

Министерство образования и науки Республики Казахстан
Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова
Архитектурно – строительный институт
Кафедра промышленного и гражданского строительства

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к проведению практических занятий по дисциплине
«Строительная механика»

Павлодар

УДК 624.133.138+624.15

ББК 38.623+38.654.1

Т 38

Рекомендовано ученым советом ПГУ им. С. Торайгырова

Рецензенты:

кандидат технических наук, профессор Ельмуратов С.К.

Фахрутдинов Г.С., Тлеуленова Г.Т. Строительная механика.
Методические указания. – Павлодар, 2005. – 24 с.

Методические указания предназначено для углубленного изучения теоретического материала выданного на лекциях. приводятся примеры для проведения практических занятий.

Методические указания разработаны в соответствии с государственным общеобязательным стандартом образования РК ГОСО РК 3.07.318-2002.

© Фахрутдинов Г.С., Тлеуленова Г.Т. 2005

© Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова,
2005

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УР
Пфейфер Н.Э.

«__»_____200__г.

Составители: к.т.н., доцент Фахрутдинов Г.С.

старший преподаватель Тлеуленова Г.Т.

Кафедра Промышленного и гражданского строительства

Утверждено на заседании кафедры «__»_____200__г. Протокол № __

Заведующий кафедрой _____ М.К.Бейсембаев

Одобрено учебно-методическим советом архитектурно-строительного
института «_____»_____200__г. Протокол № __

Председатель УМС _____ П.В. Корниенко

СОГЛАСОВАНО

Директор института _____ М.К. Кудерин «__» _____ 200__г.

Н/к ОСиС _____ Г.С. Баяхметова «__» _____ 200__г.

ОДОБРЕНО УМО

Начальник УМО _____ Л.Т. Головерина «__» _____ 200__г.

Введение

Статически определимые плоские фермы представляют собой большую группу строительных конструкций, получивших широкое распространение в строительной практике.

Фермы - это конструкции, в которых наиболее рационально используются прочностные свойства материала и сравнительно легко решаются проблемы жесткости.

Расчет и проектирование таких конструкций имеют очень важное значение и представляют большой интерес для строительной практики.

Программа для ЭВМ составлена на алгоритмическом языке ФОРТРАН и предназначена для расчета плоских, статически определимых ферм на воздействие узловой статической нагрузки.

Количество узлов, стержней, опорных связей фермы, а также количество вариантов загрузки могут быть произвольными.

Результатами расчетов являются усилия в стержнях и реакции опор.

Программа предназначена для выполнения расчетов студентами ПГУ в процессе курсового и дипломного проектирования.

Программа может быть использована и в проектных организациях при проектировании и расчете плоских статически определимых ферм.

1 Расчет плоских статически определимых ферм на ЭВМ

1.1 Идея расчета, реализованная в программе для ЭВМ

Из курса строительной механики известно, что для плоских статически определимых, неизменяемых и неподвижных ферм выполняется условие

$$2 \times NU = NS + NOS, \quad (1.1)$$

где NU – общее число узлов фермы;
 NS – общее число стержней фермы;
 NOS – общее число опорных связей фермы.

Для каждого узла плоской фермы можно составить два уравнения равновесия. Общее число уравнений равновесия узлов будет равно $(2 \times NU)$. Общее число неизвестных, подлежащих определению, равно суммарному количеству неизвестных усилий в стержнях фермы и неизвестных опорных реакций, т.е. $(NS + NOS)$.

Таким образом, согласно выражению (1.1) для определения неизвестных величин можно составить соответствующее количество уравнений. Общую систему разрешающих уравнений удобно представить в матричной форме

$$[A] \times [NR] = [P], \quad (1.2)$$

где A (NA, NA) – квадратная матрица коэффициентов при неизвестных в системе разрешающих уравнений;

NR (NA, NV) – матрица подлежащих определению неизвестных усилий в стержнях N и неизвестных реакций опор R ;

P (NA, NV) – матрица нагрузок, действующих на узлы фермы.

Переменные NA и NV определяют соответственно общее число уравнений и количество вариантов загрузжений.

В программе для ЭВМ на основании предварительно введенных исходных данных автоматически составляется и решается система уравнений равновесия узлов фермы.

Решение системы уравнений дает значения неизвестных усилий в стержнях фермы и значения опорных реакций.

2 Подготовка исходных данных для расчета

2.1 Изображается расчетная схема фермы с привязкой к прямоугольной системе координат;

2.2 Нумеруются узлы;

2.3 Нумеруются стержни;

2.4 Нумеруются опорные стержни;

2.5 Устанавливаются количество вариантов загрузок и количество узловых сил для каждого варианта загрузки;

2.6 Определяется общее количество узловых сил во всех вариантах загрузки;

2.7 Узловая сила считается положительной, если ее направление совпадает с положительным направлением соответствующей координатной оси.

Приняты следующие обозначения переменных и массивов:

NU - количество узлов фермы;

NS - количество стержней фермы;

NOS - количество опорных стержней;

NP - общее количество узловых сил во всех вариантах загрузки;

NV - количество вариантов загрузки;

NA - общее число неизвестных, равное суммарному количеству усилий в стержнях и опорных стержнях фермы.

XY (NU, 2) - матрица координат узлов;

MIS (NS, 2) - матрица индексов стержней фермы;

MIOS (NOS, 2) - матрица индексов опорных стержней;

MIP (NP, 3) - матрица индексов узловых сил;

PU (NP) - вектор (матрица-столбец) узловых сил;

P (NA, NV) - матрица узловых сил для всех загрузок;

A (NA, NA) - матрица коэффициентов системы уравнений.

Матрица координат узлов XY (NU, 2) – имеет количество строк, равное количеству узлов фермы и два столбца. Номер строки матрицы соответствует номеру узла фермы. В первом столбце находится координата соответствующего узла по оси X, а во втором – координата этого же узла по оси Y.

Матрица индексов стержней фермы MIS (NS, 2) – имеет количество строк, равное количеству стержней фермы, и два столбца. Номер строки определяет номер стержня. В первом столбце записывается номер узла, где находится начало соответствующего стержня, а во втором столбце записывается номер узла, где находится конец стержня.

Матрица индексов опорных стержней MIOS (NOS, 2) – имеет количество строк, равное количеству опорных стержней, и два столбца. Номер строки соответствует номеру опорного стержня. В первом столбце записывается номер узла, где находится опорный стержень, а во втором столбце записывается цифра, определяющая направление опорного стержня. Если опорный стержень горизонтальный, записывается цифра 1, если опорный стержень вертикальный, записывается цифра 2.

