

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Кафедра теории сооружений и технической механики

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЕРФОРИРОВАННОЙ БАЛКИ

Методические указания

студентам направления 270800.62 – «Строительство»

Нижний Новгород
ННГАСУ
2013

Анализ напряженно-деформированного состояния перфорированной балки. Методические указания студентам направления 270800.62 – «Строительство» / Нижегород. гос. архитектур.- строит. ун-т; сост. Б.Б.Лампси, П.А.Хазов, Б.Б.Лампси, Н.Ю.Трянина - Нижний Новгород: ННГАСУ, 2013. - 17с.

Настоящие методические указания предназначены для студентов ННГАСУ, обучающихся по направлению 270800.62 «Строительство», профиль «Промышленное и гражданское строительство». Методические указания содержат основные теоретические положения для расчета перфорированных балок с помощью программно-вычислительного комплекса Structure CAD.

Составители: Б.Б.Лампси
 П.А.Хазов
 Б.Б.Лампси
 Н.Ю.Трянина

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Исходные данные.....	5
2. Сбор нагрузок.....	7
3. Моделирование расчетной схемы перфорированной балки.....	11
4. Расчет перфорированной балки.....	15
5. Чтение результатов.....	15
6. Контрольные вопросы.....	15
Список использованной литературы.....	16

Введение

Из курса сопротивления материалов известно, что нормальные напряжения, возникающие в сечении балки при ее поперечном изгибе, распределяются согласно закону Навье:

$$\sigma = \frac{M}{J_x} \cdot y, \quad (1)$$

где:

σ - нормальное напряжение в точке сечения;

M - изгибающий момент в изучаемом сечении;

J_x - момент инерции изучаемого сечения относительно главной центральной оси;

y - координата изучаемой точки.

Максимальное нормальное напряжение в балке возникает в том же сечении, в котором имеет место максимальный изгибающий момент. Значение максимального нормального напряжения определяется согласно формуле Навье (рис.1):

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{J_x} y_{\max} = \frac{M}{W_x}, \quad (2)$$

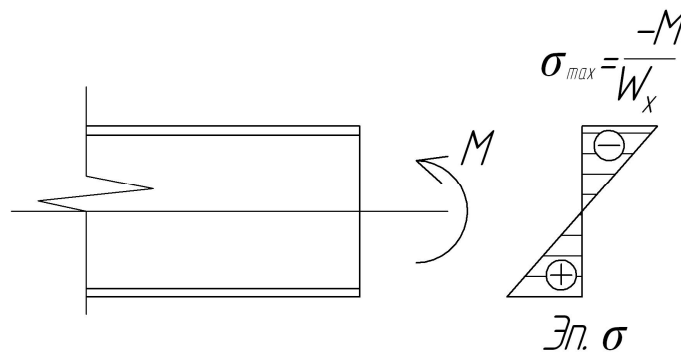


Рис.1. Распределение нормальных напряжений в сечении балки

где W_x - момент сопротивления изучаемого сечения.

В точках, близких к центру тяжести сечения балки, возникающие нормальные напряжения малы, материал в них работает инертно.

В целях экономии часть инертного материала выключают из работы балки. Для этого балка меньшей высоты h распускается специальным образом (рис.2а), после чего полученные части свариваются (рис.2б).

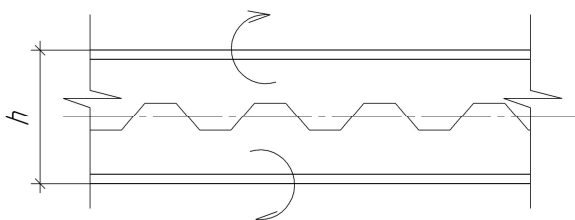


Рис.2а. Схема распуска балки

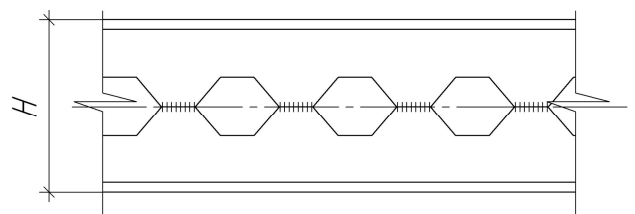


Рис.2б. Схема сваривания перфорированной балки

В полученной конструкции с высотой H , называемой перфорированной балкой, происходит перераспределение напряжений.

В данной лабораторной работе студентам предлагается выполнить расчет перфорированной балки с использованием пространственной конечно-элементной модели в программном комплексе Structure CAD.

1. Исходные данные

Исходные данные для выполнения лабораторной работы указаны на рис. 3-5 и сведены в таблицу 1.

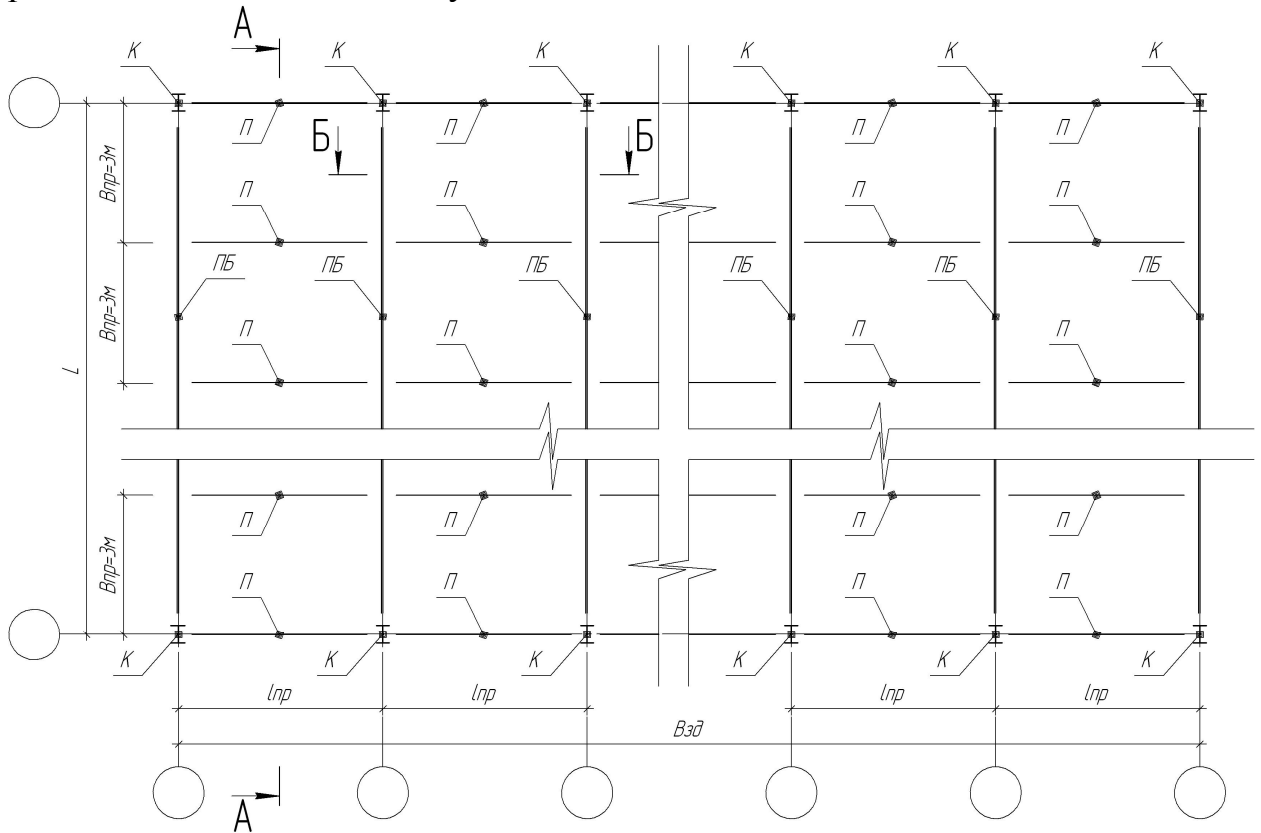


Рис.3. План несущих конструкций здания

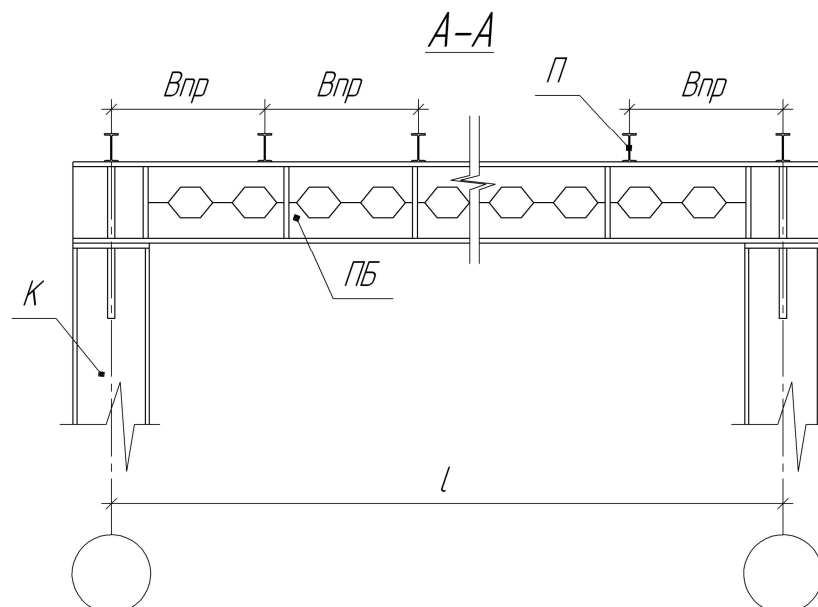


Рис.4. Разрез А-А

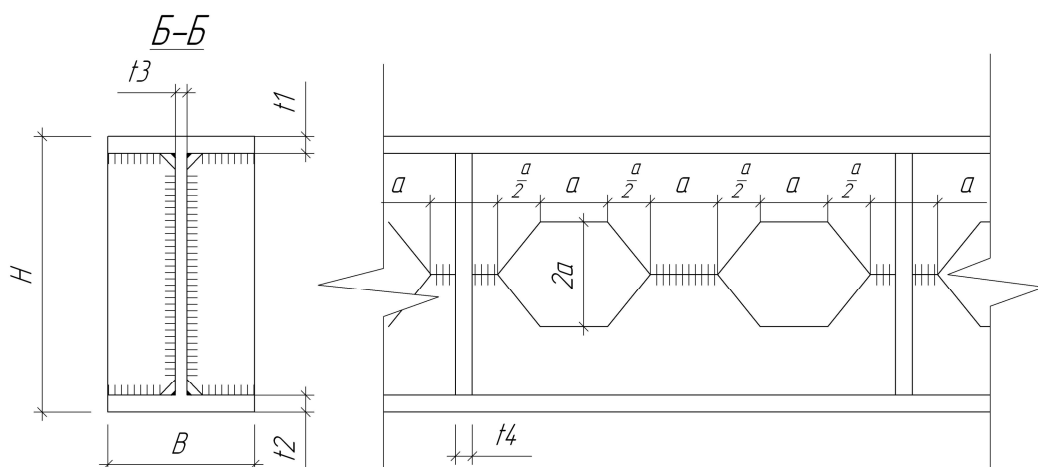


Рис.5. Разрез Б-Б, размеры сечения балки и размеры перфорации

Таблица 1
Исходные данные

Вариант	l , м	l_{np} , м	$B_{зд}$, м	H , мм	B , мм	t_1 , мм	t_2 , мм	t_3 , мм	t_4 , мм	a , мм	Город
1	9	3	18	400	200	16	16	12	12	120	Москва
2	12	6	36	450	240	18	18	14	12	150	Екатеринбург
3	15	3	48	500	280	20	20	14	12	170	Новосибирск
4	9	6	18	400	240	16	16	12	12	120	Н.Новгород
5	12	3	36	450	200	18	18	12	12	150	Ярославль
6	15	6	48	500	200	20	20	14	12	170	Вологда
7	9	3	18	400	240	16	16	14	12	120	Челябинск
8	12	6	36	450	280	18	18	12	12	150	Астрахань
9	15	3	48	500	240	20	20	12	12	170	Сочи
10	9	6	18	400	200	16	16	14	12	120	Мурманск
11	12	3	36	450	200	18	18	14	12	150	Киров
12	15	6	48	500	240	20	20	12	12	170	Кострома
13	9	3	18	400	280	16	16	12	12	120	Череповец
14	12	6	36	450	240	18	18	14	12	150	Томск
15	15	3	48	500	200	20	20	14	12	170	Красноярск
16	9	6	18	400	200	16	16	12	12	120	Владимир
17	12	3	36	450	240	18	18	12	12	150	Уфа
18	15	6	48	500	280	20	20	14	12	170	Арзамас
19	9	3	18	400	240	16	16	14	12	120	Кисловодск
20	12	6	36	450	200	18	18	12	12	150	Саранск
21	15	3	48	500	200	20	20	12	12	170	Саратов
22	9	6	18	400	240	16	16	14	12	120	Калининград
23	12	3	36	450	280	18	18	14	12	150	Самара
24	15	6	48	500	240	20	20	12	12	170	Казань
25	9	3	18	400	200	16	16	12	12	120	Волгоград

2. Сбор нагрузок

Нагрузки, действующие на конструкции зданий и сооружений, следует определять в соответствии с требованиями СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» [1]. Согласно [1], несущие конструкции проектируемого здания воспринимают постоянные нагрузки от собственного веса кровли и снеговые нагрузки.

2.1. Нагрузки на прогон

Постоянные нагрузки, действующие на прогон, зависят от принимаемой конструкции кровли. Предлагаемая конструкция кровли изображена на рис. 6.

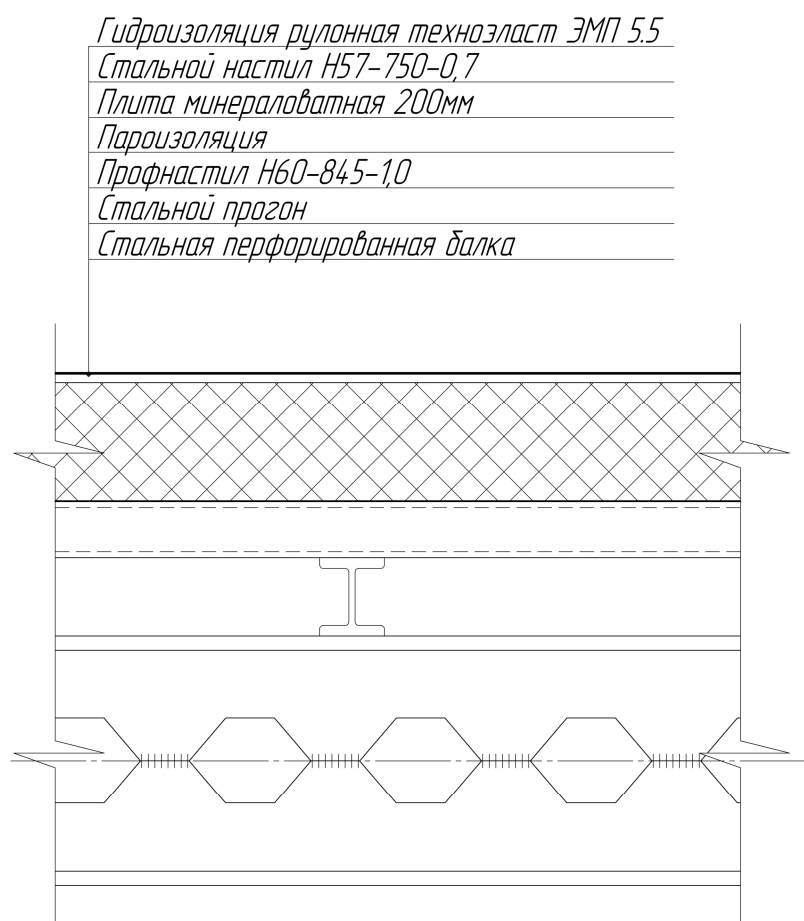


Рис.6. Схема конструкций кровли

Снеговая нагрузка, воспринимаемая прогоном, зависит от снегового района, в котором располагается проектируемое сооружение. Снеговой район определяется с помощью карты 1 [1]. Значения расчетной и нормативной снеговой нагрузки также можно определить с помощью программного пакета ВеСТ. Для этого в меню программы необходимо последовательно выбрать следующие пункты:

Местность-Россия-Крупные города-(название города)-Применить-Меню-Снег

В открывшемся окне необходимо задать геометрические параметры здания и тип местности, после чего выбрать пункт «вычислить».

Результаты сбора нагрузок на прогон заносятся в таблицу 2.

Таблица 2
Нагрузки на прогон

Вид нагрузки	Нормативное значение, кПа	Коэфф. Надежности, γ_f	Расчетное значение, кПа
Постоянные:			
-Гидроизоляция рулонная техноэласт ЭМП 5.5	0,06	1,2	0,07
-Стальной настил Н57-750-0,7	0,09	1,05	0,10
-Плита минераловатная 200мм	0,80	1,2	0,96
-Пароизоляция	0,00	-	0,00
-Профнастил Н60-845-1,0	0,12	1,05	0,13
Итого постоянные:	1,07		1,26
Временные:			
Снеговая нагрузка	—	1,4	—
Итого на прогон (g^{np}):	—		—

2.2. Подбор сечения прогона

Сечение прогона выбирается исходя из условия прочности:

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W_x} \leq R_y = 24 \left[\frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \right], \quad (3)$$

где R_y - расчетное сопротивление стали прогона.

Откуда требуемый момент сопротивления прогона вычисляется по формуле:

$$W_x^{TP} = \frac{M}{R_y} \left[\text{см}^3 \right], \quad (4)$$

где M – максимальный изгибающий момент в прогоне:

$$M = \frac{q_l^{np} l_{np}^2}{8} \left[\text{кН} \cdot \text{м} \right], \quad (5)$$

q_l^{np} - распределенная нагрузка, приходящаяся на единицу длины прогона:

$$q_l^{np} = g^{np} \cdot B_{np} \left[\frac{\kappa H}{M} \right], \quad (6)$$

g^{np} - нагрузка, распределенная по площади кровли, вычисленная в таблице 2.

По найденному значению W_X^{TP} подбирается сечение балочного двутавра. Сортамент балочных двутавров представлен в ГОСТ 26020-83 [2]. Геометрические характеристики нормальных двутавров приведены в таблице 3.

Таблица 3
Геометрические характеристики нормальных двутавров

Номер профиля	мм					Площадь сечения, см ²	Линейная плотность, G_l^{np} кг/м	Справочные величины для осей						
	h	b	s	t	r			X-X				Y-Y		
								I_x , см ⁴	W_x , см ³	S_x , см ³	t_x , см	I_y , см ⁴	W_y , см ³	t_y , см
Нормальные двутавры														
10Б1	100	55	4,1	5,7	7	10,32	8,1	171	34,2	19,7	4,07	15,9	5,8	1,24
12Б1	117,6	64	3,8	5,1	7	11,03	8,7	257	43,8	24,9	4,83	22,4	7,0	1,42
12Б2	120	64	4,4	6,3		13,21	10,4	318	53,0	30,4	4,90	27,7	8,6	1,45
14Б1	137,4	73	3,8	5,6	7	13,39	10,5	435	63,3	35,8	5,70	36,4	10,0	1,65
14Б2	140	73	4,7	6,9		16,43	12,9	541	77,3	44,2	5,74	44,9	12,3	1,65
16Б1	157	82	4,0	5,9	9	16,18	12,7	689	87,8	49,5	6,53	54,4	13,3	1,83
16Б2	160	82	5,0	7,4		20,09	15,8	869	108,7	61,9	6,58	68,3	16,6	1,84
18Б1	177	91	4,3	6,5	9	19,58	15,4	1063	120,1	67,7	7,37	81,9	18,0	2,04
18Б2	180	91	5,3	8,0		23,95	18,8	1317	146,3	83,2	7,41	100,8	22,2	2,05
20Б1	200	100	5,6	8,5	12	28,49	22,4	1943	194,3	110,3	8,26	142,3	28,5	2,23
23Б1	230	110	5,6	9,0	12	32,91	25,8	2996	260,5	147,2	9,54	200,3	36,4	2,47
26Б1	258	120	5,8	8,5	12	35,62	28,0	4024	312,0	176,6	10,63	245,6	40,9	2,63
26Б2	261	120	6,0	10,0		39,70	31,2	4654	356,6	201,5	10,83	288,8	48,1	2,70
30Б1	296	140	5,8	8,5	15	41,92	32,9	6328	427,0	240,0	12,29	390,0	55,7	3,05
30Б2	299	140	6,0	10,0		46,67	36,6	7293	487,8	273,8	12,50	458,6	65,5	3,13
35Б1	346	155	6,2	8,5	18	49,53	38,9	10060	581,7	328,6	14,25	529,6	68,3	3,27
35Б2	349	155	6,5	10,0		55,17	43,3	11550	662,2	373,0	14,47	622,9	80,4	3,36
40Б1	392	165	7,0	9,5	21	61,25	48,1	15750	803,6	456,0	16,03	714,9	86,7	3,42
40Б2	396	165	7,5	11,5		69,72	54,7	18530	935,7	529,7	16,30	865,0	104,8	3,52
45Б1	443	180	7,8	11,0	21	76,23	59,8	24940	1125,8	639,5	18,09	1073,7	119,3	3,75
45Б2	447	180	8,4	13,0		85,96	67,5	28870	1291,9	732,9	18,32	1269,0	141,0	3,84
50Б1	492	200	8,8	12,0	21	92,98	73,0	37160	1511,0	860,4	19,99	1606,0	160,6	4,16
50Б2	496	200	9,2	14,0		102,80	80,7	42390	1709,0	970,2	20,30	1873,0	187,3	4,27
55Б1	543	220	9,5	13,5	24	113,37	89,0	55680	2051,0	1165,0	22,16	2404,0	218,6	4,61
55Б2	547	220	10,0	15,5		124,75	97,9	62790	2296,0	1302,0	22,43	2760,0	250,9	4,70
60Б1	593	230	10,5	15,5	24	135,26	106,2	78760	2656,0	1512,0	24,13	3154,0	274,3	4,83
60Б2	597	230	11,0	17,5		147,30	115,6	87640	2936,0	1669,0	24,39	3561,0	309,6	4,92
70Б1	691	260	12,0	15,5	24	164,70	129,3	125930	3645,0	2095,0	27,65	4556,0	350,5	5,26
70Б2	697	260	12,5	18,5		183,60	144,2	145912	4187	2393,0	28,19	5437,0	418,2	5,44

2.3. Нагрузки на перфорированную балку

Нагрузка на перфорированную балку возникает в местах опирания прогонов. При этом она вычисляется как отношение реакций в опорах прогонов к площади опирания (рис.7).

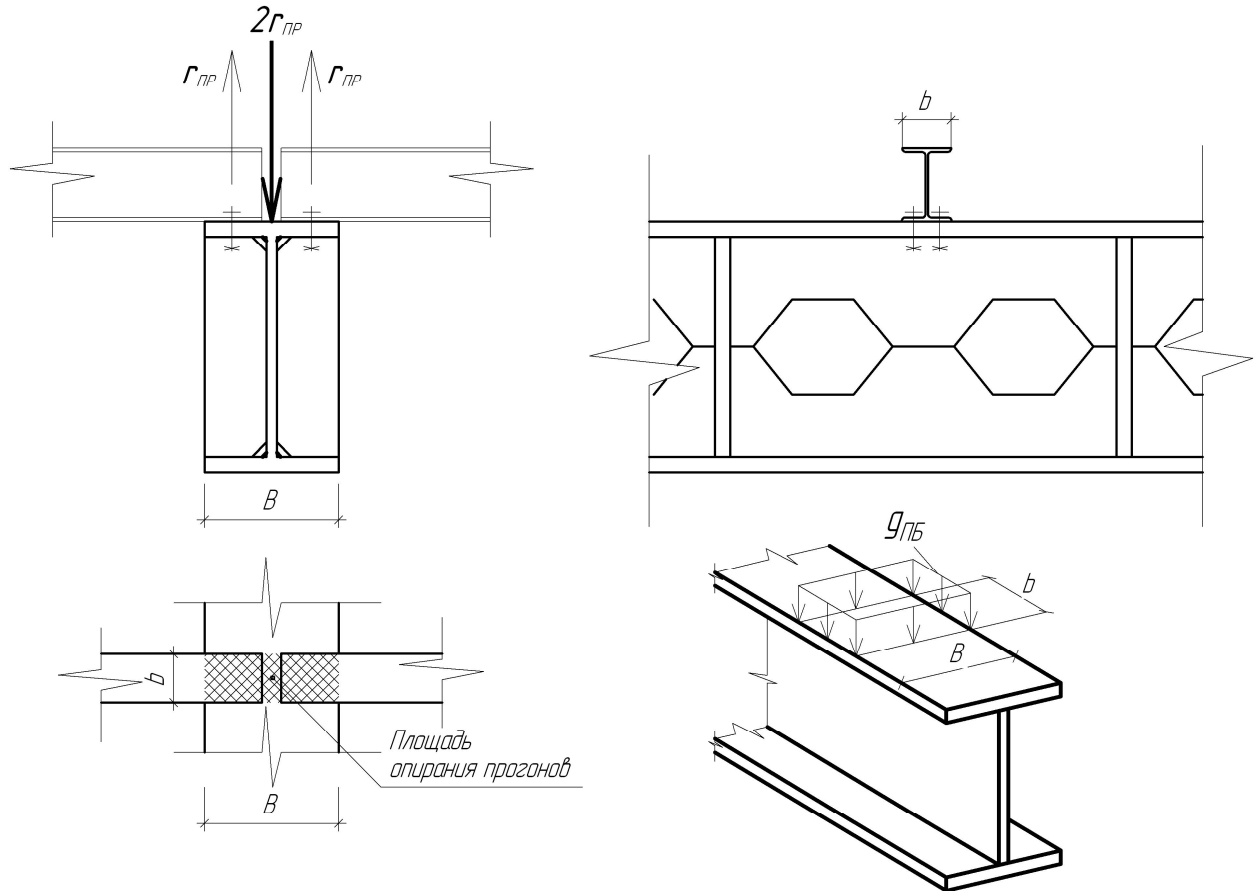


Рис.7. К определению нагрузки на перфорированную балку

Реакция в прогоне определяется по формуле:

$$r_{пр} = \frac{q_l^{np} \cdot l_{np}}{2} + \frac{G_l^{np} \cdot l_{np}}{2} \quad [\text{кН}], \quad (7)$$

G_l^{np} - погонный вес прогона (таблица3), выраженный в $\frac{\text{кН}}{\text{м}}$.

Нагрузка на участок перфорированной балки в зоне опирания прогона составит:

$$g_{пб} = \frac{2 \cdot r_{пр}}{B \cdot b} \left[\frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \right], \quad (8)$$

b – ширина полки прогона, выраженная в м (таблица3).

3. Моделирование расчетной схемы перфорированной балки

Ниже приведен алгоритм построения конечно-элементной модели балки в программном комплексе Structure CAD.

Выполняется запуск программы.

В открывшемся окне вводится название объекта, выбираются единицы измерения и тип схемы. Рекомендуется выбрать единицы измерения, соответствующие системе СИ. Необходимый тип схемы – система общего вида.

Для построения конечно-элементной модели необходимо задать координаты узлов, составляющих основные сечения копируемого модуля балки. За копируемый модуль принимается часть конструкции, содержащая одну перфорацию (рис.8). Координаты узлов задаются с учетом геометрических размеров балки, указанных в задании (таблица1).

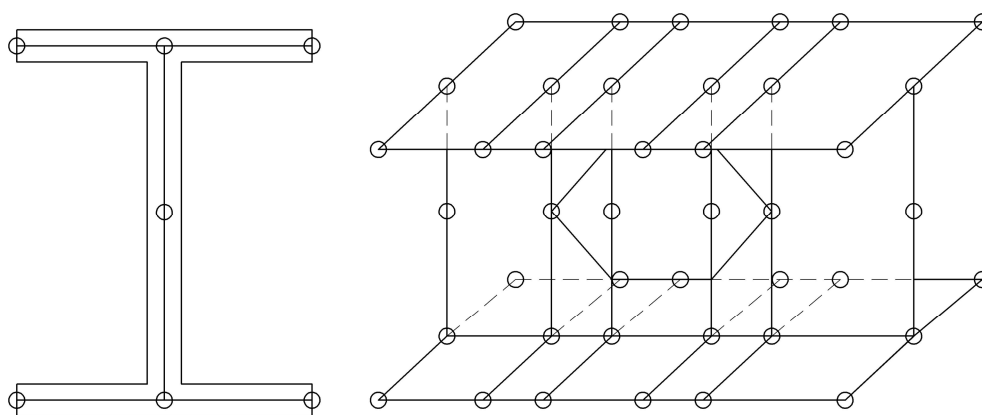


Рис.8. Расположение основных узлов копируемого модуля

Для этого следует последовательно выбрать следующие пункты:

узлы и элементы – узлы – ввод узлов

В открывшемся окне поочередно вводятся координаты узлов первого и второго сечения балки. Затем выполняется ввод четырехугольных пластин:

Узлы и элементы – элементы – добавление пластины

Поочередно выбираются узлы, составляющие пластины. После выделения каждых четырех узлов следует нажимать клавишу **Enter**.

Отображение экрана примет следующий вид (рис.9).

Далее поочередно вводятся узлы и пластины всех основных сечений копируемого модуля (рис.10).

После ввода пластин копируемого модуля следует задать материал и толщину пластин:

Назначения – назначение жесткостей пластинам

В открывшемся окне следует выбрать материал (сталь обыкновенная), после чего задать толщины пластин. Толщины поясов и стенки балки задаются в соответствии с заданием (таблица1).

Далее выполняется конечно-элементная разбивка каждой пластины:
Узлы и элементы – элементы – дробление 4-х узловых пластин.

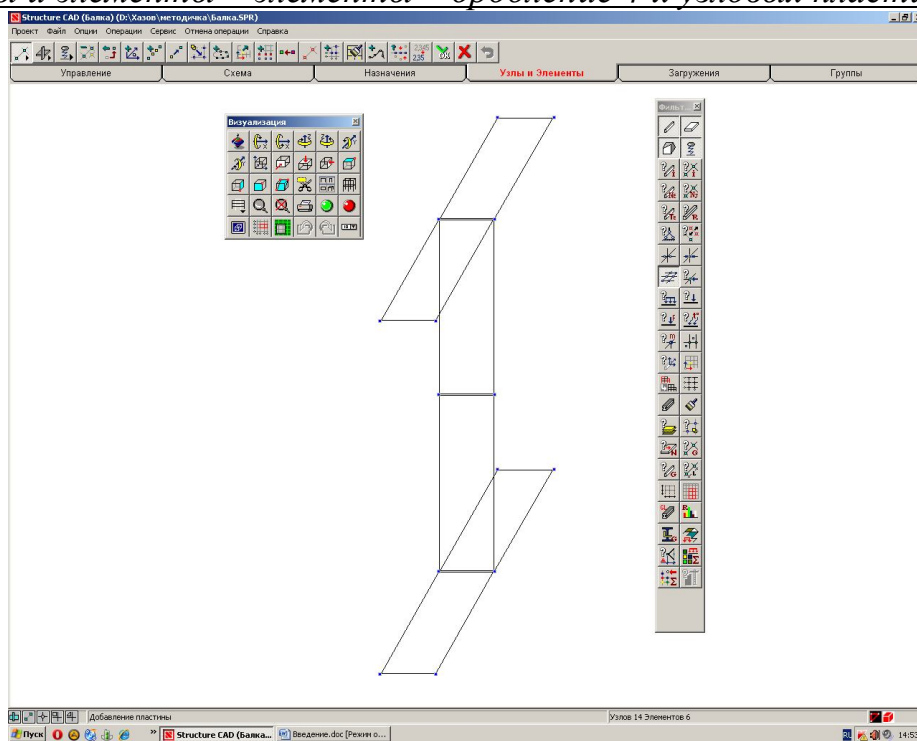


Рис.9. Добавление пластин, ограниченных первым и вторым сечениями

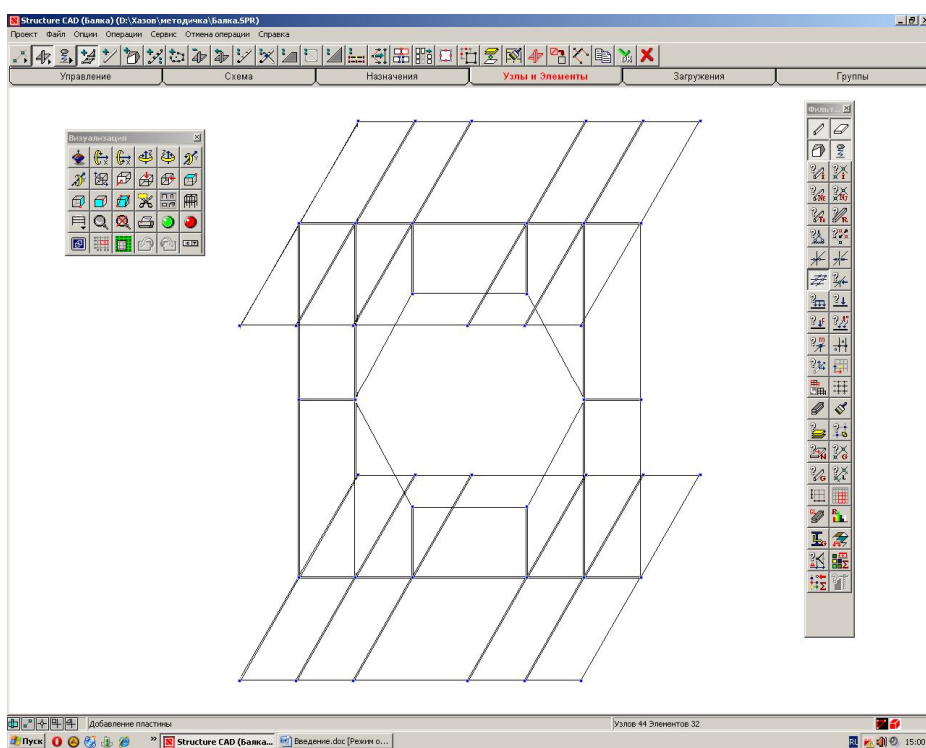


Рис.10. Первичная конечно-элементная разбивка копируемого модуля

В открывшемся окне выбирается количество дроблений для каждой пластины. Схема конечно-элементной разбивки каждой пластины приведена на рис.11.

Полученный модуль копируется следующим образом:

Схема – копирование схемы

В графе «шаг» вводится длина модуля, в графе количество – «1».

После выполнения копирования в крайнем левом сечении вводится ребро жесткости. Для ребра жесткости также необходимо выбрать толщину и выполнить конечно-элементную разбивку (рис.12).

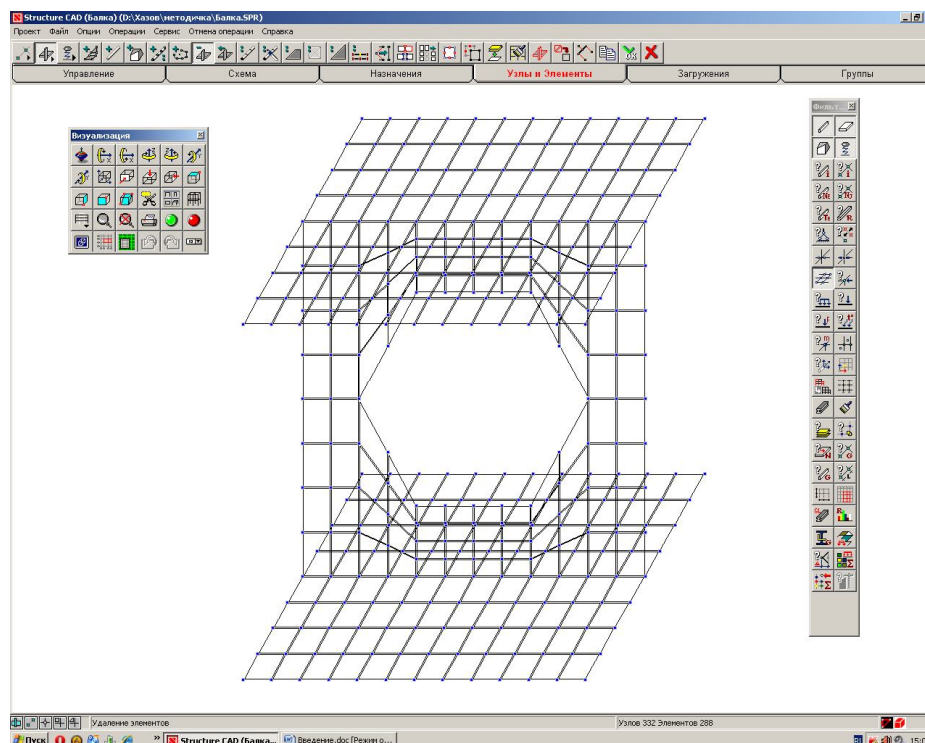


Рис.11. Итоговая конечно-элементная разбивка модуля

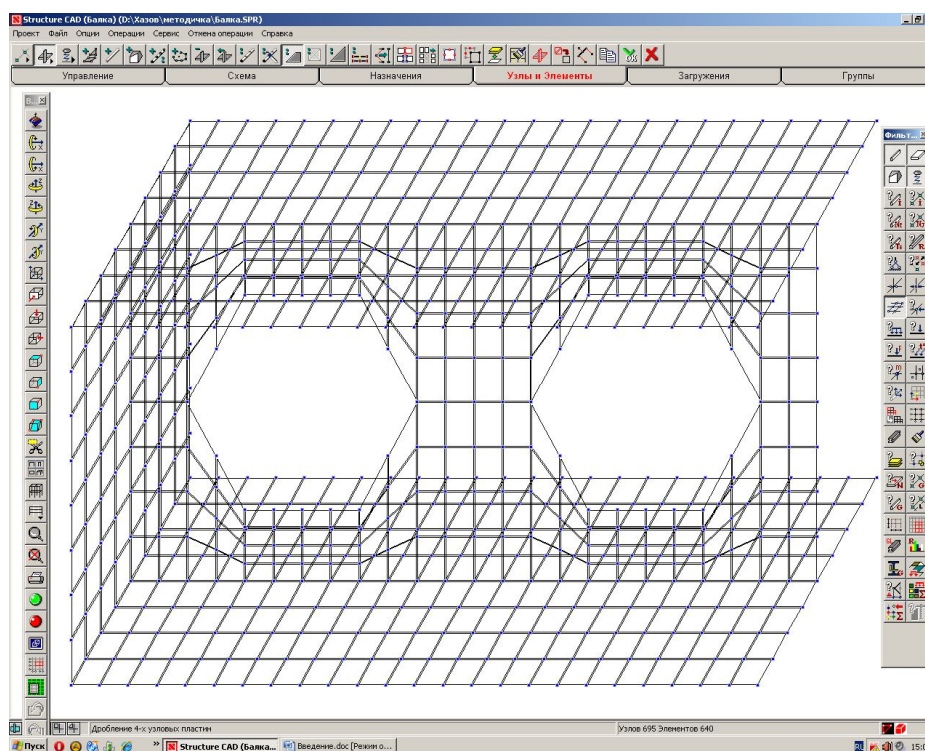


Рис.12. Итоговая конечно-элементная разбивка двойного модуля

Далее выполняется копирование схемы для создания модели балки (рис.13). При этом количество копирований определяется по формуле:

$$n = \text{ЦЕЛ}\left(\frac{l}{l_1} - 1\right), \quad (9)$$

Где l - пролет балки, l_1 - длина двойного копируемого модуля.

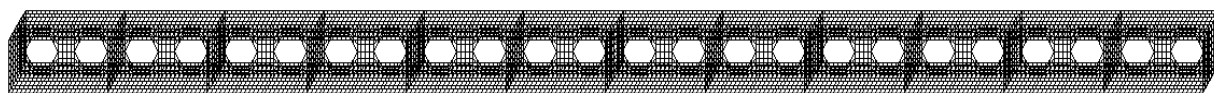


Рис.13. Модель пролетной части перфорированной балки

Полученная модель балки имеет пролет, равный $(n+1)l_1$, который меньше данного в задании пролета l . Для выполнения опорной части следует «дорастить» балку с каждой стороны на величину c :

$$c = \frac{l - (n+1)l_1}{2} \quad (10)$$

Итоговая модель балки показана на рис.14.

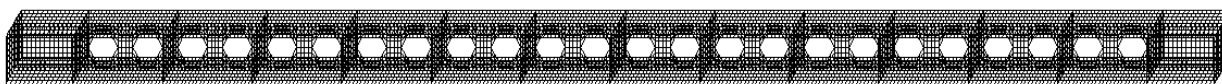


Рис.14. Итоговая конечно-элементная модель балки

Установка связей выполняется следующим образом:

Назначения – установка связей в узлах.

В открывшемся окне следует выбрать все связи, кроме U_y , что соответствует шарнирно-неподвижной опоре. Связи устанавливаются в нижние точки крайних сечений.

Далее задаются нагрузки. Алгоритм задания нагрузок:

Загрузки – нагрузки на пластины.

В открывшемся окне выбирается распределенная нагрузка, действующая вдоль оси z , а в поле «значение нагрузки» вводится величина $q_{пб}$, определяемая по формуле 8. Далее выбираются пластины, на которых осуществляется опирание прогонов на перфорированную балку. Итоговая расчетная схема балки приведена на рис.15.

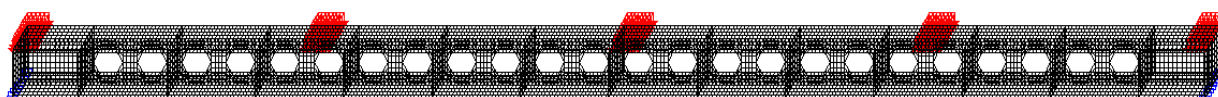


Рис.15. Итоговая расчетная схема перфорированной балки

Для учета собственного веса балки:

Загрузки – собственный вес.

4. Расчет перфорированной балки

Для выполнения расчета перфорированной балки следует выполнить следующие операции:

Управление – выйти в экран управления проектом – расчет – линейный.

После выполнения линейного расчета:

Специальные исходные данные – главные и эквивалентные напряжения.

В открывшемся окне выбирается одна из трех теорий вычисления эквивалентных напряжений. После задания данных для определения напряжений:

Расчет – главные и эквивалентные напряжения.

5. Чтение результатов

Для чтения результатов расчета необходимо войти в режим «графический анализ».

Для оценки эквивалентных напряжений:

Постпроцессоры – анализ главных и эквивалентных напряжений.

Для оценки компонентов тензора напряжений:

Поля напряжений – отображение изополей напряжений.

Для оценки перемещений:

Деформации – отображение изополей перемещений.

Представленные таким образом напряжения и перемещения точек конструкции позволяют с высокой степенью точности оценить напряженно-деформированное состояние перфорированной балки.

6. Контрольные вопросы

1. Из каких соображений изготавливают перфорированную балку?
2. Сравнить максимальные напряжения, возникающие в перфорированной балке высотой H , и в использованной для ее изготовления сварной двутавровой балки высотой h (рис.2а,б).
3. Сравнить максимальные перемещения, возникающие в перфорированной балке высотой H , и в использованной для ее изготовления сварной двутавровой балке высотой h (рис.2а,б).
4. Сравнить максимальные нормальные напряжения, возникающие в перфорированной балке, полученные из расчета конечно-элементной модели и по формуле Навье.

Список использованной литературы

1. СП 20.13330.2011 – Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.
2. ГОСТ 26020-83. Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок.
3. СП 16.13330.2011 – Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*.

Лампси Борис Борисович
Хазов Павел Алексеевич
Лампси Борис Борисович
Трянина Надежда Юрьевна

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЕРФОРИРОВАННОЙ БАЛКИ

Методические указания

студентам направления 270800.62 – «Строительство»

Подписано в печать Формат 60x90 1/16 Бумага газетная. Печать трафаретная
Уч.изд.л. . Усл.печ.л. Тираж 200 экз. Заказ №

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования

«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
603950, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65.

Полиграфический центр ННГАСУ, 603950, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65.