти углов:

Нахождение угла из треугольника

Нахождение жесткости:

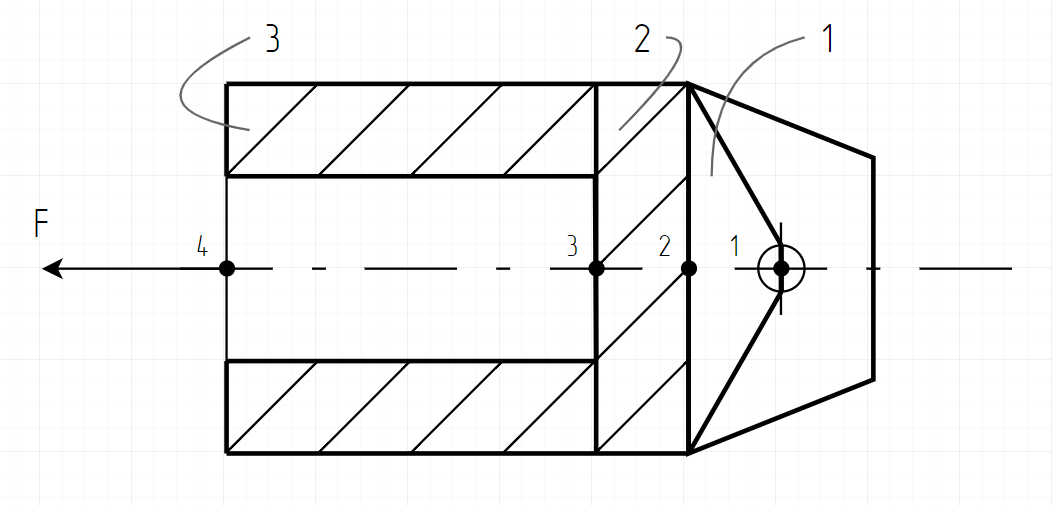
Нахождение

Поскольку углы и малы:

## Звено 2: Камень кулисы

Может работать на растяжение-сжатие.

С помощью аппроксимации получен стержень переменного сечения, который можно разбить на 3 конечных элемента.



*Рисунок 81 – Разбиение звена 2 на конечные элементы.*

Сила F, приложенная к узлу 4 на растяжение, равна 1Н.

Жесткость упругого звена можно найти по закону Гука для узла его приложения.

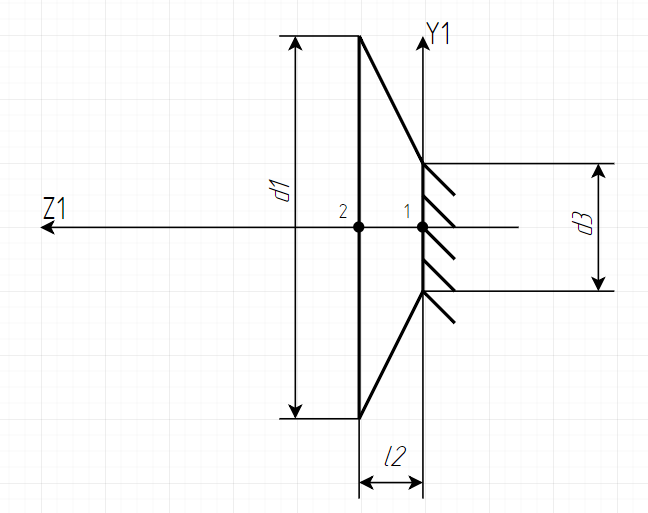
, где

F – внешняя сила,

w – перемещение.

Найдя перемещение узла 4, мы сможем определить жсткости стержня. Для этого необходимо составить глобальнум матрицу жесткости для всего элемента.

Конечный элемент 1:



*Рисунок 82 – Конечный элемент 1 звена 2*

Для подсчета перемещений можно воспользоваться общей формулой перемещений:

, где

– относительное перемещение вдоль оси Z,

– сила,

– функция площади поперечного сечения от координаты,

– модуль упругости,

– нормальное напряжение.

, где

– полином 1 степени.

– общий вид полинома 1 степени.

Т.о.,

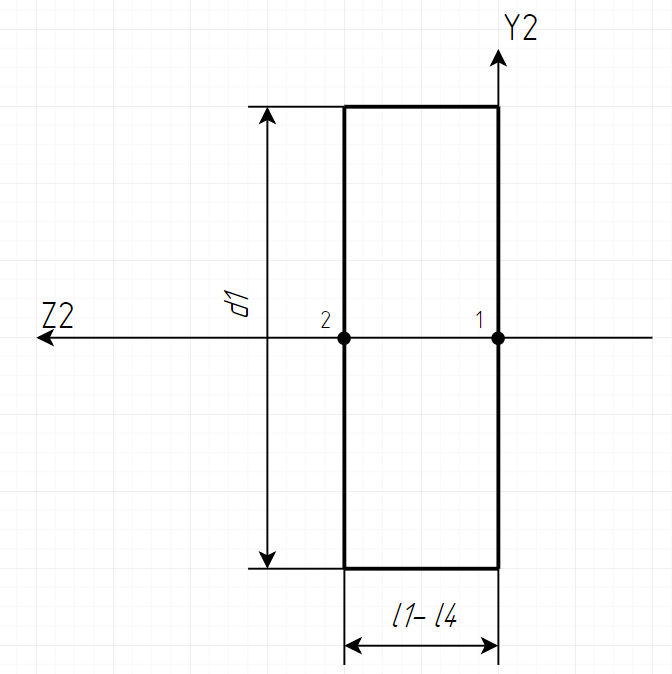
Отсюда .