Матрица индексов узловых сил MIP (NP, 3) - имеет число строк, равное количеству ненулевых узловых сил во всех вариантах нагружения и три столбца. Номер строки соответствует номеру узловой силы. В первом столбце записывается номер варианта нагружения, во втором столбце записывается номер узла, в котором приложена искомая сила.

Цифра в третьем столбце - индикатор направления силы. Если сила горизонтальна, то записывается цифра 1, если сила вертикальна - записывается цифра 2.

Вектор узловых сил PU (NP) – содержит значения ненулевых узловых сил во всех вариантах нагружения. При этом положительными считаются силы, направления которых совпадают с положительным направлением соответствующей координатной оси.

Матрица узловых сил для всех нагружений P (NA, NV) - имеет число строк, равное общему количеству неизвестных, и число столбцов, равное количеству вариантов нагружений. Эта матрица формируется компьютером. Матрица коэффициентов при неизвестных разрешающей системы уравнений A (NA, NA) также формируется компьютером.

3 Порядок ввода исходных данных

3.1 Ввод переменных NU, NS, NOS, NV, NP производится по - формату (20I3).

3.2 Ввод матрицы координат узлов XY (NU, 2) - по формату (8F8.3).

3.3 Ввод матрицы индексов стержней MIS (NS, 2) - по формату (20I3).

3.4 Ввод матрицы индексов опорных стержней MIOS (NOS, 2) - по формату (20I3).

3.5 Ввод матрицы индексов ненулевых узловых сил MIP (NP, 3) - по формату (20I3).

3.6 Ввод матрицы ненулевых узловых сил PU (NP) - по формату (8F8.2).

Примечание: Ввод всех матриц осуществляется по столбцам!

4 Пример расчета арочной фермы

4.1 Расчетная схема арочной фермы

Исходные данные для расчета арочной фермы. Опоры шарнирно-неподвижные. Количество шарниров 5, количество стержней 10.

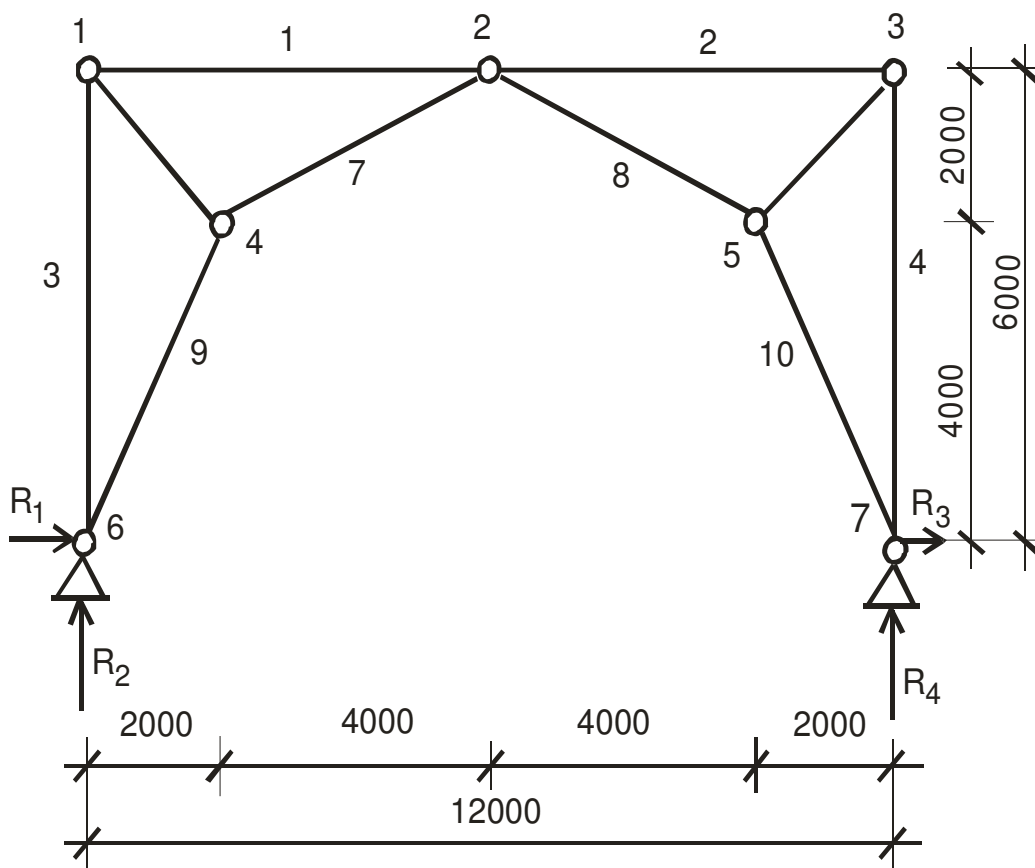


Рисунок 1 – Схема арочной фермы

4.2 Схемы загрузки арочной фермы

Существует два вида загрузки: вертикальная, горизонтальная. На расчетную схему арочной фермы воздействует вертикальная постоянная нагрузка.

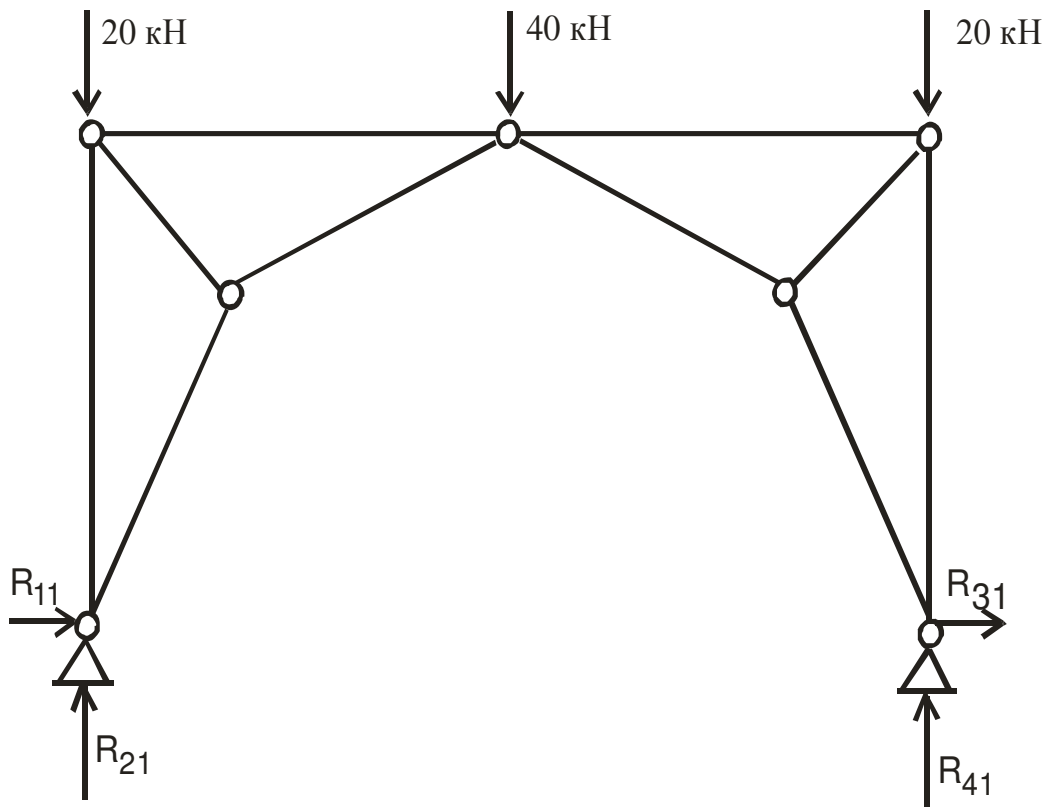


Рисунок 2 – Схема загрузки 1

На расчетную схему арочной фермы воздействует горизонтальная постоянная нагрузка.

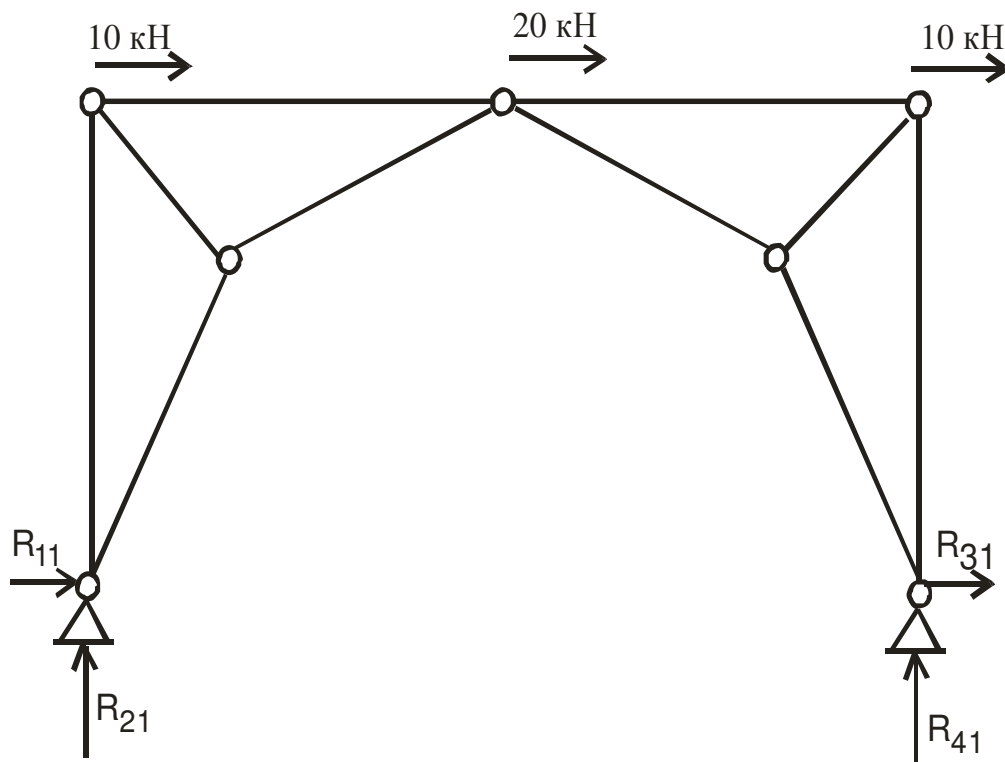


Рисунок 3 – Схема загрузки 2

На основании изображенных выше расчетной схемы и схем загрузки фермы устанавливаем значения переменных NU , NS , NOS , NV и NP :

- количество узлов $NU = 7$;
- количество стержней $NS = 10$;
- количество опорных стержней $NOS = 4$;
- количество вариантов загрузки $NV = 2$;
- количество ненулевых узловых сил $NP = 6$.

Значения переменных NU , NS , NOS , NV и NP определяют размеры матриц XY ($NU, 2$), MIS ($NS, 2$), $MIOS$ ($NOS, 2$), MIP ($NP, 3$) и PU (NP). Запишем размеры этих матриц для рассматриваемого примера:

- матрица координат узлов фермы XY ($7, 2$);
- матрица индексов стержней фермы MIS ($10, 2$);
- матрица индексов опорных связей $MIOS$ ($4, 3$);
- матрица индексов узловых сил MIP ($6, 2$);
- матрица-столбец ненулевых узловых сил PU (6).

В развернутом виде указанные матрицы имеют следующую структуру

Таблица 1 –Матрицы XY, MIS, MIOS

Матрица XY (7, 2)		Матрица (10, 2)		Матрица MIOS (4, 2)	
X	Y	Начало стержня	Конец стержня	Узел	Направление
0.000	6.000	1	2	6	1
6.000	6.000	2	3	6	2
12.000	6.000	6	1	7	1
2	4	7	3	7	2
10	4	1	4		
0	0	5	3		
12	0	4	2		
		2	5		
		6	4		
		5	7		

Таблица 2 – Узловая нагрузка фермы MIP, PU

Матрица MIP (6, 3)			Матрица PU (6)	
Вариант загрузки	Номер узла, в котором приложена сила	Индикатор направления узловой силы	Значение узловых сил (кН)	
1	1	2	-20.00	
1	2	2	-40.00	
1	3	2	-20.00	
2	1	1	10.00	
2	2	1	20.00	
2	3	1	10.00	

4.3 Расчет фермы на ЭВМ

По исходным данным, подготовленным выше, произведен расчет арокной фермы.

Результаты расчета фермы, взятой в качестве примера, приводятся ниже. Результаты расчетов, как уже было сказано выше, представляют собой усилия в стержнях и значения опорных реакций.

Положительное значение продольного усилия в стержне соответствует растяжению, отрицательное значение продольного усилия - сжатию.

За положительное направление опорной реакции принято направление, совпадающее с положительным направлением соответствующей координатной оси.

Это означает, что положительная горизонтальная опорная реакция направлена вправо, а отрицательная – влево. Положительная вертикальная реакция опоры направлена вверх, а отрицательная - вниз.

Ниже приводятся результаты расчетов арочной фермы. В начале распечатаны предварительно введенные исходные данные, что позволяет проверить правильность подготовки и ввода информации, необходимой для расчета.

Выведены на печать усилия в стержнях и опорные реакции для каждого варианта загрузки фермы.

Для лучшего понимания сути задачи о расчете плоской статически определимой фермы на ЭВМ для рассмотренной арочной фермы приводится в развернутом виде структура основных матриц, входящих в матричное уравнение 1.2.

5 Пример расчета двускатной фермы покрытия

5.1 Расчетная схема двускатной фермы

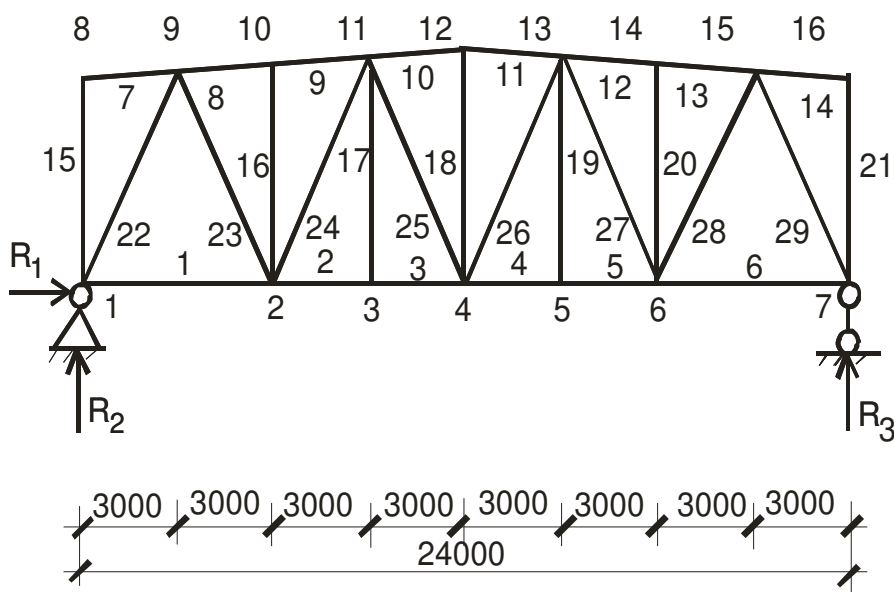


Рисунок 4 – Схема двускатной фермы

5.2 Схемы загрузки фермы

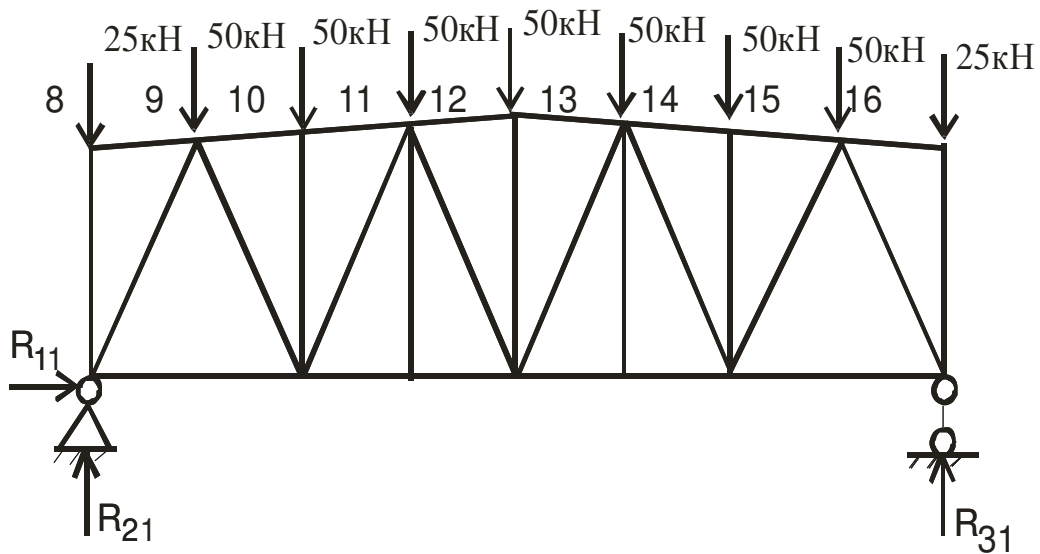


Рисунок 5 – Схема загрузки 1

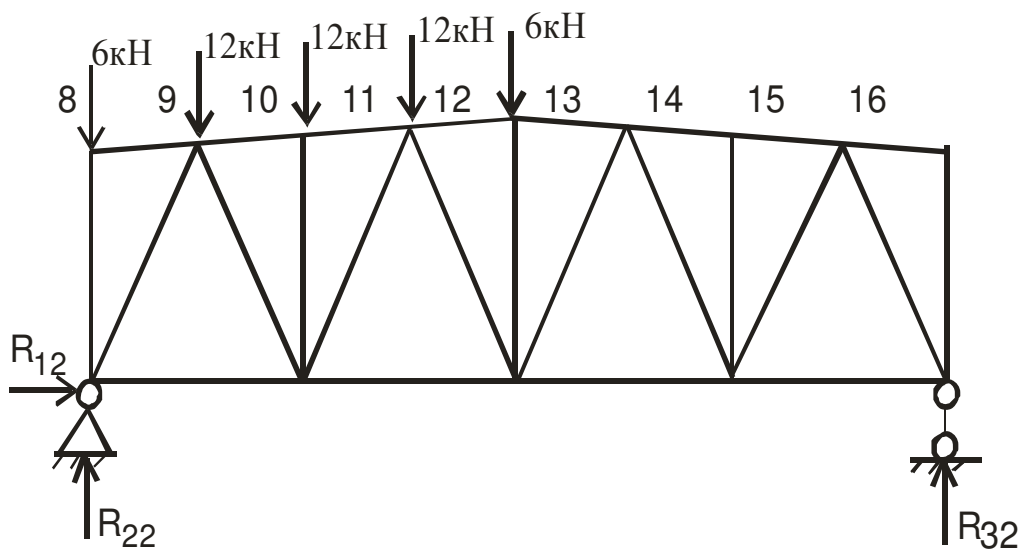


Рисунок 6 – Схема загрузки 2

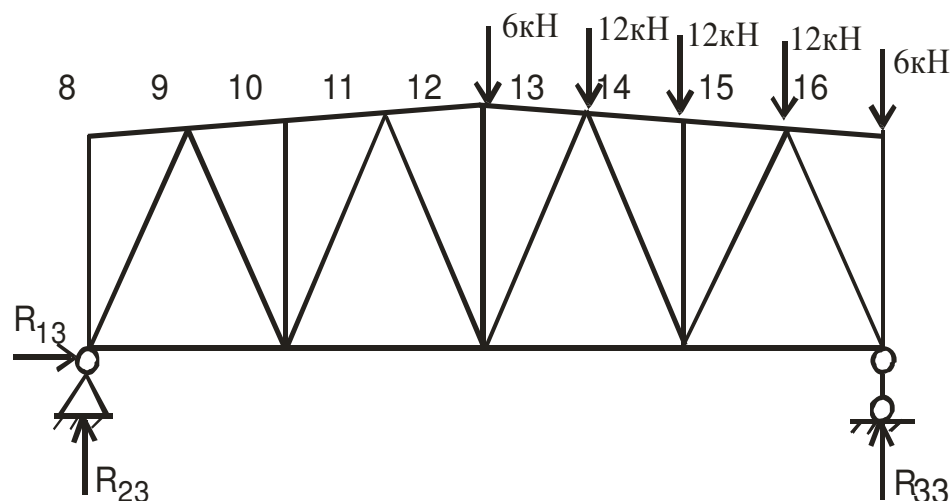


Рисунок 7 – Схема загрузки 3

На основании изображенных выше расчетной схемы и схем загрузки фермы установлено, что:

- количество узлов фермы $NU = 16$;
- количество стержней фермы $NS = 29$;
- количество опорных стержней фермы $NOS = 3$;
- количество вариантов загрузки фермы $NV = 3$;
- количество ненулевых узловых сил $NP = 19$.

Таблица 3 – Матрицы XY, MIS, MIOS

№ п/п	Матрица XY (16, 2)		Матрица MIS (29, 2)		Матрица MIOS (3, 2)	
	X	Y	Начало стержня	Конец стержня	Узел	Направле ние
1	2	3	1	2	1	2
1	0.000	0.000	1	2	1	1
2	6.000	0.000	2	3	1	2
3	9.000	0.000	3	4	7	2
4	12.000	0.000	4	5		
5	15.000	0.000	5	6		
6	18.000	0.000	6	7		
7	24.000	0.000	8	9		
8	0.000	2.200	9	10		
9	3.000	2.575	10	11		
10	6.000	2.950	11	12		

Продолжение таблицы 3

1	2	3	1	2
11	9.000	3.325	12	13
12	12.000	3.700	13	14
13	15.000	3.325	14	15
14	18.000	2.950	15	16
15	21.000	2.575	1	8
16	24.000	2.200	2	10
17			3	11
18			4	12
19			5	13
20			6	14
21			7	16
22			1	9
23			9	2
24			2	11
25			11	4
26			4	13
27			13	6
28			6	15
29			15	7

Таблица 4 – Узловая нагрузка

№ п/п	Матрица МIP (19, 3)			Матрица PU (19)
	Вариант загрузки	Узел	Направление узловой силы	Значение узловой силы
1	2	3	4	1
2	1	8	2	- 25,00
3	1	9	2	- 50,00
4	1	10	2	- 50,00
5	1	11	2	- 50,00
6	1	12	2	- 50,00
7	1	13	2	- 50,00
8	1	14	2	- 50,00
9	1	15	2	- 50,00
10	1	16	2	- 25,00
11	2	8	2	- 6,00
12	2	9	2	- 12,00

Продолжение таблицы 4				
1	2	3	4	1
13	2	10	2	- 12,00
14	2	11	2	- 12,00
15	2	12	2	- 6,00
16	3	13	2	- 6,00
17	3	13	2	- 12,00
18	3	14	2	- 12,00
19	3	15	2	- 12,00
20	3	16	2	- 6,00

5.3 Расчет фермы на ЭВМ

По исходным данным, подготовленным выше, произведен расчет фермы.

Результаты расчета фермы, взятой в качестве примера, приводятся ниже. Результаты расчетов, как уже было сказано выше, представляют собой усилия в стержнях и значения опорных реакций.

Положительное значение продольного усилия в стержне соответствует растяжению.

За положительное направление опорной реакции принято направление, совпадающее с положительным направлением соответствующей координатной оси. Это означает, что положительная горизонтальная опорная реакция направлена вправо, а отрицательная – влево. Положительная вертикальная реакция опоры направлена вверх, а отрицательная - вниз.

Ниже приводятся результаты расчета двускатной фермы. В начале распечатаны предварительно введенные исходные данные, что позволяет проверить правильность подготовки и ввода информации, необходимой для расчета. Далее выведены на печать усилия в стержнях и опорные реакции для каждого варианта загрузки фермы.

5.4 Определение расчетных значений усилий в стержнях и расчетных значений опорных реакций

Вычисление расчетных значений усилий в стержнях и реакций опор. При определении реакции составляют три уравнения равновесия для всей формы в целом используют существующие методы сечения.

Таблица 5 – Вычисление расчетных значений, реакции опор

№ п/п	Стержни фермы и опорные связи	Усилия			Расчетные усилия	
		от постоян ной нагрузки	от снега слева	от снега справа	растяже ние	сжатие
1	2	3	4	5	6	7
2	N ₁	203,884	34,951	13,981	252,816	-
3	N ₂	338,346	48,722	32,481	419,549	-
4	N ₃	338,346	48,722	32,481	419,549	-
5	N ₄	338,346	32,481	48,722	419,549	-
6	N ₅	338,346	32,481	48,722	419,549	-
7	N ₆	203,884	13,981	34,951	252,816	-
8	N ₇	0,000	0,000	0,000	-	-
9	N ₈	-307,459	-49,193	-24,597	-	- 381,249
10	N ₉	-307,459	-49,193	-24,597	-	-381,249
11	N ₁₀	-326,848	-39,222	-39,222	-	-405,292
12	N ₁₁	-326,848	-39,222	-39,222	-	-405,292
13	N ₁₂	-307,459	-24,597	-49,193	-	-381,249
14	N ₁₃	-307,459	-24,597	-49,193	-	-381,249
15	N ₁₄	0,000	0,000	0,000	-	-
16	N ₁₅	-25,000	-6,000	0,000	-	-31,000
17	N ₁₆	-50,000	-12,000	0,000	-	-62,000
18	N ₁₇	0,000	0,000	0,000	-	-
19	N ₁₈	31,081	3,730	3,730	38,541	-
20	N ₁₉	0,000	0,000	0,000	-	-
21	N ₂₀	-50,000	0,000	-12,000	-	-62,000
22	N ₂₁	-25,000	0,000	-6,000	-	-31,000
23	N ₂₂	-268,688	-46,061	-18,424	-	-333,173
24	N ₂₃	133,368	18,268	13,740	165,376	-
25	N ₂₄	-49,652	0,137	-12,053	-	-61,705
26	N ₂₅	-20,931	-14,634	9,610	-	-35,565
27	N ₂₆	-20,931	9,610	-14,634	-	-35,565
28	N ₂₇	-49,652	-12,053	0,137	-	-61,705
29	N ₂₈	133,368	13,740	18,268	165,376	-
30	N ₂₉	-268,688	-18,424	-46,061	-	-333,173
31	R ₁	0,000	0,000	0,000	-	-
32	R ₂	200,000	36,000	12,000	248,000	-
33	R ₃	200,000	12,000	36,000	248,000	-

3.5 Исходные данные для расчета плоской статически определимой фермы

Расчет фермы вычисляется тремя методами: метод вырезания узлов, метод проекции, метод моментной точки.

Наиболее целесообразным при расчете первых стержней, опорных реакции является метод моментной точки.

Приведены варианты исходных данных для расчета ферм, где D – расстояние между узлами любого пояса фермы, H – высота фермы.

Содержание работы:

- а) Определить усилия в стержнях фермы графически от постоянной и временной нагрузок
- б) Определить расчетные усилия в стержнях фермы
- в) Построить линии влияния

Таблица 1 – Исходные данные 1

1	№п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	D (м)	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,6
4	H (м)	2,5	3,0	3,5	4,0	4,6	5,0	6,6	5,0	4,6	4,0
5	$N_{\text{панели}}$	1	2	3	4	2	3	4	1	2	3

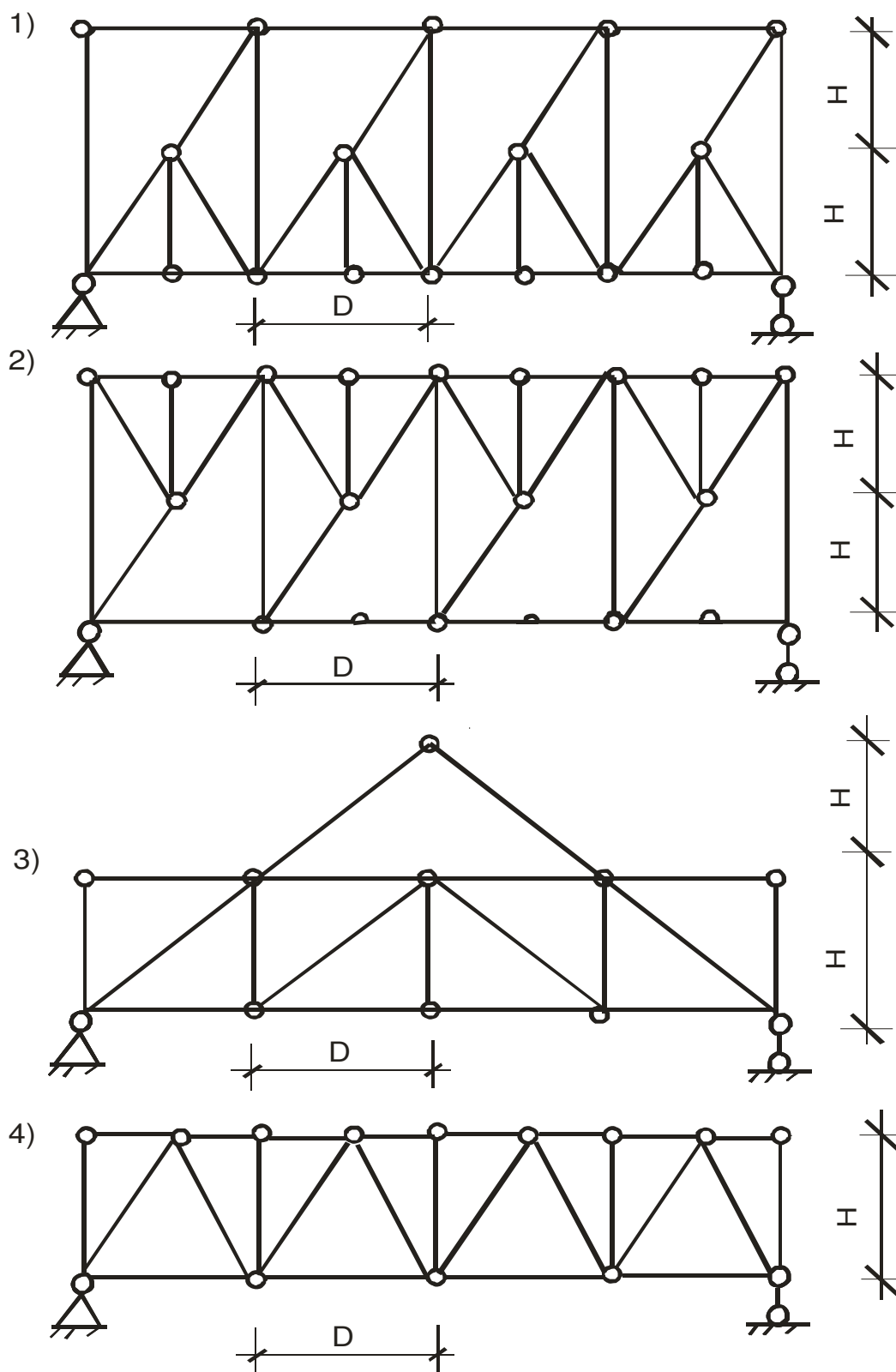
Таблица 2 – Исходные данные 2

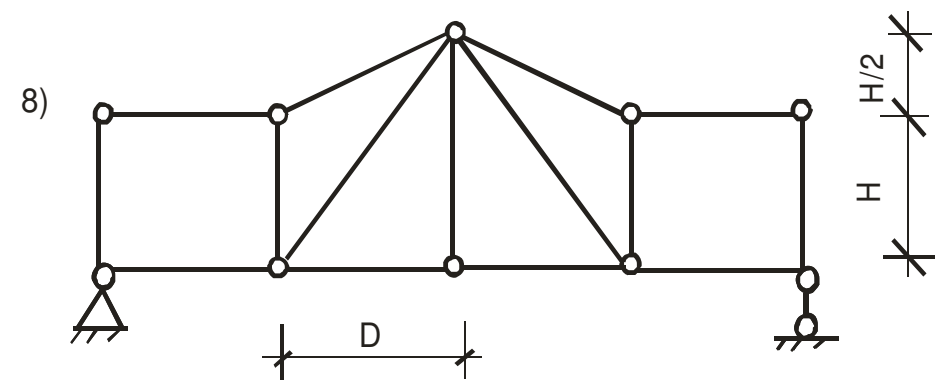
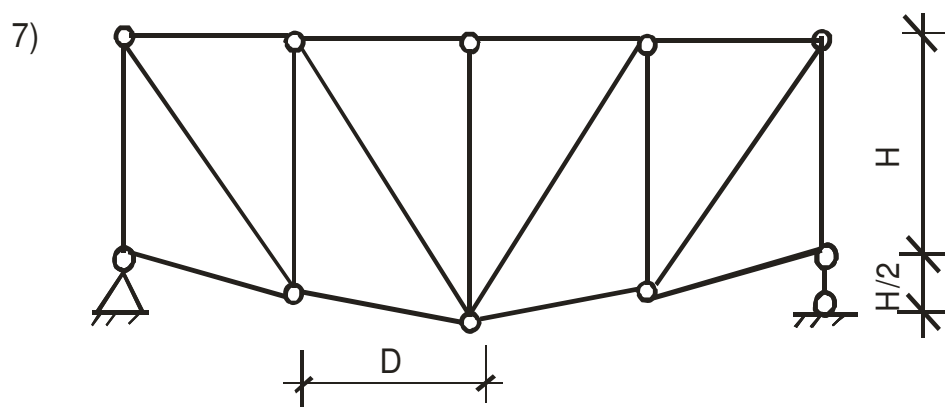
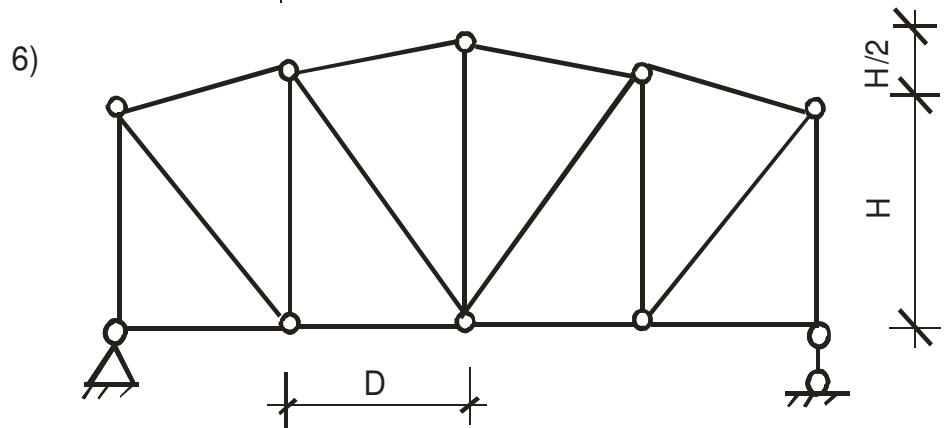
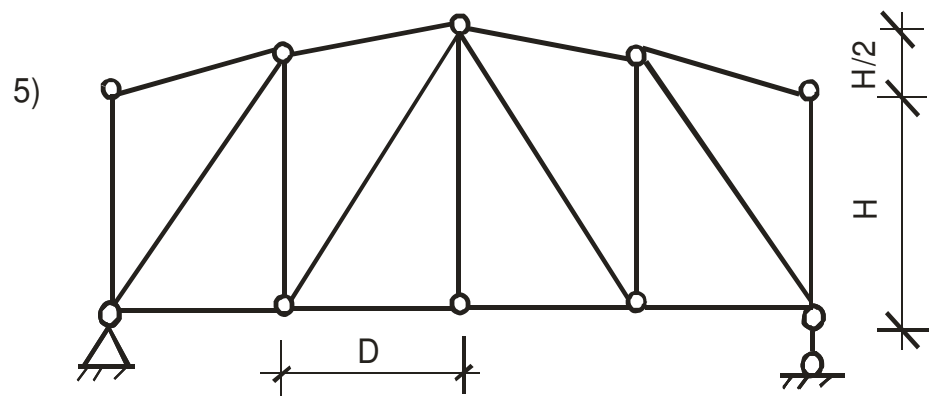
1	№п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	нагрузка постоянная	15	20	30	40	50	60	70	80	90	115
4	нагрузка временная	105	90	80	70	60	50	40	30	20	15

Литература

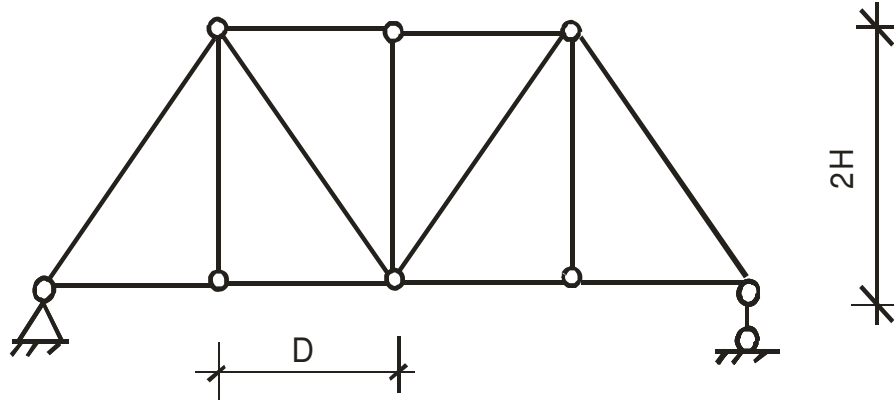
- 1 Александров А.В. Сопротивление материалов. – М.: Высшая школа, 2000. – 560 с.
- 2 Дарков А.В., Кузнецов В.И. Строительная механика. – М.: Высшая школа, 1989. – 426 с.
- 3 Калиткин Н.Н. Численные методы. – М.: Наука, 1998. – 471 с.
- 4 Масленников А.М., Егоян А.Г. Основы строительной механики для архитекторов. – Л.: Издательство ленинградского университета, 1988. – 264 с.
- 5 Мухин Н.В., Першин А.И. Статика сооружений. – М.: Высшая школа., 1980. – 343 с.
- 6 Синицын С.Б., Ванюшенков М.Г. Матричные методы и МКЭ решение задач строительной механики. – М.: Наука, 1986. – 124 с.
- 7 Щуп А.Т. Решение инженерных задач на ЭВМ. – М.: Высшая школа, 1986. – 153 с.

Приложение А (справочное)

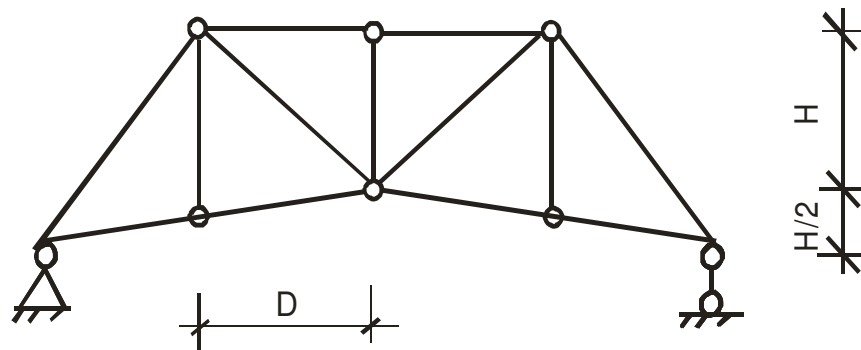




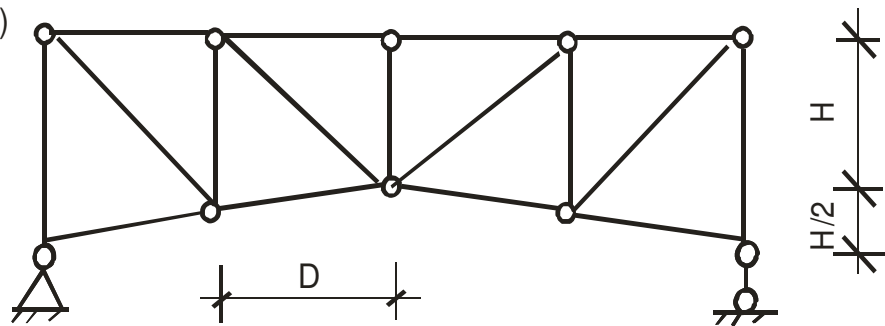
9)



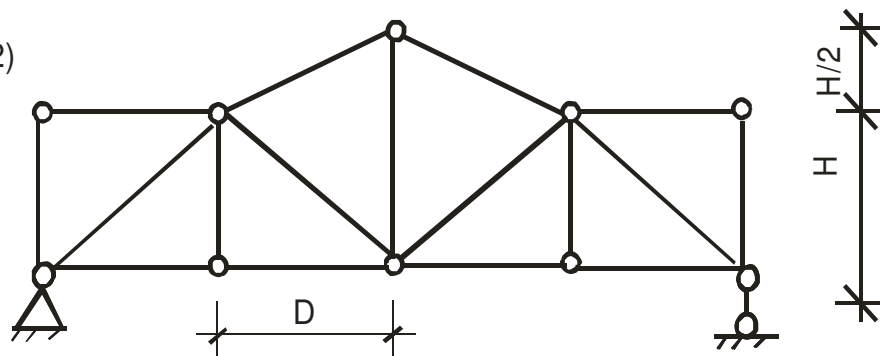
10)



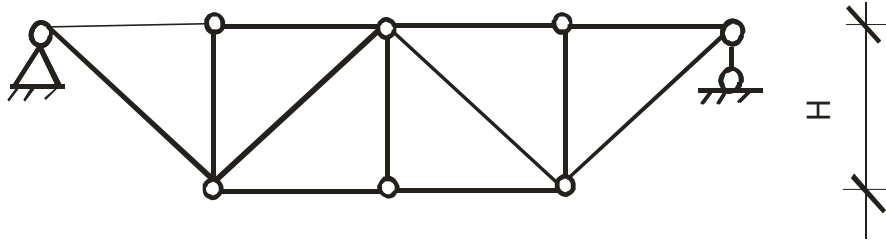
11)



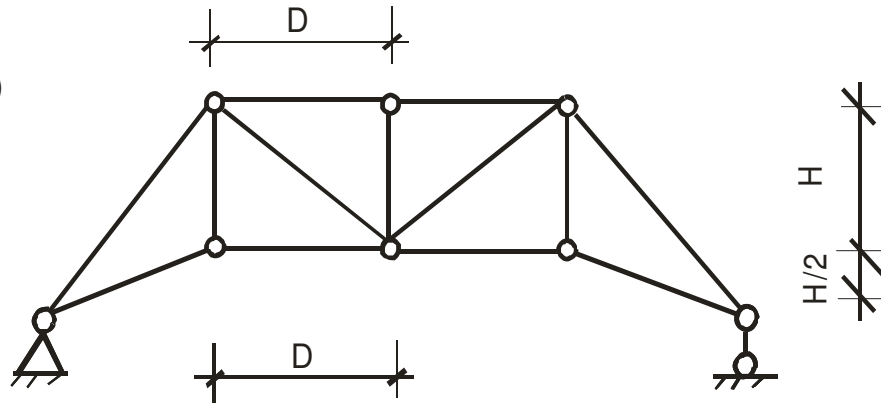
12)



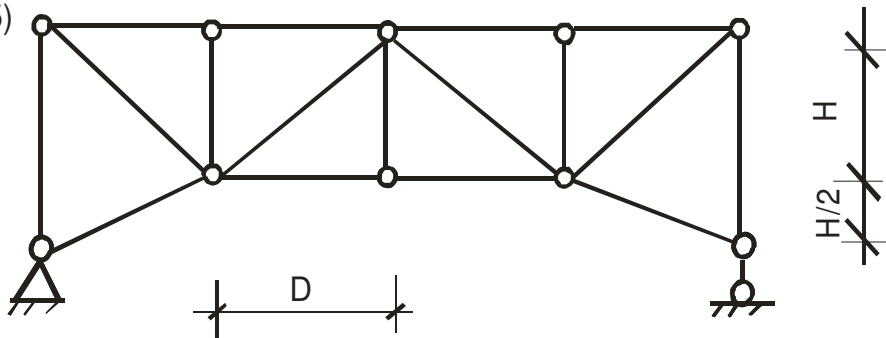
13)



14)



15)



16)

