

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет имени И. Т. Трубилина»**

Факультет гидромелиорации

Кафедра сопротивления материалов

**КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ
ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА**

Методические указания

по организации контактной и самостоятельной работы

для обучающихся направления

20.04.02 Природообустройство и водопользование,

направленность «Мелиорация, рекультивация

и охрана земель»

Краснодар
КубГАУ
2022

Составители: М. А. Бандурин, В. А. Волосухин

Компьютерное проектирование и моделирование систем природообустройства : метод. указания к выполнению расчетно-графических работ / сост. М. А. Бандурин, В. А. Волосухин. – Краснодар : КубГАУ, 2022. – 56 с.

В методических указаниях изложена разработка методов определения внутренних усилий возникающих в элементах гидротехнических сооружений, а также в машинах и оборудовании природообустройства и защиты окружающей среды, под действием внешних нагрузок, температурных изменений, неточностей монтажа, осадки опор, широко используются положения установленные теоретической механикой, сопротивлением материалов и строительной механикой.

Предназначены для магистрантов направления подготовки 20.04.02 Природообустройство и водопользование, направленность «Мелиорация, рекультивация и охрана земель».

Рассмотрено и одобрено методической комиссией факультета гидромелиорации Кубанского госагроуниверситета.

Председатель
методической комиссии

А. Е. Хаджиди

- © Бандури М. А.
Волосухин В. А.,
составление, 2022
- © ФГБОУ ВО «Кубанский
государственный аграрный
университет имени
И. Т. Трубилина», 2022

ПРАВИЛА ВЫБОРА ВАРИАНТОВ ЗАДАНИЙ

Расчётно-графическая работа включает в себя четыре задачи: «Расчёт статически неопределимой неразрезной балки», «Расчёт плоской фермы», «Расчёт плоской рамы», и «Расчёт вала при изгибе с кручением». К каждой задаче дается 10 схем и одна или две таблицы, содержащая дополнительные условия к тексту задачи.

После получения индивидуального шифра задания на кафедре, студент выбирает номер схемы и данные к задаче согласно выданного шифра; например, если шифр 207, то складывая все цифры $2+0+7=9$ получаем номер схемы 9 для всех задач, а числовые данные к каждой задаче выписываются из таблиц согласно второй цифре шифра (пример - 0) и третьей цифре шифра (пример - 7).

ЗАДАЧА 1

Тема «Расчёт статически неопределимой неразрезной балки»

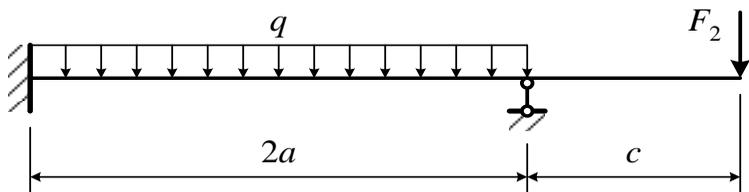
Для статически неопределимой неразрезной балки требуется:

1. Разбить статически неопределимую неразрезную балку на узлы и элементы.
2. Подготовить исходные данные в пакетном режиме для счета на ПЭВМ.
3. Ввести исходные данные в ПЭВМ.
4. Выполнить статический расчет на ПЭВМ и получить результаты вычислений перемещений узлов и расчётных усилий в стержнях балки.
5. Подобрать размеры поперечного сечения статически неопределимой неразрезной балки в виде: круга, квадрата, прямоугольника, кольца, двутавра и двух швеллеров (при $\sigma_{adm} = 160$ МПа).

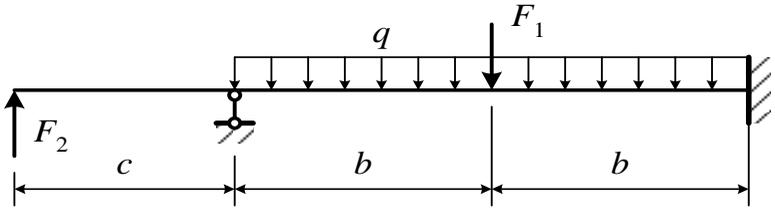
Таблица 1 (вторая цифра шифра)	..0..	..1..	..2..	..3..	..4..	..5..	..6..	..7..	..8..	..9..
a , м	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8
b , м	4.8	4.6	4.4	4.2	4.0	3.8	3.6	3.4	3.2	3.0
c , м	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8

Таблица 2 (третья цифра шифра)	...0	...1	...2	...3	...4	...5	...6	...7	...8	...9
q , кН/м	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8
F_1 , кН	50	40	30	20	10	20	30	40	50	60
F_2 , кН	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
M_1 , кН·м	10	12	14	16	18	20	18	16	14	12
M_2 , кН·м	40	30	20	10	20	30	40	30	20	10

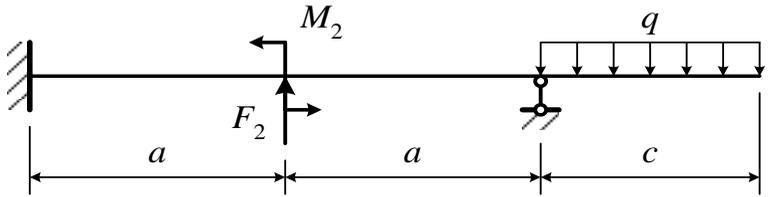
①



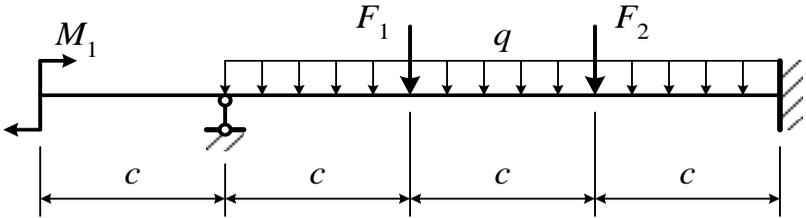
①



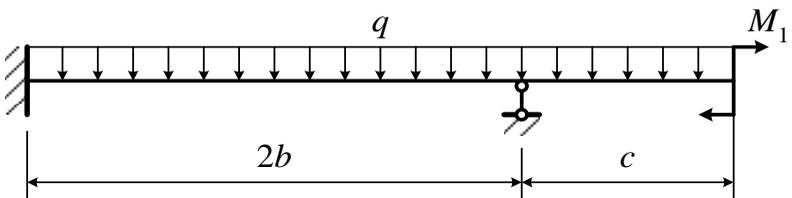
②



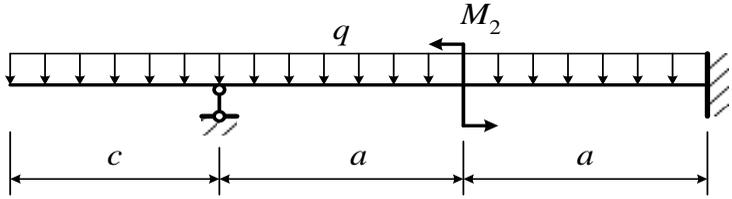
③



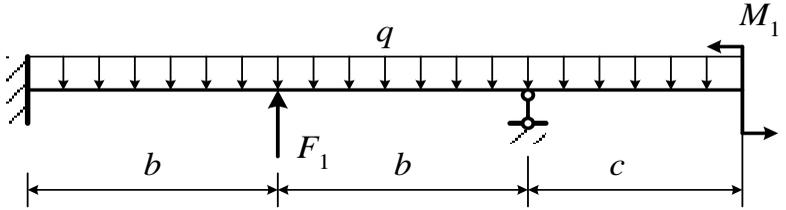
④



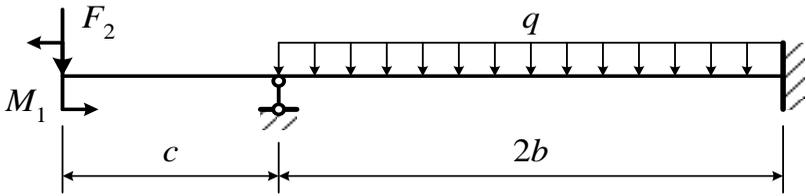
⑤



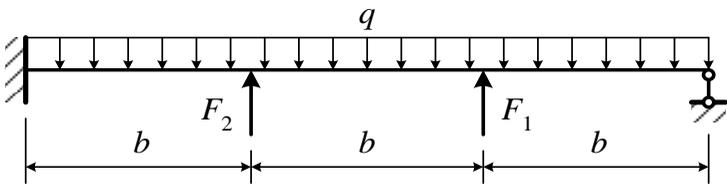
⑥



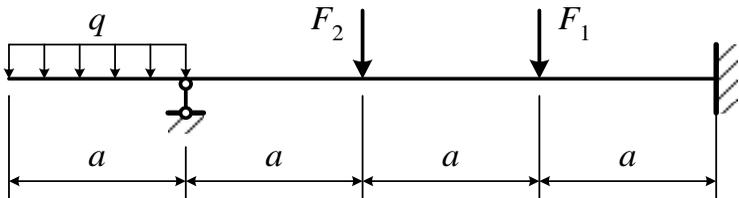
⑦



⑧



⑨



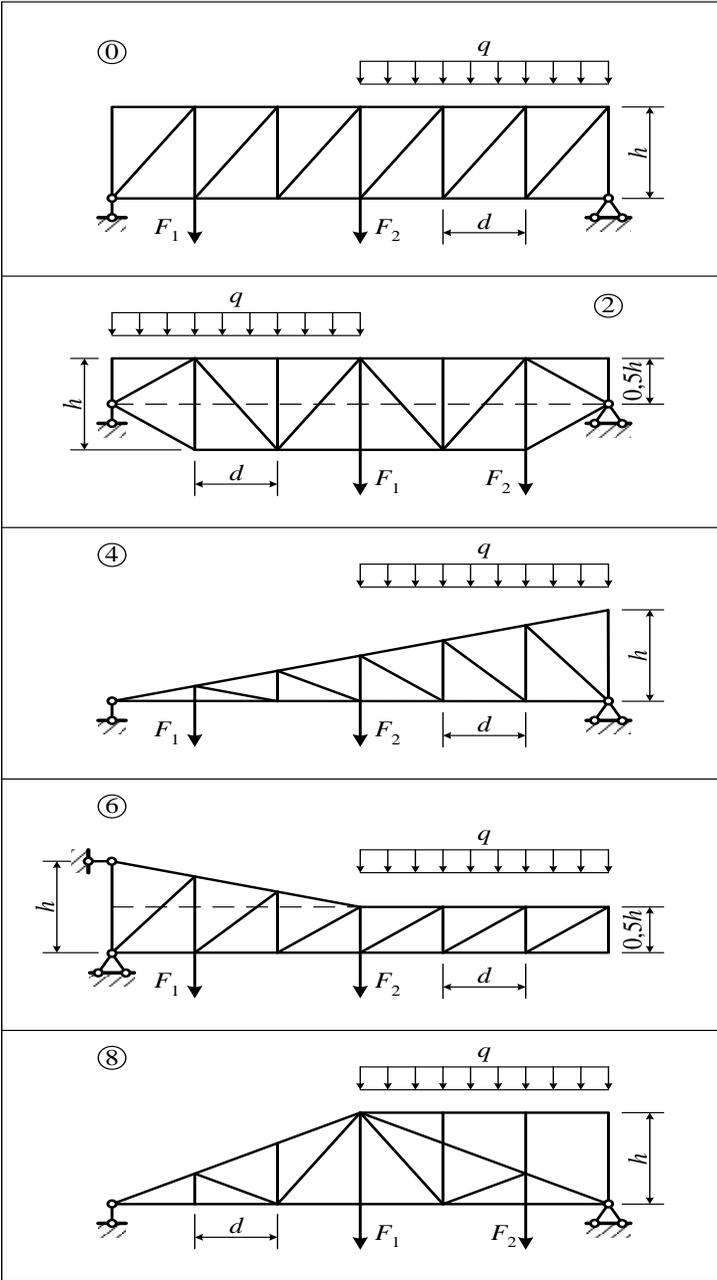
ЗАДАЧА 2

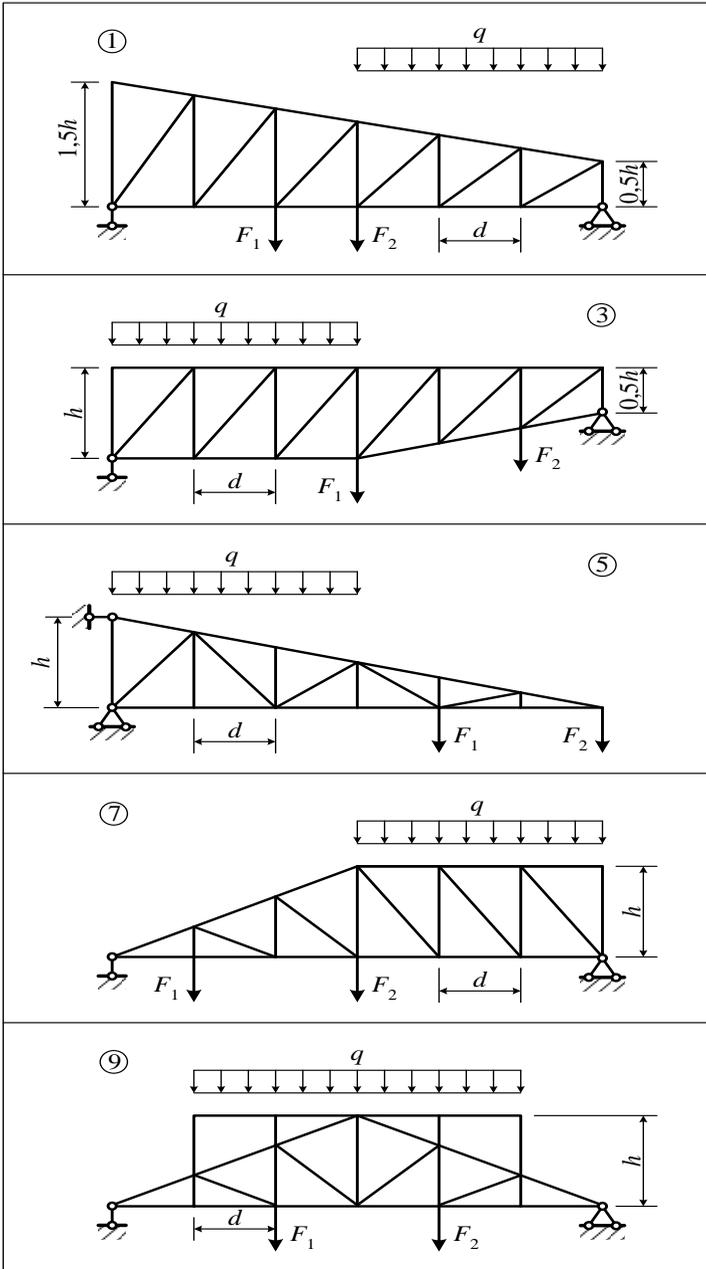
Тема «Расчёт плоской фермы»

Для плоской фермы требуется:

1. Разбить плоскую ферму на узлы и элементы.
2. Привести равномерно распределенную нагрузку к узловой.
3. Подготовить исходные данные в пакетном режиме для счета на ПЭВМ.
4. Ввести данные и выполнить статический расчет на ПЭВМ.
5. Подобрать поперечные сечения стержней, считая $\sigma_{adm} = 160$ МПа.
6. Поперечные сечения стержней принять в виде двух равнополочных уголков.
7. Проверить устойчивость сжатых стержней (коэффициент запаса $k = 1,5$)

Таблица 1 (третья цифра шифра)	...0	...1	...2	...3	...4	...5	...6	...7	...8	...9
d , м	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	0.6	0.8	1.0	1.2
h , м	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	0.8	1.0	1.2	1.4	1.5
q , кН/м	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	1.5	1.6	1.2	1.4	1.5
F_1 , кН	5.2	6.1	5.4	7.3	8.2	6.6	7.5	5.4	6.5	4.4
F_2 , кН	6.3	5.6	4.2	3.6	9.2	8.0	4.8	5.6	7.5	8.2





ЗАДАЧА 3

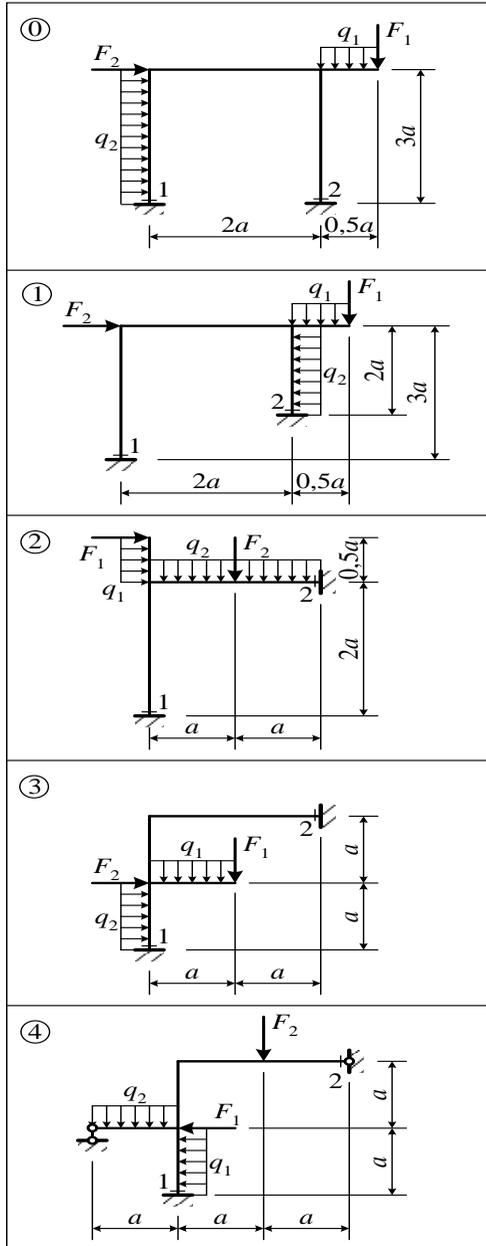
Тема «Расчет плоской рамы»

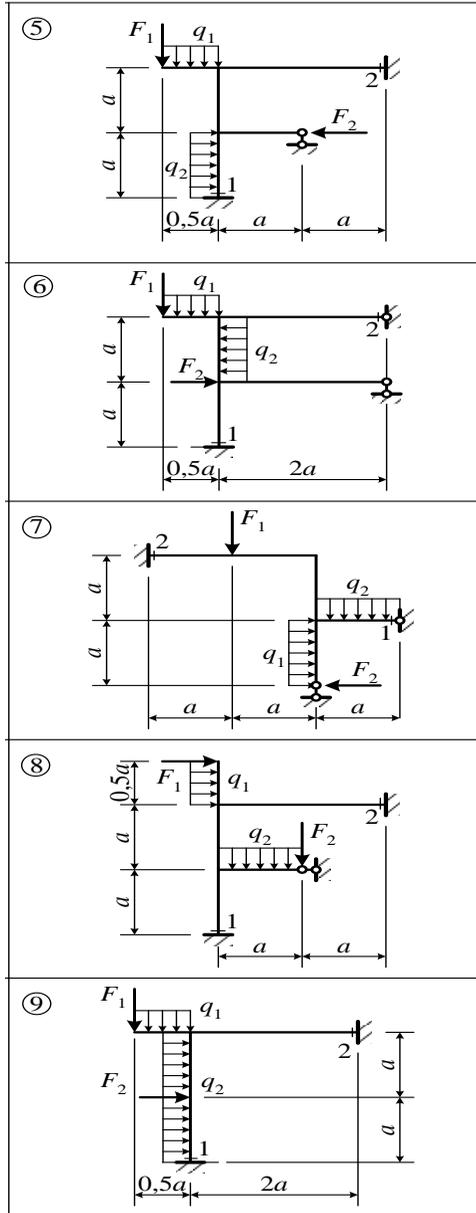
Для плоской рамы требуется:

1. Разбить плоскую раму на узлы и элементы.
2. Выделить вертикальные стержни от горизонтальных, отдельно рассмотреть шарнир опирания.
3. Подготовить исходные данные в пакетном режиме для счета на ПЭВМ.
4. Ввести данные и выполнить статический расчет на ПЭВМ.
5. Подобрать поперечные сечения стержней, считая $\sigma_{adm} = 160$ МПа для горизонтальных стержней и $\sigma_{adm} = 100$ МПа для вертикальных стержней.
6. Поперечные сечения горизонтальных стержней принять в виде двутавра, а вертикальных в виде двух равнополочных уголков.
7. Проверить устойчивость сжатых стержней (коэффициент запаса $k = 1,7$)

Таблица 1	..0..	..1..	..2..	..3..	..4..	..5..	..6..	..7..	..8..	..9..
a , м	1.6	1.8	2.0	1.4	1.5	2.5	2.6	2.2	2.4	3.0
F_1 , кН	0	6.0	0	8.0	0	10.0	0	5.0	0	4.0
F_2 , кН	10.0	0	4.0	0	12.0	0	8.0	0	6.0	0

Таблица 2	...0	...1	...2	...3	...4	...5	...6	...7	...8	...9
q_1 , кН/м	0	2.0	0	1.5	0	1.8	0	1.2	0	1.0
q_2 , кН/м	2.2	0	1.6	0	1.4	0	2.0	0	2.4	0
Шарнир в сечении	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2





ЗАДАЧА 4

Тема «Расчет вала при изгибе с кручением»

Шестерня диаметром D , с углом наклона силы F_1 к горизонту α , делает, делает n об/мин и передает мощность N квт. Две других шестерни имеют диаметр D_2 , угол наклона сил F_2 к горизонту α_2 и передают мощность $N/2$.

Для расчёта вала требуется:

1. Определить силы, Изгибающие вал в горизонтальной и вертикальной плоскости.

2. Подготовить исходные данные в пакетном режиме для счета на ПЭВМ.

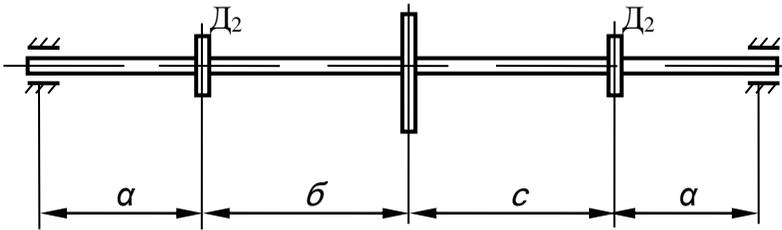
3. Ввести данные и выполнить статический расчет на ПЭВМ.

4. Подобрать диаметр вала (при $\sigma_{adm} = 400$ МПа) и округлить его величину.

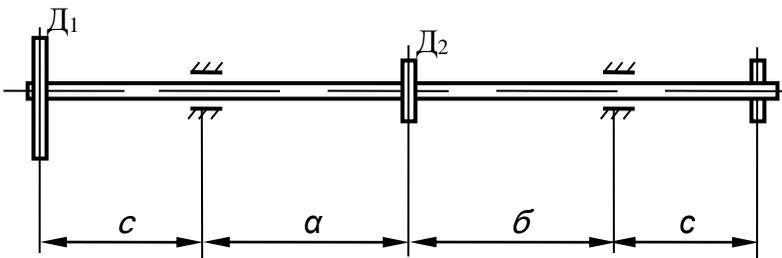
Таблица 1	..0..	..1..	..2..	..3..	..4..	..5..	..6..	..7..	..8..	..9..
a , мм	200	300	400	500	200	300	400	500	200	300
b , мм	400	300	200	100	500	400	300	100	500	400
c , мм	100	200	300	400	200	300	400	500	100	200
D_1 , мм	400	320	340	360	280	300	220	240	250	380
D_2 , мм	300	260	220	200	160	140	120	100	180	280

Таблица 2	...0	...1	...2	...3	...4	...5	...6	...7	...8	...9
N , кВт	100	90	80	120	130	140	110	100	90	80
n , об/мин	500	300	1000	400	600	800	100	1200	1100	1000
α , град.	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10
α_2 , град	10	20	30	40	50	60	70	80	90	0

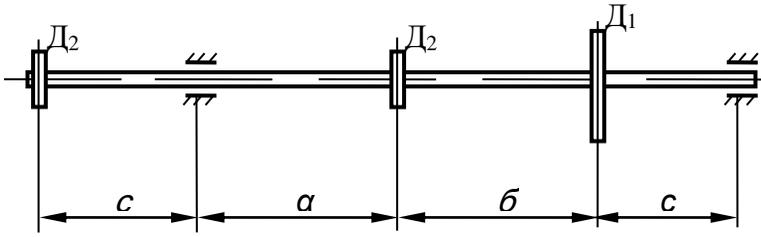
①



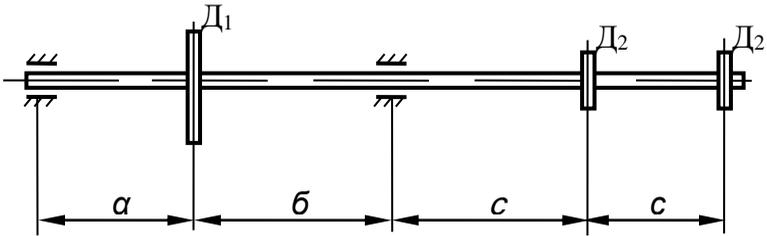
①



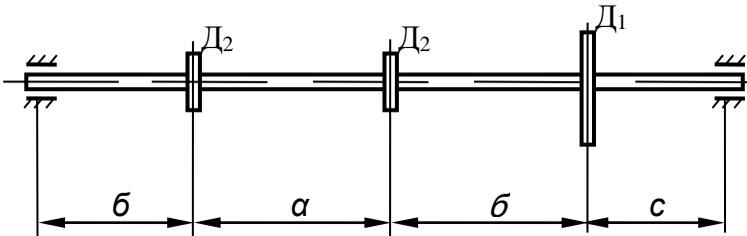
②



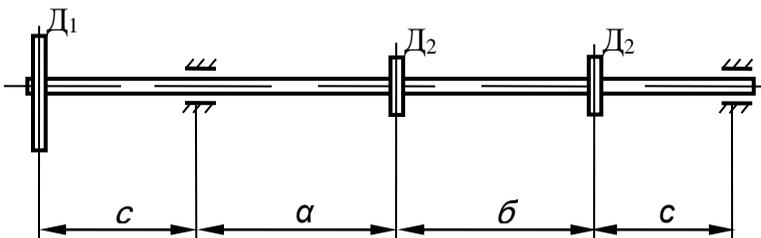
③



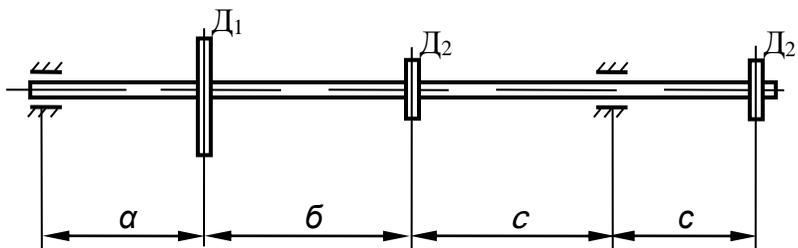
④



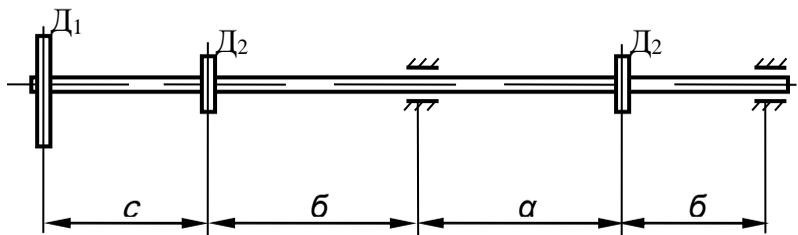
⑤



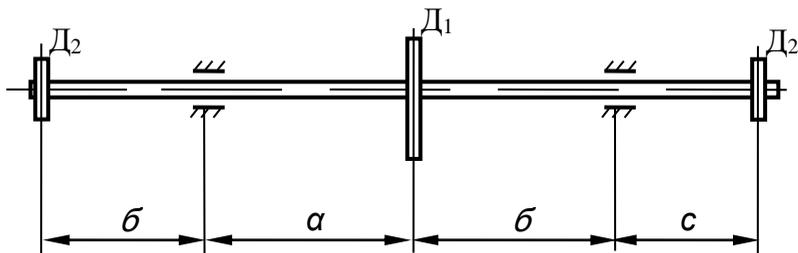
⑥



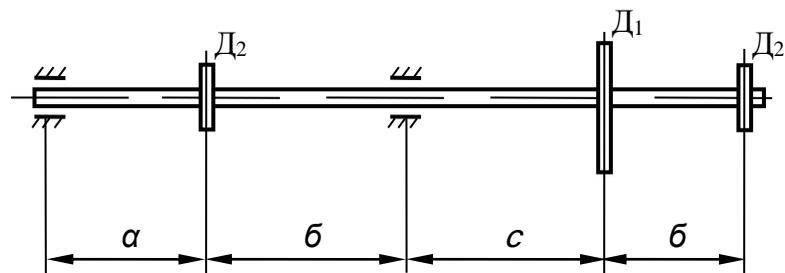
⑦



⑧



⑨



ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПРИ РАСЧЕТЕ КОНСТРУКЦИЙ, МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, НА ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SCAD Office, НА ПРИМЕРЕ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОЙ НЕРАЗРЕЗНОЙ БАЛКИ

Исходная информация о неразрезной балке готовится в виде отдельных массивов, именуемых документами. Выбирается глобальная система координат XYZ. Балка располагается в плоскости XOZ, ось OX направлена вдоль оси балки.

Балка разбивается на стержневые конечные элементы, признаками которых является изменение нагрузки, характера закреплений, изменения жесткости, необходимость определения перемещений в заданных точках (так же как деление на участки при построении эпюр M и Q). Конечный элемент при расчете неразрезной балки представляет отрезок оси балки. Конечные элементы нумеруются 1, 2, ..., n, так же как и узловые точки (точки, в которых соединены концы элементов, в том числе в начале и в конце стержней). 1, 2, ..., n.

Нагрузка, действующая по всей длине элемента, описывается в местной системе координат, сосредоточенные силы и моменты, приложенные в узлах, в глобальной. Для каждого элемента, в зависимости от приложенной нагрузки. Назначается количество сечений, в которых определяются внутренние усилия.

Некоторые общие особенности формирования массивов исходных данных документов:

1. Каждый документ заключается в круглые скобки “(“ – начало документа, “)” – конец документа, за символом “(“ следует номер документа и косая черта “/”.
2. Информация в документах разделяется на строки, отделенные друг от друга символом “/”.

3. Числа в строке отделяются друг от друга пробелами, дробная часть числа от целой отделяется точкой.

4. Направления перемещений, усилий, связей и степеней свободы имеют единые обозначения. Цифры 1, 2, 3 соответствуют направлениям линейных смещений связей и нагрузок вдоль осей X, Y, Z; 4, 5, 6 – угловым смещениям, связям и моментам относительно тех же осей.

Краткая характеристика документов для расчета статически неопределенной неразрезной балки

Документ 0. “Заглавный”

Состоит из семи строк, которые нумеруются, а номер строки отделяется от самой строки символом “;” (точка с запятой). В некоторых строках помещены нумерованные списки, отделяемы друг от друга “:” (двоеточие).

Характеристики используемых в документе строк:

Строка 1 – шифр задачи. Например: Расчет неразрезной балки.

Строка 2 – признак системы. Используется индекс 2 – система, каждый узел которой содержит три степени свободы – линейные перемещения вдоль осей X, Z и поворот относительно оси Y. Система располагается в плоскости XOZ.

Строка 4 – организация вычисления усилий в промежуточных сечениях и реакций в узлах. В этой строке указывается число сечений элемента (включая концевые), далее следует символ “:” и перечисляются элементы, для которых необходимо указанное деление. Списки записываются, каждый в отдельной строке, и отделяются друг от друга “:”.

Документ 1 “Элементы”

В этом документе описывается все конечные элементы в соответствии с нумерацией, принятой на расчетной схеме. Каждому элементу отводится строка из шести позиций.

Первая позиция – тип конечного элемента – 2,

Вторая позиция – номер строки документа 3, в котором перечислены жесткостные характеристики этого элемента – ЕА,ЕJ.

В остальных – номера узлов, относящихся к рассматриваемому элементу. Каждая строка отделяется от другой символом “/” (косая черта).

Документ 2 “Условия примыкания”

Каждая строка содержит три графы, В первой указывается номер элемента, где расположен шарнир. Во второй графе ставится цифра 1 или 2, чтобы указать где именно расположен шарнир в начале элемента (1) или в конце (2), в третьей графе указываем, что опорные закрепления балки описываются в документе 5.

Документ 3 “Характеристики жесткости”

В первой графе указывается номер типа жесткости, соответствующий номеру, указанному во второй графе документа 1. Для элемента типа 2 далее приводятся жесткости на растяжение (ЕА) и изгиб (ЕJ). Для балки постоянной жесткости можно указать для ЕА – 1, как для ЕJ – 1.

Документ 4 “Координаты”

Каждая строка содержит три графы, в которых указываются координаты узлов в порядке их нумерации на расчетной схеме. Каждая строка отделяется от другой “/” (косая черта). Строки могут быть записаны в линию.

Документ 5 “Связи”

Каждая строка документа содержит семь позиций. Первая – номер узла, на которой накладываются связи. В остальных шести номера удаленных степеней свободы (1,2,3 – линейные связи по осям X, Y, Z, 4,5,6 – связи, препятствующие угловым смещениям относительно осей X, Y, Z). Строки отделяются “/”.

Документ 6 “Типы нагрузок”

Каждая строка соответствует одному типу нагрузки, содержит 5 позиций.

Первая – номер нагруженного узла или элемента.

Вторая – вид нагрузки.

0 – узловая (сила или момент), ориентированная относительно глобальных осей координат.

6 – равномерно распределенная в местной системе координат.

Третья – направление нагрузки (1,2,3 – сосредоточенная или распределенная q по осям X, Y, Z , 4,5,6 – моменты относительно осей X, Y, Z).

Четвертая – номер строки документа 7, в которой приведены числовые значения нагрузки.

Пятая – номер загрузки, которому принадлежит данная нагрузка (при расчете по одной комбинации нагрузок – 1).

Документ 7 “Величины нагрузок”

Каждая строка может состоять из 5 позиций.

Первая позиция – номер параметра нагрузки, соответствующий, по мере в позиции 4 документа 6.

В остальных позициях записывается величина нагрузки, при следующем правиле знаков внешних воздействий:

1. Сосредоточенные силы и распределенные нагрузки положительны, если их направления противоположны направлениям соответствующих осей (глобальной или местной системы координат).
2. Моменты положительны, если при взгляде с положительного направления соответствующей оси их направления совпадают с направлением движения часовой стрелки.

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАЧИ 1

Текстовый файл с исходными данными для расчёта статически неопределимой неразрезной балки

```
(0/1;Пример расчёта неразрезной балки/
2;2/
4;2:3 4 5;5:1 2/
5;2/
6;/)
(1/2 1 1 2/2 1 2 3/2 1 3 4/2 1 4 5/)
(3/1 1000 1000/)
(4/0 0 0/3.2 0 0/6.4 0 0/9.6 0 0/12.8 0 0/)
(5/2 3/5 1 3 5/)
(6/3 0 3 2 1/4 0 3 3 1/1 6 3 1 1/)
(7/1 1.8/2 6/3 10/)
```

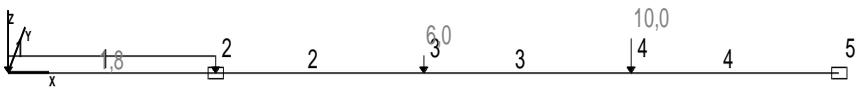


Рис. 1 – Расчетная схема неразрезной балки

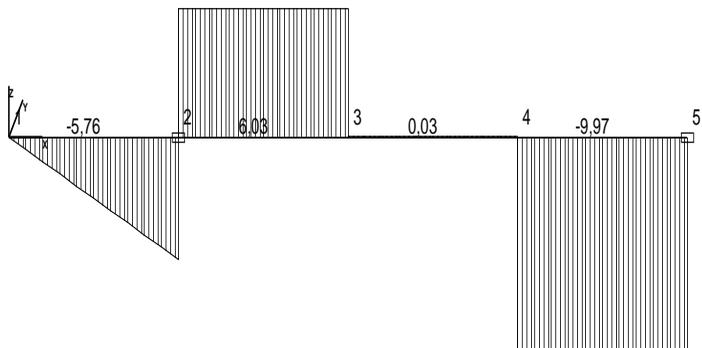


Рис. 2 – Эпюра перерезывающих усилий

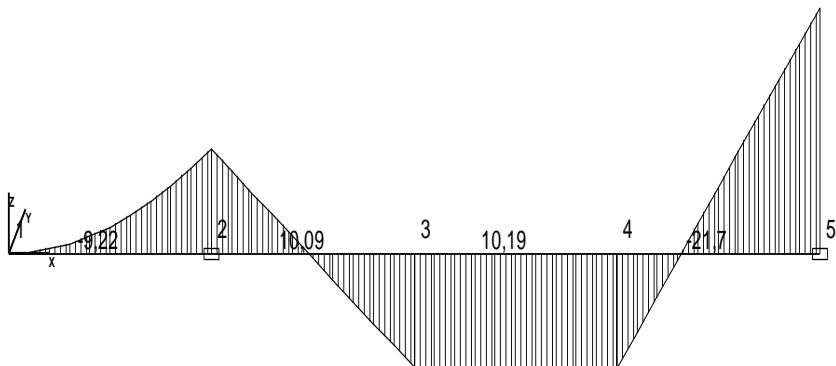


Рис. 3 – Эпюра изгибающих моментов

Максимальные усилия элементов расчетной схемы, Н, м								
Наименование	МАХ+				МАХ-			
	Значение	Номер эл-та	Номер сечения	Номер загрузки	Значение	Номер эл-та	Номер сечения	Номер загрузки
N	0,	4	3	1	0,	4	3	1
Mk	0,	4	3	1	0,	4	3	1
My	,003260	4	1	1	-,002212	4	3	1
Qz	,000614	2	3	1	-,001016	4	3	1
Mz	0,	4	3	1	0,	4	3	1
Qy	0,	4	3	1	0,	4	3	1

Усилия и напряжения элементов, Н, м								
Номер эл-та	Номер сечен.	Номер загруз.	Усилия и напряжения					
			N	Mk	My	Qz	Mz	Qy
	2	1	0,	0,	-,000234	-,000293	0,	0,
	3	1	0,	0,	-,000939	-,000587	0,	0,
2	1	1	0,	0,	-,000939	,000614	0,	0,
	2	1	0,	0,	,000044	,000614	0,	0,
	3	1	0,	0,	,001028	,000614	0,	0,
3	1	1	0,	0,	,001028	,000003	0,	0,
	2	1	0,	0,	,001033	,000003	0,	0,

Усилия и напряжения элементов, Н, м								
Номер эл-та	Номер сечен.	Номер загруз.	Усилия и напряжения					
			N	Mk	My	Qz	Mz	Qy
	3	1	0,	0,	,003260	,000003	0,	0,
4	1	1	0,	0,	,003260	-,001016	0,	0,
	2	1	0,	0,	-,000586	-,001016	0,	0,
	3	1	0,	0,	-,002212	-,001016	0,	0,

Определяем максимальное напряжение возникающее в поперечном сечении неразрезной балки выполненной в виде круга:

$$G_{\max} = \frac{32.6 \cdot 10^3}{215.7} = 151.1 \text{ МПа};$$

5) Определяем размеры поперечного сечения неразрезной балки выполненной в виде кольца, при $\frac{d}{D} = 0.8$;

Определим размеры поперечного сечения неразрезной балки в виде кольца.

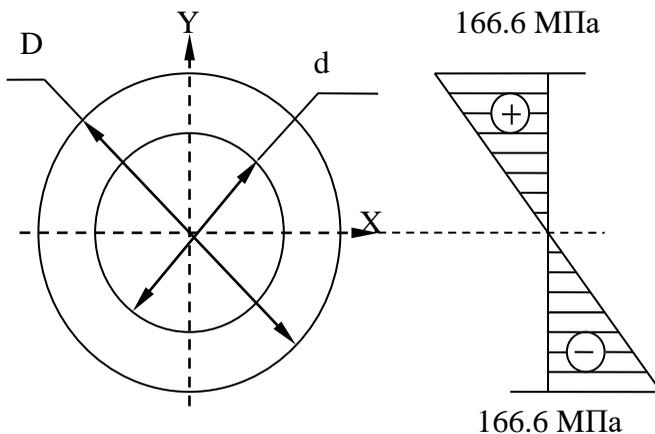
$$W_x = \frac{\Pi \cdot D^3}{32} (1 - c^4) \geq 203.75 \text{ см}^3;$$

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 203.75}{\Pi(1 - 0.8^4)}} = 15.2 \text{ см};$$

Принимаем размеры поперечного сечения неразрезной балки в виде кольца:

$$D = 15 \text{ см},$$

$$d = 12 \text{ см}$$



$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} (1 - c^2) = \frac{3.14 \cdot 15^2}{4} (1 - 0.8^2) = 63.62 \text{ cm}^2;$$

$$W_x = \frac{\pi \cdot D^3}{32} (1 - c^4) = \frac{3.14 \cdot 15^3}{32} (1 - 0.8^4) = 105.6 \text{ cm}^3;$$

Определяем максимальное напряжение возникающее в поперечном сечении неразрезной балки выполненной в виде кольца:

$$G_{\max} = \frac{32.6 \cdot 10^3}{105.6} = 166.6 \text{ МПа};$$

$$\frac{6,6}{160} \cdot 100\% = 4,15\%;$$

Так как перенапряжение составило менее 5%, то оставляем данные размеры ($D = 15 \text{ cm}$, $d = 12 \text{ cm}$) кольца.

Сравнение материалоемкости различных поперечных сечений неразрезной балки

Где (K_i) - коэффициент материалоемкости

$$K_i = \frac{A_i}{A_{\min}}; \quad A_{\min} = 28.9 \text{ cm}^2;$$

Сечение	A, см ²	K _i
Двутавр № 20а	28.9	1
Два швеллера № 16а	39.9	1.35
Прямоугольник (h = 14см; b = 7см)	98	3.39
Круг (d = 13см)	132.7	4.59
Кольцо (D = 15см, d=12 см)	63.62	2.2

Наиболее выгодным поперечным сечением неразрезной балки судя по таблице сравнения материалоемкости является двутавр № 20а.

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ 2

Текстовой файл с исходными данными для расчёта плоской фермы

(0/1;Пример расчёта плоской фермы/
2;1/
4;2:1-21/
5;2:/
6;/)
(1/1 1 1 2/1 1 1 3/1 1 2 3/1 1 2 4/1 1 2 5/1 1 3 5/1 1 4 5/1 1 4 6/
1 1 5 6/1 1 5 7/1 1 6 7/1 1 6 8/1 1 6 9/1 1 7 9/1 1 8 9/1 1 8 10/
1 1 9 10/1 1 9 11/1 1 10 11/1 1 10 12/1 1 11 12/)
(3/1 1000 1000/)
(4/0 0 0/1.2 0 0.7/1.2 0 -0.7/2.4 0 0.7/2.4 0 -0.7/3.6 0 0.7/3.6 0 -
0.7/
4.8 0 0.7/4.8 0 -0.7/6 0 0.7/6 0 -0.7/7.2 0 0/)
(5/1 1 3/12 3/)
(6/7 0 3 1 1/11 0 3 2 1/1 0 3 3 1/6 0 3 3 1/2 0 3 4 1/4 0 3 4 1/)
(7/1 8.2/2 9.2/3 1.2/4 2.4/)

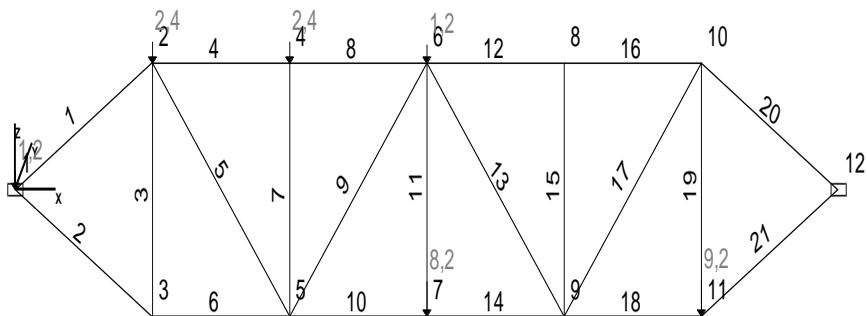


Рис. 4 – Расчётная схема плоской фермы

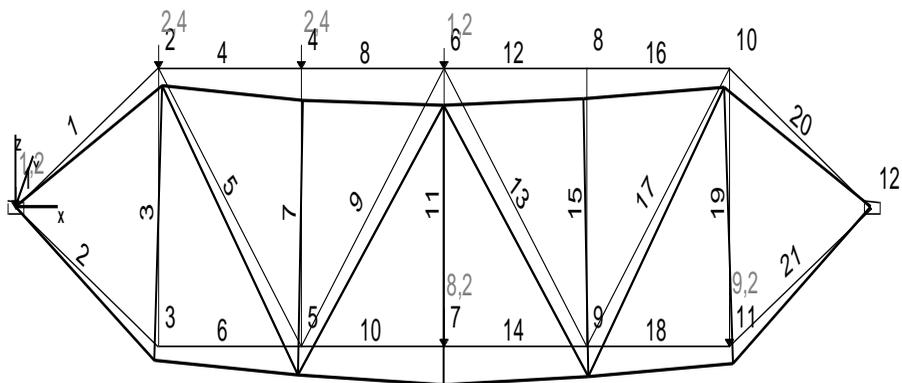


Рис. 5 - Расчётная схема плоской фермы с деформацией

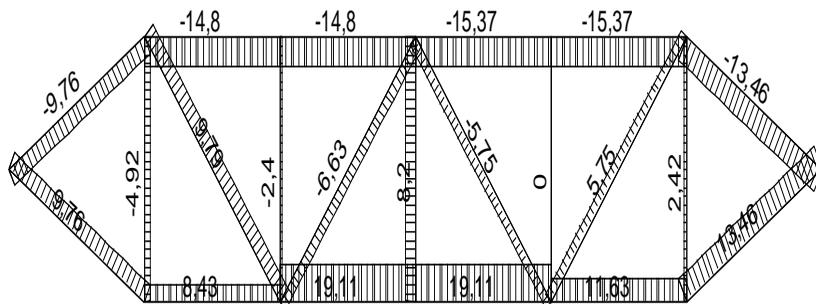


Рис. 6 – Эпюра растягивающих (сжимающих) усилий

Максимальные усилия элементов расчетной схемы, Н, м								
Наим-вание	МАХ+				МАХ-			
	Значение	Номер эл-та	Номер сече-ния	Номер загруз-жения	Значение	Номер эл-та	Номер сече-ния	Номер загруз-жения
N	19,1142	14	2	1	-15,3714	16	2	1
M	0,	21	2	1	0,	21	2	1
Q	0,	21	2	1	0,	21	2	1

Усилия и напряжения элементов, Н, м					
Номер эл-та	Номер сечен.	Номер загруз.	Усилия и напряжения		
			N	M	Q
1	1	1	-9,75778	0,	0,
	2	1	-9,75778	0,	0,
2	1	1	9,75778	0,	0,
	2	1	9,75778	0,	0,
3	1	1	-4,91666	0,	0,
	2	1	-4,91666	0,	0,
4	1	1	-14,8	0,	0,
	2	1	-14,8	0,	0,
5	1	1	9,79027	0,	0,
	2	1	9,79027	0,	0,
6	1	1	8,42857	0,	0,
	2	1	8,42857	0,	0,
7	1	1	-2,4	0,	0,
	2	1	-2,4	0,	0,
8	1	1	-14,8	0,	0,
	2	1	-14,8	0,	0,
9	1	1	-6,62929	0,	0,
	2	1	-6,62929	0,	0,
10	1	1	19,1142	0,	0,
	2	1	19,1142	0,	0,
11	1	1	8,2	0,	0,
	2	1	8,2	0,	0,
12	1	1	-15,3714	0,	0,
	2	1	-15,3714	0,	0,
13	1	1	-5,75123	0,	0,
	2	1	-5,75123	0,	0,

Усилия и напряжения элементов, Н, м					
Номер эл-та	Номер сечен.	Номер загруз.	Усилия и напряжения		
			N	M	Q
14	1	1	19,1142	0,	0,
	2	1	19,1142	0,	0,
16	1	1	-15,3714	0,	0,
	2	1	-15,3714	0,	0,
17	1	1	5,75124	0,	0,
	2	1	5,75124	0,	0,
18	1	1	11,6285	0,	0,
	2	1	11,6285	0,	0,
19	1	1	2,41666	0,	0,
	2	1	2,41666	0,	0,
20	1	1	-13,4624	0,	0,
	2	1	-13,4624	0,	0,
21	1	1	13,4624	0,	0,
	2	1	13,4624	0,	0,

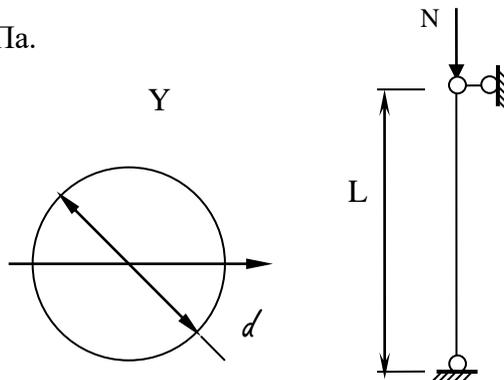
Подбор поперечного сечения стойки плоской фермы

Определим поперечное сечение стойки, найдем величину критической силы и коэффициент запаса на устойчивость.

$$N = 153,7 \text{ Н};$$

$$L = 1,2 \text{ м};$$

$$G_{adm} = 160 \text{ МПа}.$$



Определим геометрические характеристики сечения, выразим их через d :

$$A = \frac{\pi d^2}{4}; d = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}}; i_{\min} = \sqrt{\frac{J_{\min}}{A}};$$

$$\text{Гибкость стержня равна: } \lambda = \frac{\mu \cdot \ell}{i_{\min}} = \frac{1 \cdot \ell \sqrt{12}}{a};$$

Выполним первое приближение. Примем коэффициент продольного изгиба $\varphi_1 = 0,5$.

Проводим расчет на устойчивость:

$$A = \frac{N}{\varphi \cdot G_{adm}} = \frac{153,7}{0,5 \cdot 16} = 19,212 \text{ cm}^2;$$

Находим размеры поперечного сечения:

$$d = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{19,212 \cdot 4}{3,14}} = 4,94 \text{ cm};$$

$$\lambda = \frac{120 \cdot \sqrt{12}}{4,94} = 84,04 \Rightarrow \varphi' = 0,71;$$

Определим значения коэффициента продольного изгиба φ от гибкости.

λ	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
φ	1,00	0,96	0,92	0,86	0,75	0,6	0,45	0,36	0,24	0,23	0,19

В ходе проведенного расчёта коэффициент продольного изгиба φ полученный в конце не совпал с принятым в начале поэтому необходимо выполнить второе приближение

Выполним второе приближение:

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_1 + \varphi'}{2} = \frac{0,5 + 0,71}{2} = 0,60;$$

$$A = \frac{153.7}{0.60 \cdot 16} = 15.87 \text{ cm}^2; d = \sqrt{\frac{15.87 \cdot 4}{3.14}} = 4.49 \text{ cm};$$

$$\lambda = \frac{120 \cdot \sqrt{12}}{4.49} = 92.47 \Rightarrow \varphi^2 = 0.67;$$

Выполним третье приближение:

$$\varphi_3 = \frac{\varphi_1 + \varphi^2}{2} = \frac{0.60 + 0.67}{2} = 0.635;$$

$$A = \frac{153.7}{0.63 \cdot 16} = 15.08 \text{ cm}^2;$$

$$d = \sqrt{\frac{15.08 \cdot 4}{3.14}} = 4.38 \text{ cm}; \lambda = \frac{120 \cdot \sqrt{12}}{4.38} = 94.79; \Rightarrow \varphi^3 = 0.65;$$

Выполним четвертое приближение:

$$\varphi_4 = \frac{\varphi_3 + \varphi^3}{2} = \frac{0.63 + 0.65}{2} = 0.64;$$

$$A = \frac{153.7}{0.64 \cdot 16} = 15.01 \text{ cm}^2; d = \sqrt{\frac{15.01 \cdot 4}{3.14}} = 4.37 \text{ cm};$$

$$\lambda = \frac{120 \cdot \sqrt{12}}{4.37} = 95.01; \Rightarrow \varphi = 0.65;$$

В ходе выполненного четвертого приближения коэффициент продольного изгиба φ полученный в конце совпал с принятым в начале, принимаем размеры поперечного сечения стойки. $d = 4.4 \text{ см}$;

Определим критическую силу и наибольшее напряжение:

$$G_{\max} = \frac{N}{\varphi \cdot A} = \frac{153.7}{0.65 \cdot 15.01} = 157.6 \text{ МПа};$$

Определим критическую силу:

$$F_{\text{кр}} = \frac{\Pi^2 E J_{\min}}{(\mu \ell)^2} = \frac{9.86 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot 7.24^4}{12 \cdot 1^2 \cdot 1.2^4} = 354 \text{ Н};$$

Находим коэффициент запаса на устойчивость:

$$n_y = \frac{N_{кр}}{N} = \frac{354}{153.7} = 2.34$$

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ 3

Текстовый файл с исходными данными для расчёта плоской рамы

```
(0/1;Пример расчёта плоской рамы/
2;2/
4;2:2 3 4 5 10 11 12 13; 5: 1 6 7 8 9 14/
5;2:/
6;/)
(1/2 1 1 2/2 1 2 3/2 1 3 4/2 1 4 5/2 1 5 6/2 2 2 7/2 2 7 8/2
2 8 9/
2 2 9 10/2 2 5 11/2 2 11 12/2 2 12 13/2 2 13 14/2 1 8 12/)
(2/9 2 5/)
(3/1 1000 1000/2 2000 2000/)
(4/0 0 0/0.9 0 0/1.8 0 0/2.7 0 0/3.6 0 0/4.5 0 0/0.9 0 -
0.9/0.9 0 -1.8/
0.9 0 -2.7/0.9 0 -3.6/3.6 0 -0.9/3.6 0 -1.8/3.6 0 -2.7/3.6 0 -
3.6/)
(5/6 1 3 5/)
(6/1 0 3 1 1/8 0 1 2 1/1 6 3 3 1/6 6 3 4 1/
7 6 3 4 1/8 6 3 4 1/9 6 3 4 1/14 6 3 5 1/13 0 1 1 1/)
(7/1 6/2 10/3 2/4 2.4/5 -7.2/)
```

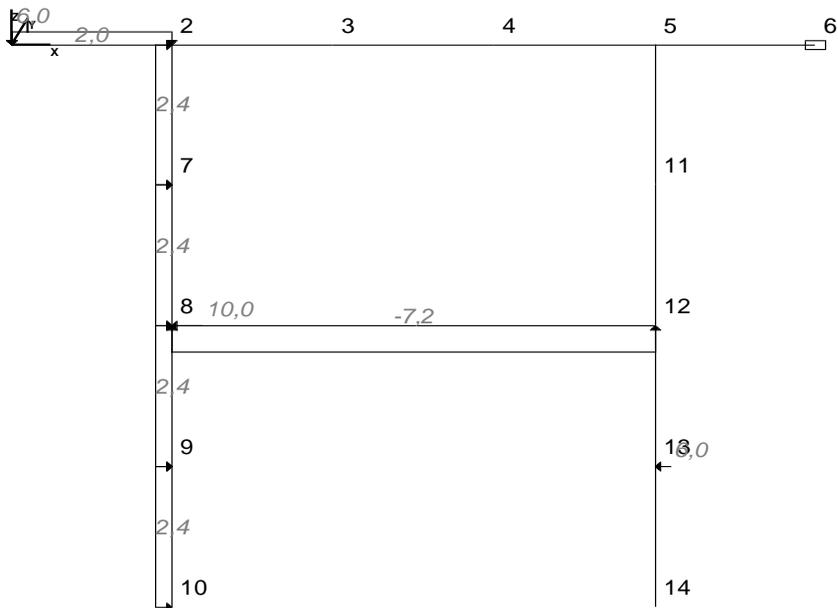


Рис. 7 – Расчётная схема плоской фермы

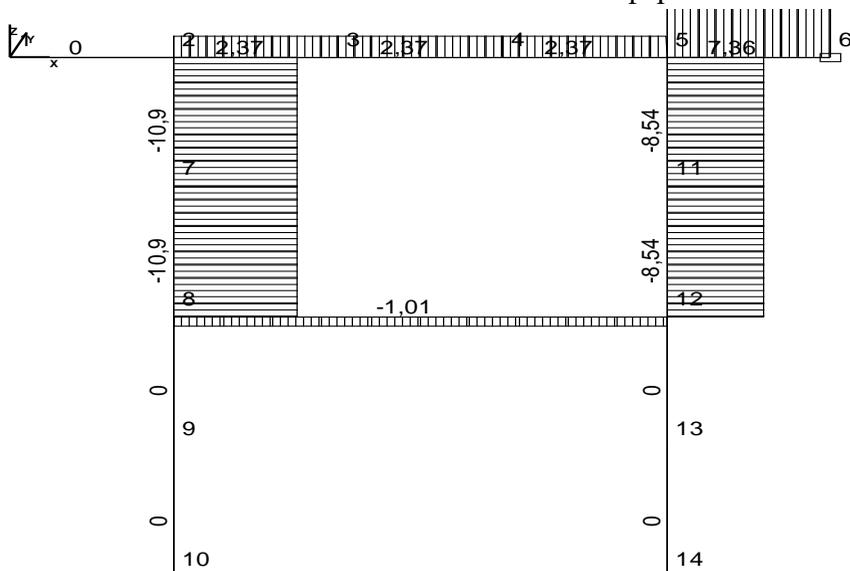


Рис. 8 – Эпюра растягивающих (сжимающих) усилий

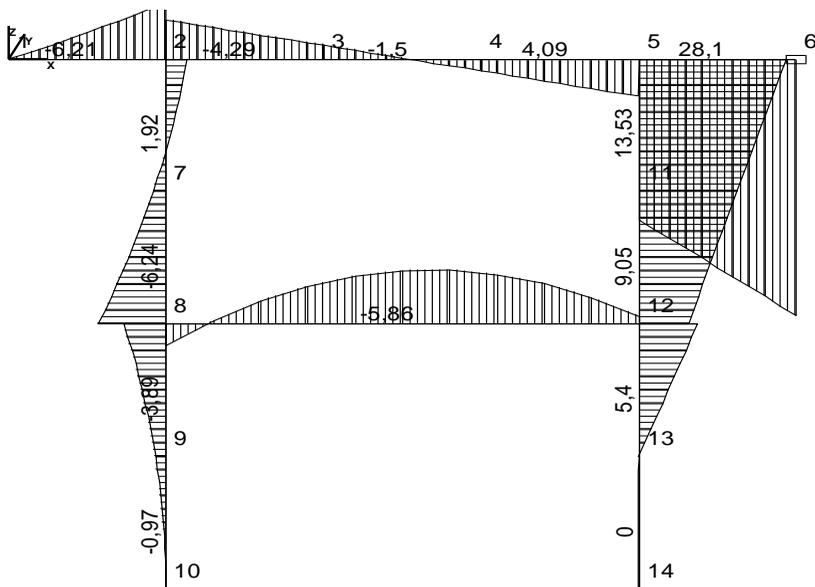


Рис. 9 – Эпюра изгибающих моментов

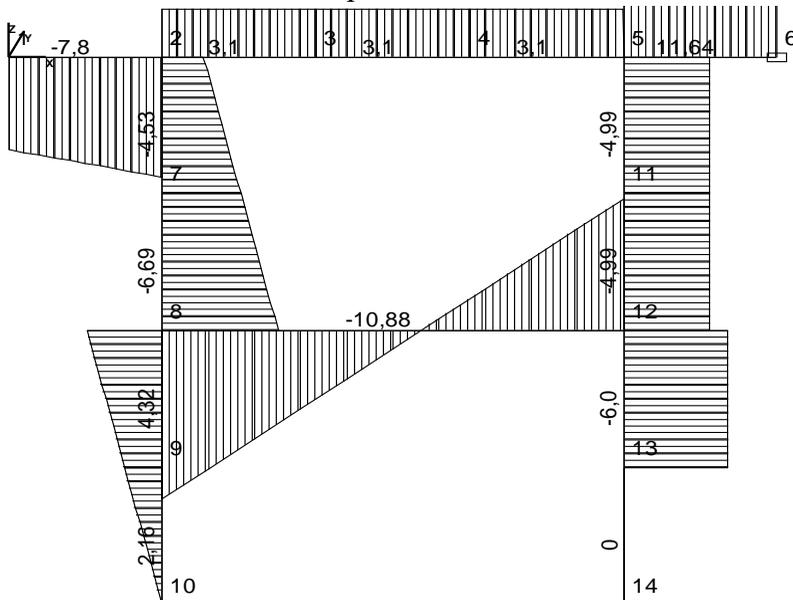


Рис. 10 – Эпюра перерезывающих усилий

Максимальные усилия элементов расчетной схемы, Н, м								
Наименование	МАХ+				МАХ-			
	Значение	Номер эл-та	Номер сечения	Номер загрузки	Значение	Номер эл-та	Номер сечения	Номер загрузки
N	7,36	5	2	1	-10,9023	7	5	1
M	28,098	5	2	1	-6,23911	7	5	1
Q	11,64	5	2	1	-10,8828	14	1	1

Усилия и напряжения элементов, Н, м					
Номер эл-та	Номер сечения	Номер загрузки	Усилия и напряжения		
			N	M	Q
1	1	1	0,	0,	-6,0018
	2	1	0,	-1,40062	-6,45135
	3	1	0,	-2,9025	-6,90089
	4	1	0,	-4,50562	-7,35045
	5	1	0,	-6,21	-7,8
2	1	1	2,37389	-4,2881	3,1023
	2	1	2,37389	-1,49603	3,1023
3	1	1	2,37389	-1,49603	3,1023
	2	1	2,37389	1,29604	3,1023
4	1	1	2,37389	1,29604	3,1023
	2	1	2,37389	4,08811	3,1023
5	1	1	7,36	17,622	11,64
	2	1	7,36	28,098	11,64
6	1	1	-10,9023	1,92189	-2,37605
	2	1	-10,9023	1,32701	-2,91551
	3	1	-10,9023	,610642	-3,45497
	4	1	-10,9023	-,227233	-3,99443
	5	1	-10,9023	-1,1866	-4,53389
7	1	1	-10,9023	-1,18661	-4,53605
	2	1	-10,9023	-2,26748	-5,07551
	3	1	-10,9023	-3,46986	-5,61497
	4	1	-10,9023	-4,79373	-6,15443
	5	1	-10,9023	-6,23911	-6,69389
8	1	1	0,	-3,888	4,31784
	2	1	0,	-2,97675	3,77838

Усилия и напряжения элементов, Н, м					
Номер эл-та	Номер сечения	Номер загружен я	Усилия и напряжения		
			N	M	Q
	3	1	0,	-2,187	3,23892
	4	1	0,	-1,51875	2,69946
	5	1	0,	-,972	2,16
9	1	1	0,	-,972001	2,15784
	2	1	0,	-,54675	1,61838
	3	1	0,	-,243	1,07892
	4	1	0,	-,06075	,53946
10	1	1	-15,3079	28,0538	-4,9861
	2	1	-8,53769	9,04639	-4,9861
11	1	1	-8,53769	9,04639	-4,9861
	2	1	-8,53769	4,55889	-4,9861
12	1	1	0,	5,4	-6,
	2	1	0,	0,	-6,
14	1	1	-1,01389	2,35114	-10,8828
	2	1	-1,01389	-3,36767	-6,02772
	3	1	-1,01389	-5,80598	-1,17258
	4	1	-1,01389	-4,96379	3,68255
	5	1	-1,01389	-,841104	8,53769

Подбор поперечного сечения для вертикальных и горизонтальных элементов плоской рамы

1) Выписываем из таблицы усилий наибольший изгибающий момент, возникающий в поперечном сечении горизонтальных элементов.

$$M_{\max} = 28.1 \text{ кНм}; G_{\max} = 160 \text{ МПа};$$

$$W_x = \frac{|M_{\max}|}{G_{\max}} = \frac{28.1 \cdot 10^3}{160} = 175.62 \text{ см}^3;$$

Подберем размеры поперечного сечения горизонтального элемента в виде двутавра.

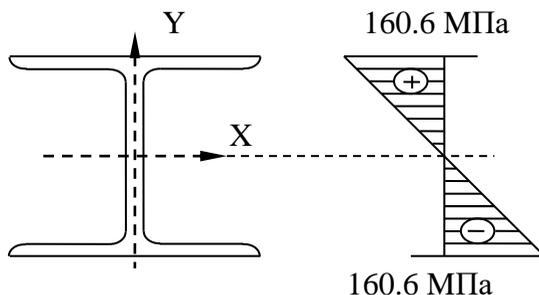
По сортаменту

ГОСТ 8239-89 подбираем прокатный двутавр №20

где: $A = 24,3 \text{ см}^2$;

$$J_x = 1950 \text{ cm}^4;$$

$$W_x = 175.62 \text{ cm}^3;$$



Определим максимальное напряжение, возникающее в поперечном сечении двутавра.

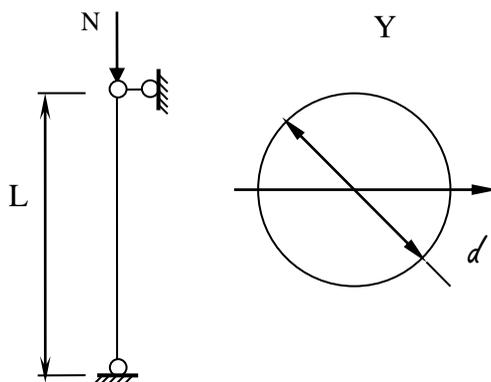
$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{28.1 \cdot 10^3}{175.62} = 160 \text{ МПа};$$

2) Выписываем из таблицы усилий наибольшее сжимающие усилие возникающие в поперечном сечении вертикальных элементов, произведём расчёт стойки на устойчивость. Определим поперечное сечение стержня, найдем величину критической силы и коэффициент запаса на устойчивость.

$$N = 153,7 \text{ Н};$$

$$L = 1,2 \text{ м};$$

$$\sigma_{\text{adm}} = 160 \text{ МПа}.$$



Определим геометрические характеристики сечения, выразим их через d .

$$A = \frac{\Pi d^2}{4}; d = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\Pi}}; i_{\min} = \sqrt{\frac{J_{\min}}{A}};$$

$$\text{Гибкость стержня равна: } \lambda = \frac{M \cdot \ell}{i_{\min}} = \frac{1 \cdot \ell \sqrt{12}}{a};$$

Выполним приближение. Примем коэффициент продольного изгиба $\varphi_1 = 0,5$.

Проводим расчет на устойчивость:

$$A = \frac{N}{\varphi \cdot G_{adm}} = \frac{153,7}{0,5 \cdot 16} = 19,212 \text{ cm}^2;$$

Находим размеры поперечного сечения:

$$d = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\Pi}} = \sqrt{\frac{19,212 \cdot 4}{3,14}} = 4,94 \text{ cm};$$

$$\lambda = \frac{120 \cdot \sqrt{12}}{4,94} = 84,04 \Rightarrow \varphi' = 0,71;$$

Определим значения коэффициента продольного изгиба от гибкости.

Выполним второе приближение:

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_1 + \varphi'}{2} = \frac{0,5 + 0,71}{2} = 0,60;$$

$$A = \frac{153,7}{0,60 \cdot 16} = 15,87 \text{ cm}^2;$$

$$d = \sqrt{\frac{15,87 \cdot 4}{3,14}} = 4,49 \text{ cm};$$

$$\lambda = \frac{120 \cdot \sqrt{12}}{4,49} = 92,47; \Rightarrow \varphi^2 = 0,67;$$

Выполним, третье приближение:

$$\varphi_3 = \frac{\varphi_2 + \varphi^2}{2} = \frac{0,60 + 0,67}{2} = 0,63; \quad A = \frac{153,7}{0,63 \cdot 16} = 15,08 \text{ cm}^2;$$

$$d = \sqrt{\frac{15.08 \cdot 4}{3.14}} = 4.38 \text{ см};$$

$$\lambda = \frac{120 \cdot \sqrt{12}}{4.38} = 94.79; \Rightarrow \varphi = 0.65;$$

Выполним четвертое приближение:

$$\varphi_4 = \frac{\varphi_3 + \varphi^3}{2} = \frac{0.63 + 0.65}{2} = 0.64;$$

$$A = \frac{153.7}{0.64 \cdot 16} = 15.01 \text{ см}^2;$$

$$d = \sqrt{\frac{15.01 \cdot 4}{3.14}} = 4.37 \text{ см};$$

$$\lambda = \frac{120 \cdot \sqrt{12}}{4.37} = 95.01; \Rightarrow \varphi = 0.65;$$

В ходе выполненного четвертого приближения коэффициент продольного изгиба φ полученный в конце совпал с принятым в начале, принимаем размеры поперечного сечения стойки. $d = 4.5 \text{ см};$

Определим критическую силу и наибольшее напряжение:

$$G_{\max} = \frac{N}{\varphi \cdot A} = \frac{153.7}{0.65 \cdot 15.01} = 157.6 \text{ МПа};$$

$$\frac{157.6 - 160}{160} \cdot 100\% = -1.5\% < 5\%;$$

Определим критическую силу:

$$F_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 E J_{\min}}{(\mu \ell)^2} = \frac{9.86 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot 7.24^4}{12 \cdot 1^2 \cdot 1.2^4} = 354 \text{ Н};$$

Находим коэффициент запаса на устойчивость:

$$n_y = \frac{N_{\text{кр}}}{N} = \frac{354}{153.7} = 2.34$$

Принимаем для горизонтальных стержней плоской рамы прокатный двутавр №20, а для вертикальных стержней размеры поперечного сечения стойки $d = 4.5\text{см}$;

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ 4

Текстовый файл с исходными данными для расчёта вала

```
(0/1;Пример расчёта вала/
2;5/
4;2:1-8/)
(1/5 1 1 2/5 1 2 3/5 1 3 4/5 1 4 5/
5 1 5 6/5 1 6 7/5 1 7 8/5 1 8 9/)
(3/1 1000 1000/)
(4/0 0 0/0.15 0 0/0.3 0 0/0.45 0 0/0.6 0 0/
0.7 0 0/0.8 0 0/0.95 0 0/1.1 0 0/)
(5/1 1 3/5 3/)
(6/3 0 2 1 1/3 0 3 2 1/3 0 4 4 1/7 0 3 5 1/
7 0 2 6 1/7 0 4 7 1/9 0 2 8 1/9 0 4 4 1/)
(7/1 52/2 -10/3 10/4 157/5 50/6 -52/7 -95.4/8 21/)
```

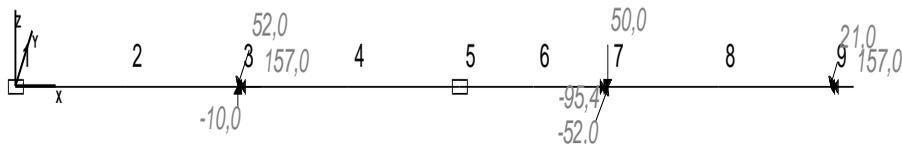


Рис. 11 – Расчётная схема вала

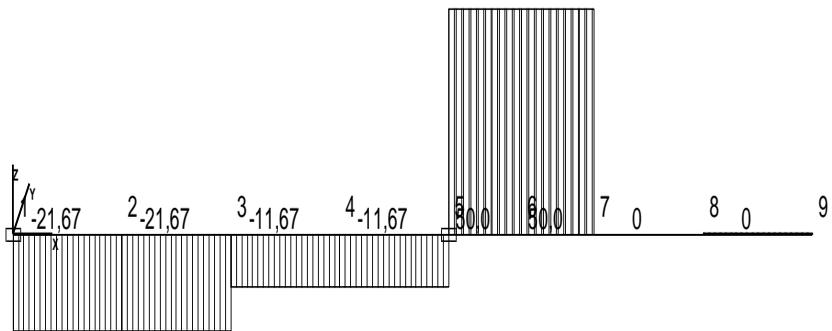


Рис. 12 – Эпюра перерезывающих усилий

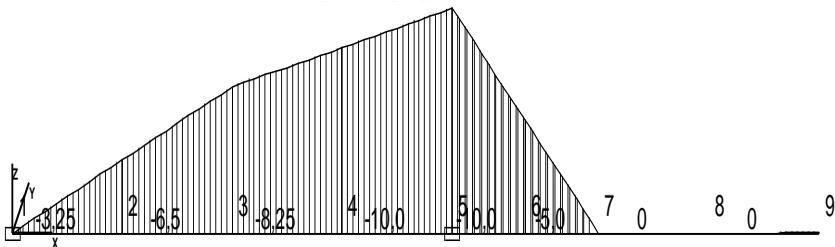


Рис. 13 – Эпюра изгибающих моментов вдоль оси Z

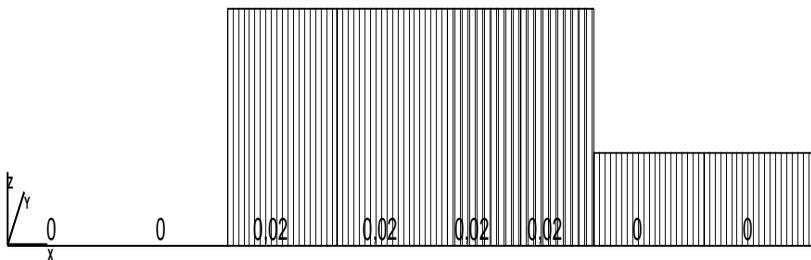


Рис. 14 – Эпюра крутящих моментов

Максимальные усилия элементов расчетной схемы, Н, м								
Наименование	МАХ+				МАХ-			
	Значение	Номер эл-та	Номер сечения	Номер загрузки	Значение	Номер эл-та	Номер сечения	Номер загрузки
N	0,	8	3	1	0,	8	3	1
Mk	,016004	6	3	1	0,	2	3	1
My	0,	7	1	1	-,001019	5	1	1
Qz	,005096	6	3	1	-,002208	2	3	1
Mz	,000795	3	1	1	-,00159	7	1	1
Qy	,007951	4	3	1	-,0053	8	3	1

Усилия и напряжения элементов, Н, м								
Номер эл-та	Номер сечен.	Номер загрузки	Усилия и напряжения					
			N	Mk	My	Qz	Mz	Qy
1	1	1	0,	0,	0,	-,002208	0,	-,00265
	2	1	0,	0,	-,000165	-,002208	,000198	-,00265
	3	1	0,	0,	-,000331	-,002208	,000397	-,00265
2	1	1	0,	0,	-,000331	-,002208	,000397	-,00265
	2	1	0,	0,	-,000496	-,002208	,000596	-,00265
	3	1	0,	0,	-,000662	-,002208	,000795	-,00265
3	1	1	0,	,016004	-,000662	-,001189	,000795	,007951
	2	1	0,	,016004	-,000751	-,001189	,000198	,007951
	3	1	0,	,016004	-,00084	-,001189	-,000397	,007951
4	1	1	0,	,016004	-,00084	-,001189	-,000397	,007951
	2	1	0,	,016004	-,00093	-,001189	-,000993	,007951
	3	1	0,	,016004	-,001019	-,001189	-,00159	,007951
5	1	1	0,	,016004	-,001019	,005096	-,00159	0,
	2	1	0,	,016004	-,000764	,005096	-,00159	0,
	3	1	0,	,016004	-,000509	,005096	-,00159	0,
6	1	1	0,	,016004	-,000509	,005096	-,00159	0,
	2	1	0,	,016004	-,000254	,005096	-,00159	0,
	3	1	0,	,016004	0,	,005096	-,00159	0,
7	1	1	0,	,006279	0,	0,	-,00159	-,0053
	2	1	0,	,006279	0,	0,	-,001192	-,0053

Усилия и напряжения элементов, Н, м								
Номер р эл-та	Номер р сечен.	Номер р загру ж.	Усилия и напряжения					
			N	Mк	My	Qz	Mz	Qy
	3	1	0,	,006279	0,	0,	-,000795	-,0053
8	1	1	0,	,006279	0,	0,	-,000795	-,0053
	2	1	0,	,006279	0,	0,	-,000397	-,0053
	3	1	0,	,006279	0,	0,	0,	-,0053

Расчет вала при изгибе с кручением

Дано:

$$D_1 = 320\text{мм}$$

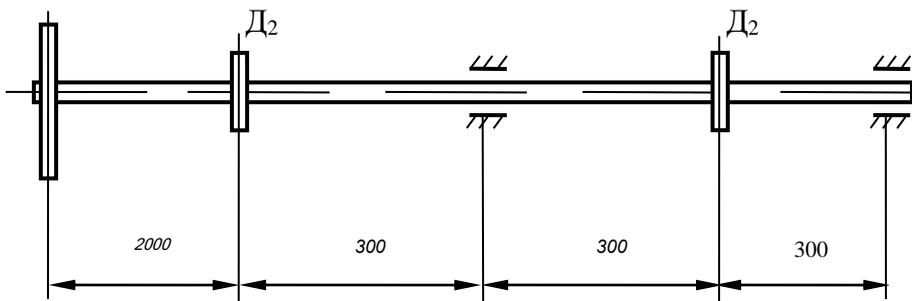
$$D_2 = 260\text{мм}$$

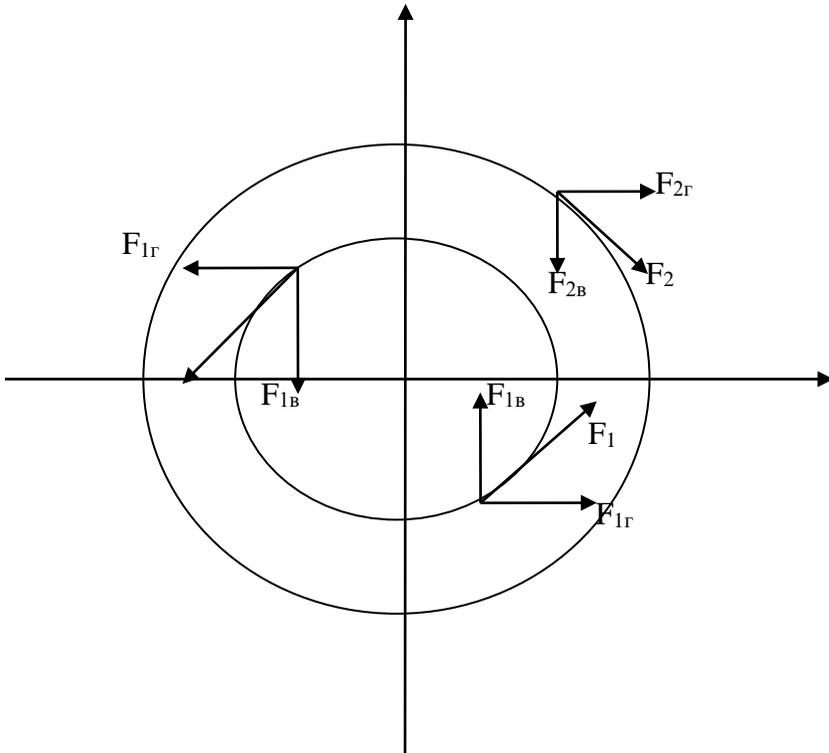
$$N = 140\text{кВт}$$

$$n = 800\text{об/мин}$$

$$d_1 = 50^0$$

$$d_2 = 60^0$$





1) Определим крутящие моменты приложенные к шестерням.

$$M_1 = \frac{30N}{\pi \cdot n} = \frac{30 \cdot 140}{3.14 \cdot 800} = 1.67 kH \cdot m ;$$

$$M_2 = \frac{30 \cdot \frac{N}{2}}{\pi \cdot n} = \frac{30 \cdot 70}{3.14 \cdot 800} = 0.835 kH \cdot m ;$$

2) Определим силы изгибающие вал в вертикальных и горизонтальных плоскостях.

$$F = \frac{2 \cdot M}{D} ;$$

$$F_1 = \frac{2 \cdot 1.67}{0.32} = 10.44 \text{ kH}; \quad F_2 = \frac{2 \cdot 0.83}{0.260} = 6.43 \text{ kH};$$

$$F_{1\beta} = F_1 \sin \alpha_1 = 10.44 \cdot \sin 50^\circ = 8 \text{ kH};$$

$$F_{2\beta} = F_2 \sin \alpha_2 = 6.43 \cdot \sin 60^\circ = 5.5 \text{ kH};$$

$$F_{1\alpha} = F_1 \cos \alpha_1 = 10.44 \cdot \cos 50^\circ = 6.4 \text{ kH};$$

$$F_{2\alpha} = F_2 \cos \alpha_2 = 6.43 \cdot \cos 60^\circ = 3.21 \text{ kH};$$

3) Определим требуемый диаметр вала.

Наиболее опасные сечения являются в узле 5 и 9.

Узел 5 $M_{кр} = 1,67 \text{ кНм}$

$$M_{изг} = 2,088 \text{ кНм}$$

Узел 9 $M_{кр} = 0,835 \text{ кНм}$

$$M_{изг} = 6,15 \text{ кНм}$$

4) Подбираем диаметр вала

а) по 3 теории прочности: $M_{рас^III} = \sqrt{M_{кр^2} + M_{изг^2}};$

Узел 5 $M_{рас^III} = 2,67 \text{ кН} \cdot \text{м};$

Узел 9 $M_{рас^III} = 6,21 \text{ кН} \cdot \text{м};$

б) По 4 теории прочности:

$$M_{рас^IV} = \sqrt{M_{кр^2} + 0.75 \cdot M_{изг^2}};$$

Узел 5 $M_{рас^IV} = 2,54 \text{ кН} \cdot \text{м};$

Узел 9 $M_{рас^IV} = 6,19 \text{ кН} \cdot \text{м};$

Принимаем расчетный момент, определяем диаметр:

$$d = \sqrt{\frac{32 \cdot M_{рас}}{\pi \cdot [G]_{adm}}} = \sqrt{\frac{32 \cdot 6,21 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 200}};$$

$$d = 6.81 \text{ см};$$

Принимаем диаметр: $d = 70 \text{ см}.$

Тестовые задания

1. Под моделированием понимается:

- процесс замены реального объекта моделью, отражающей его существенные признаки с точки зрения достижения конкретной цели;
- процесс неформальной постановки конкретной задачи;
- процесс замены реального объекта другим материальным или идеальным объектом;
- процесс выявления существенных признаков рассматриваемого объекта.

2. При изучении объекта реальной действительности можно создать:

- одну единственную модель;
- несколько различных видов моделей, каждая из которых отражает те или иные существенные признаки объекта;
- одну модель, отражающую совокупность признаков объекта;
- точную копию объекта во всех проявлениях его свойств и поведения;

3. Информационной моделью объекта нельзя считать:

- описание объекта-оригинала с помощью математических формул;
- совокупность данных в виде таблицы, содержащих информацию о качественных и количественных характеристиках объекта-оригинала;
- описание объекта-оригинала на естественном или формальном языке;
- совокупность записанных на языке математики формул, описывающих поведение объекта-оригинала.

4. Математическая модель объекта – это:

- созданная из какого-либо материала модель, точно отражающая внешние признаки объекта-оригинала;

- описание в виде схемы внутренней структуры изучаемого объекта;

- совокупность данных, содержащих информацию о количественных характеристиках объекта и его поведения в виде таблицы;

- совокупность записанных на языке математики формул, отражающих те или иные свойства объекта-оригинала или его поведение.

5. Расписание движение поездов можно рассматривать как пример:

- натурной модели;

- табличной модели;

- графической модели;

- компьютерной модели;

- математической модели.

6. Рисунки, карты, чертежи представляют собой:

- табличные информационные модели;

- математические модели;

- натурные модели;

- графические информационные модели;

- иерархические информационные модели.

7. Процесс построения модели, как правило, предполагает:

- описание всех свойств исследуемого объекта;

- выделение наиболее существенных с точки зрения решаемой задачи свойств объекта;

- описание всех пространственно-временных характеристик изучаемого объекта;

- выделение не более трех существенных признаков объекта.

8. Натурное моделирование это:

- моделирование, при котором в модели узнается моделируемый объект, то есть натурная модель всегда имеет визуальную схожесть с объектом- оригиналом;

- создание математических формул, описывающих форму или поведение объекта-оригинала;
- моделирование, при котором в модели узнается какой-либо отдельный признак объекта-оригинала;
- совокупность данных, содержащих текстовую информацию об объекте-оригинале;
- создание таблицы, содержащей информацию об объекте-оригинале.

9. Математической моделью является:

- милицейский протокол;
- правила дорожного движения;
- формула нахождения корней квадратного уравнения;
- кулинарный рецепт;
- инструкция по сборке мебели.

10. Табличная информационная модель представляет собой:

- набор графиков, рисунков, чертежей, схем, диаграмм;
- описание иерархической структуры строения моделируемого объекта;
- описание объектов (или их свойств) в виде совокупности значений, размещаемых в таблице;
- систему математических формул;
- последовательность предложений на естественном языке.

11. Файловая система персонального компьютера наиболее адекватно может быть описана в виде:

- табличной модели;
- графической модели;
- иерархической модели;
- математической модели.

12. В биологии классификация представителей животного мира представляет собой:

- иерархическую модель;
- табличную модель;
- графическую модель;

- математическую модель;
- натурную модель.

13. Динамическими называются модели:

- содержащие словесное описание моделируемой системы;
- построенные на основе данных, полученных опытным путем;
- построенные на основе теоретических знаний;
- отображающие развитие системы во времени;
- не отображающие развитие системы во времени.

14. Какие задачи решаются методом линейного программирования?

- поиск экстремума линейной функции при линейных ограничениях;
- поиск экстремума нелинейной функции при линейных ограничениях;
- поиск экстремума линейной функции при нелинейных ограничениях;
- поиск экстремума линейной функции при отсутствии ограничений;
- поиск экстремума нелинейной функции при отсутствии ограничений.

15. Что подразумевается под решением задачи линейного программирования?

- значения переменных целевой функции;
- значение целевой функции;
- значения коэффициентов целевой функции;
- значения коэффициентов в системе ограничений.

16. Дифференциальные уравнений с частными производными имеют число решений:

- конечное;
- бесконечное;
- зависящее от порядка дифференциального уравнения.

17. Обыкновенные дифференциальные уравнения имеют число решений:

- только конечное;
- бесконечное;
- конечное и зависящее от порядка дифференциального

уравнения.

18. Уравнение колебаний закрепленной струны является дифференциальным уравнением:

- эллиптического типа;
- параболического типа;
- гиперболического типа.

19. Встроенные операторы дифференцирования системы MathCAD позволяют производить над функцией:

- численные расчеты производных;
- аналитические расчеты производных;
- логические расчеты производных.

20. Метод конечных разностей позволяет свести дифференциальное уравнение с частными производными к системе:

- интегро-дифференциальных уравнений;
- интегральных уравнений;
- алгебраических уравнений.

Темы рефератов

Тема 1 Обзор уравнений математической физики. Примеры уравнений математической физики. Классификация уравнений с частными производными.

Тема 2 Постановка задач для уравнений математической физики.

Тема 3 Метод разделения переменных (метод Фурье)

Тема 4 Физическая интерпретация решения волнового уравнения.

Тема 4 Метод конечных разностей. Конечные разности в одномерном случае.

Тема 5 Задача Неймана. Нелинейные задачи.

Тема 6 Конечные разности в многомерном случае.

Тема 7 Задачи для областей неправильной формы.

Тема 8 Аппроксимация базисными функциями.

Тема 9 Аппроксимации с помощью взвешенных невязок.

Тема 10 Аппроксимация решений дифференциальных уравнений и использование базисных функций. Выполнение краевых условий с помощью базисных функций.

Тема 11 Одновременная аппроксимация решений дифференциальных уравнений и краевых условий.

Тема 12 Естественные краевые условия.

Тема 13 Системы дифференциальных уравнений.

Тема 14 Нелинейные задачи. Понятие конечного элемента.

Тема 15 Идея метода конечных элементов.

Тема 16 Примеры типичных базисных функций.

Тема 17 Слабая формулировка и требование гладкости.

Тема 18 Пример континуальной задачи. Подходы к методу конечных элементов.

Тема 19 Минимизация функционала. Метод взвешенных невязок.

Тема 20 Пример минимизации функционала и метода взвешенных невязок для уравнения Пуассона

Тема 21 Двумерный конечный элемент. Линейный треугольник.

Тема 22 Понятие волнового фронта ансамблирования.

Тема 23 Метод конечных элементов для двумерных задач

Коллоквиум

На тему «Компьютерное проектирование и моделирование систем природообустройства. Компоненты окружающей природной среды и правила природопользования».

1. Постановка задач для уравнений математической физики. ТемОбзор уравнений математической физики. Примеры уравнений математической физики. Классификация уравнений с частными производными.

2. Метод разделения переменных (метод Фурье). Физическая интерпретация решения волнового уравнения.

3. Метод конечных разностей. Конечные разности в одномерном случае.

4. Задача Неймана. Нелинейные задачи. Конечные разности в многомерном случае.

5. Задачи для областей неправильной формы.

6. Аппроксимация базисными функциями. Аппроксимации с помощью взвешенных невязок. Аппроксимация решений дифференциальных уравнений и использование базисных функций. Выполнение краевых условий с помощью базисных функций.

7. Одновременная аппроксимация решений дифференциальных уравнений и краевых условий.

8. Естественные краевые условия. Системы дифференциальных уравнений.

9. Нелинейные задачи. Понятие конечного элемента.

10. Идея метода конечных элементов. Примеры типичных базисных функций. Слабая формулировка и требование гладкости.

Вопросы для устного опроса

1. Основные понятия о МКЭ.
2. Какие типы элементов конструкций являются объектами исследования напряженно-деформированного состояния?

3. Что называется расчетной схемой сооружения?

4. Признак геометрической неизменяемости стержневых систем?

5. Каким требованиям должна отвечать конструкция (сооружение)?

6. Каковы основные допущения в расчетах на прочность, жесткость и устойчивость?
7. Понятие о матрице функций формы КЭ.
8. Какие геометрические характеристики плоских поперечных сечений используются в расчетах элементов конструкций?
9. Каковы типы конечных элементов в МКЭ?
10. Общий алгоритм формирования матрицы жесткости КЭ.
11. Понятие о матрице жесткости КЭ.
12. Правило знаков для внутренних усилий в ПВК SCAD (LIRA).
13. Матрица жесткости треугольного конечного элемента.
14. Какие системы координат используются при расчете по МКЭ?
15. Порядок определения напряженно-деформированного состояния элементов конструкций по МКЭ.
16. Матричное уравнение МКЭ для конструкции.
17. Каковы основные особенности образования расчетных систем по методу конечных элементов (МКЭ)?
18. Какие системы координат используются при расчетах стержневых систем по МКЭ?
19. Каковы основные допущения при расчете стержневых систем по МКЭ.
20. Характеристики напряженного состояния.
21. Порядок определения напряженно-деформированного состояния элементов конструкций по МКЭ.
22. Каковы характерные особенности размеров стержней, пластин, оболочек и массивных тел?
23. Каков алгоритм расчета стержневых систем по МКЭ?
24. Условие прочности при расчете рамных

конструкций.

25. Какие допущения и гипотезы используются при расчетах на прочность?

26. Описание документов (массивов) в исходных данных (LIRA).

27. Структура документа «Элементы» в исходных данных ПВК SCAD (LIRA)?

28. Описание документов (массивов) в исходных данных (LIRA).

29. Какие геометрические характеристики плоских поперечных сечений используются в расчетах элементов конструкций?

30. Какие программно-вычислительные комплексы по МКЭ используются при расчете конструкций?

31. Структура документа «Типы нагрузок» в исходных данных МКЭ?

32. Каковы типы конечных элементов в МКЭ?

33. Правило знаков для внешней нагрузки в ПВК SCAD (LIRA)?

34. Структура документа «Координаты» в исходных данных ПВК SCAD?

35. Общая структура файла исходных данных в ПВК SCAD (LIRA)?

36. Как записываются уравнения равновесия в МКЭ?

37. Структура документа «Характеристики жесткости» в исходных данных ПВК SCAD (LIRA)?

38. Ввод исходных данных в диалоговом режиме в ПВК SCAD.

39. Структура документа «Шарниры» в исходных данных ПВК SCAD?

40. Условие прочности при расчете стержневых элементов на изгиб с кручением.

41. Структура документа «Заглавный» в исходных данных ПВК SCAD?

42. Условие прочности при расчете ферм.
43. Структура документа «Связи» в исходных данных ПВК SCAD?
44. Какие допущения и гипотезы используются при расчетах на прочность?
45. Структура документа «Величины нагрузок» в исходных данных ПВК SCAD?

Индивидуальные задания

Для студентов очной формы обучения на тему «Расчёты статически неопределимой балки, плоской фермы, рамы и вала при изгибе с кручением».

Задача №1. Расчёт статически неопределимой балки и подбор сечения.

Задача №2. Расчёт плоской фермы и подбор сечения стержней.

Задача №3. Расчёт рамы и подбор сечения стержней.

Задача №4. Расчёт вала на кручение.

Для студентов заочной формы обучения на Тему: «Расчёты статически неопределимой балки, плоской фермы, рамы».

Задача №1 Расчёт статически неопределимой балки и подбор сечения.

Задача №2 Расчёт плоской фермы и подбор сечения стержней.

Задача № 3 Расчёт рамы и подбор сечения стержней.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная учебная литература

1. Боронина, Л. В. Водозаборные сооружения для систем водоснабжения: электронное учебное пособие / Л. В. Боронина, А. Э. Усынина, Е. В. Давыдова; под редакцией Л.

В. Борониной. – Астрахань: Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2019. – 158 с. – Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/96224.html>

2. Белогай, С. Г. Мониторинг технического состояния и продление жизненного цикла мостовых поездов на каналах / С. Г. Белогай, Я. В. Волосухин, М. А. Бандурин. – Москва: РИОР: ИНФРА-М, 2019. – 268 с. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37047787>

3. Бандурин, М. А. Автоматизация расчётов на ЭВМ конструкций машин / М. А. Бандурин. – Новочеркасск : ЛИК, 2020. – 163 с. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44060789>

Дополнительная учебная литература

1. Борщев В. Я. Расчёт и проектирование технологического оборудования : учебное пособие / В. Я. Борщев, М. А. Промтов. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2018. – 81 с. – Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/94373.html>

2. Власов П. П. Расчет и проектирование систем обеспечения безопасности: учебное пособие / П. П. Власов. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2019. – 163 с. – Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/102557.html>

3. Чудновский, С. М. Проектирование, строительство и эксплуатация водозаборных скважин: учебное пособие / С. М. Чудновский, С. А. Главчук. – Саратов: Ай Пи Ар Медиа, 2019. – 166 с. – Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/86677.html>

**КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ
ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА**

Методические указания

Составители: **Бандурин** Михаил Александрович
Волосухин Виктор Алексеевич

Подписано в печать 00.00.0000 . Формат 60 × 84 ¹/₁₆.

Усл. печ. л. – 2,7. Уч.-изд. л. – 2,1.

Тираж ... экз. Заказ №

Типография Кубанского государственного аграрного
университета.

350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13