В итоге возможно посчитать премещение узла 2:

;

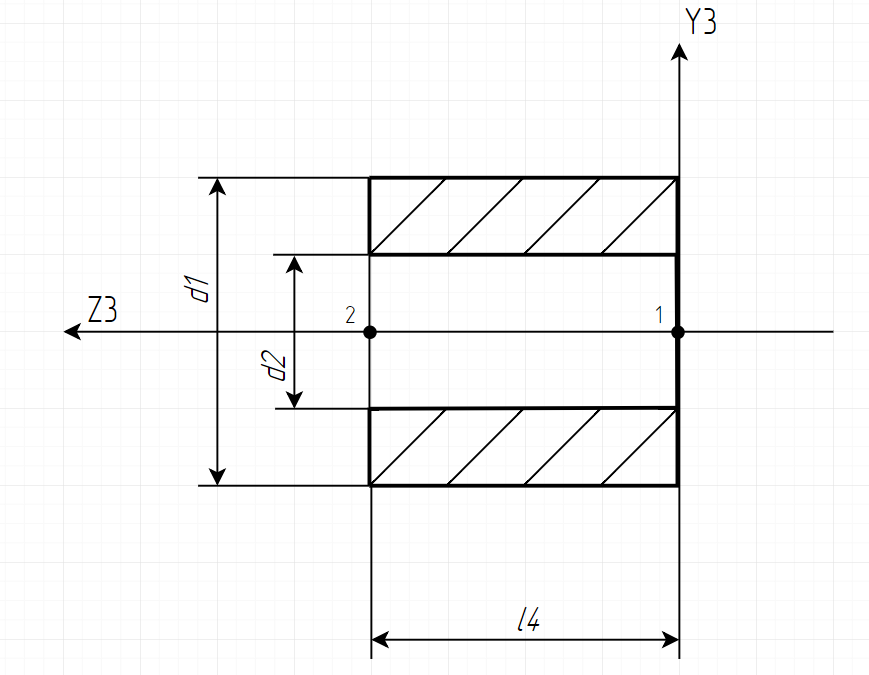
Поэтому

Конечный элемент 2:



*Рисунок 83 – Конечный элемент 2 звена 2*

Конечнй элемент 3:



*Рисунок 84 – Конечный элемент 3 звена 2*

Для составления глобальной матрицы жесткости необходимо составить таблицу индексов и объединить имеющиеся локальные матрицы жесткости с помозью операции ассемблирования.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Лок. элемент 1 | Лок. элемент 2 |
| **1** | 1 | 2 |
| **2** | 2 | 3 |
| **3** | 3 | 4 |

*Таблица 4 – Матрица индексов звена 2 на растяжение-сжатие*

Тогда глобальная матрица жесткости примет вид:

После наложения кинематических граничных условий глобальная матрица жесткости примет вид:

*,* где

– глобальная матрица жесткости для 2 звена,

– векстор узловых перемещений 2 звена,

– вектор узловых внешних сил;

Заключение

В домашнем задании был рассчитан трехрехзвенный шарнирный механизм. В итоге были получены следующие результаты:

\* Составлено описание работы трехзвенного шарнирного механизма, определены входные и выходные звенья

\* Составлена структурная схема механизма с абсолютно жёсткими звеньями и голономными связями. Для полученной схемы было определено число подвижностей на плоскости с использованием формулы Чебышёва. Было выделено 2 первичных механизмы, для каждого первичного механизма были выделены группы Ассура, также была проведена проверка правильности определения числа подвижностей.

\* Составлена структурная схему механизма с учетом различных вариантов упругости звеньев. Всего было найдено и описано 40 варианта механизмов. Для каждого варианта было определено число подвижностей на плоскости.

\* Были созданы геометрически параметризованные модели звеньев механизма.

\* Получены значения жесткостей для каждого из первичных механизмов по методу конечных элементов для случая растяжения-сжатия и изгиба. Для расчёта были использованы упрощения в геометрии, которые были обоснованы незначительными размерами исключённых элементов и упрощениями сложных форм. Для обеспечения работы механизма были определены условия сшивки.

Данная работа выполнена полностью на персональном компьютере с использованием следующего программного обеспечения:

\* Autodesk Inventor Professional 2017,

\* Microsoft Word 2016

Список литературы

1. Григорьев А.Ю., Молчанов Ю.С. Теория механизмов и машин. Структурный анализ механизмов: Учеб.-метод. пособие. СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. 30 с

2. Тимофеев, Г. А. Теория механизмов и машин : курс лекций / Г. А. Тимофеев. — М.:ИД Юрайт, 2010. — 351 с. — (Основы наук).

3. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин: Учеб. для втузов. — 4-е изд., перераб. и доп. -М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. -640 с.

4. ГОСТ 2.105-95 Общие требования к текстовым документам.

5. ГОСТ Р 7.0.5—2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления