

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БРЕСТСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЕС ЭВМ

Методические указания

БРЕСТ - 1985

УДК 69Т.328:68Т.3 (07)

Методические указания предназначены для студентов специальностей I202 - ИГС и I205 - СХС дневной и заочной формы обучения. Они позволяют выполнить в курсовом и дипломном проектировании вариантный поиск оптимальных конструктивных решений.

Изложена методика использования вычислительного комплекса прочностного расчета конструкций по методу конечных элементов "LIRA" (НИИЧАС Госстрой УССР, г. Киев) для ОС ЕС ЭВМ в курсовом и дипломном проектировании. Приведены примеры автоматизированного расчета и проектирования плоских стержневых конструктивных схем строительных конструкций на ЕС ЭВМ.

Составители: Н.А. КОЛЕСНИКОВ
В.Г. КИВЕНКО
В.П. УЛАСЬЕВИЧ

Рецензенты:
кафедра строительной механики Белорусского ордена трудового
Красного Знамени политехнического института;
главный специалист по САПР отдела автоматизации проектных
работ института "Брестгражданпроект" Н.С. ШИКАСКИ.

Брестский инженерно-строительный институт, 1985

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в практике расчета строительных конструкций широко используется метод конечных элементов (МКЭ). На основе идей этого метода создан ряд универсальных вычислительных программ. Если по основам МКЭ имеется достаточно литературы [1, 4, ..., 11] и др., то вычислительные программы [2, 3] сопровождаются, как правило, ограниченным числом инструкций, что затрудняет их широкое использование в учебном процессе.

Настоящие методические указания преследуют цель отчасти восполнить недостаток отмеченных инструктивных материалов.

Студентам, использующим настоящие методические указания при выполнении дипломных проектов, рекомендуется проводить численные исследования на ЕС ЭВМ для получения оптимальных конструктивных решений.

I. ОБЩИЕ ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Вводимая информация разделяется на отдельные документы. Каждый документ начинается открывающейся "(" и заканчивается закрывающейся ")" круглой скобкой.

Информация внутри документа разбивается на строки. Строка от строки отделяется символом "/" - косая черта. В нулевой (самой первой) строке содержится номер документа.

В каждой строке помещается одно или несколько чисел (иногда латинских букв: идентификаторов), которые отделяются друг от друга не менее, чем одним " " - пробелом.

Дробная часть от целой отделяется "." - точкой.

Заглавный документ (документ 0) всегда вводится первым, остальные - в любом порядке.

Ввод информации в ЭВМ может быть с 80-ти колоночных перфокарт (с использованием не более 72-х первых колонок перфокарты), с 5-ти дорожечной перфоленды, с магнитной ленты и т.д.

Документы 0, I, а также с 3 по 7-ой обязательны для любой задачи.

I.1. Составление расчетных схем

Для составления расчетной схемы идеализированную схему конструкции необходимо расчленить на конечные элементы. Образовавшиеся при этом расчетные узлы пронумеровать. Нумерацию следует

вести с таким расчетом, чтобы наибольшая разность номеров узлов, относящихся к одному элементу, была минимальна. Четко обозначить опорные закрепления, чтобы был зафиксирован узел, в который вводится связь, и ее характер. Затем рекомендуется пронумеровать конечные элементы. Эта нумерация определяет последовательность задания исходной информации в массиве элементов, она при наличии местной нагрузки необходима для указания номера элемента, к которому приложена, а также облегчает чтение результатов счета.

На расчетную схему рекомендуется нанести размеры, облегчающие назначение координат узлов. Конечные элементы, имеющие одинаковые жесткостные характеристики, объединяются в жесткостные типы, номера которых рекомендуется проставить у соответствующего элемента.

Геометрии всей системы и фиксация угловых нагрузок описываются в правой декартовой системе координат X, Y, Z . Для правой системы поворот от оси OX к оси OY на угол, меньший 90° , совершается в направлении против часовой стрелки, если смотреть на плоскость OXY из какой-либо точки положительной полуоси OZ .

Для фиксации местоположения конечного элемента, местной нагрузки, усилий и напряжений, возникающих в элементе, служит местная система координат X_i, Y_i, Z_i , которая также должна быть правой декартовой. Ориентация местной системы координат приведена на рис. 1. Ось X_i всегда направлена от узла 1 (первого узла по документу 1) к узлу 2 (второму узлу по документу 1), т.е. от начала к концу стержня.

При расчете плоских рамных конструкций направления осей Y и Y_i используются только для определения знаков соответственно узловых моментов и моментов, приложенных к стержню, так как каждый узел таких систем имеет три степени свободы: 1, 2 – линейные перемещения вдоль осей X_i, Y_i , 3 – угол поворота вокруг оси Y_i (см. приложение 1).

1.2. Заполнение бланков документов исходных данных

Здесь изложены правила заполнения бланков документов исходных данных, а их формы приведены при рассмотрении конкретных примеров.

1.2.1. ДОКУМЕНТ 0. "ЗАГЛАВНЫЙ". Документ состоит из отдельных строк. Нулевая строка: (0/ – начало документа – всегда первая. Каждая последующая строка начинается с ее номера, после которого стоит "; " – точка с запятой. Далее – заполнение строк по одному из 3-х типов (см. стр. 4). Заканчивается строка "/" – наклонной чертой.

Пояснения по строкам даны в форме бланка документа 0.

Номер строки	ДОКУМЕНТ О "ЗАГЛАВНОЙ"		
	Название строки	Содержательная информация (с краткими пояснениями)	При отсутствии строки
0	нулевая строка	0/	обязательна
1	шифр задачи	Не более 80 символов. Перед каждой таблицей печатается первые 8 символов	Строка обязательна
2	Признак системы	Тип 1 (одно число) 1-плоская ферма (пл.ХО); 2-плоск. рамн. сист. (пл.ХО); 3-плоск. изгиб. сист. (пл.ХОУ); 4-пространственная ферма; 5-пространств. рамная система	Принимается признак 5
4	Вычисл. усилий в промеж. сеч. и узловых точ. конечных элем.	Тип 2. В заголовке - число сеч. для выч. усилий в стержн., либо 1 - для выч. узловых реакций конечных элементов	Усечия выч. для II и X стержня, напр. в ч. тяжести др. конечных элем.
5	Печать исходн. данных	Тип 2. В заголовке - уровень печати, р 1 перечисл. - № докум.	Должна печатать исходных данных
6	Печать перемещ. (зап. 6; /-отказ)	Тип 1. Перечисл. узлов, для кот. необходимо печатать перемещен.	Печать перемещен. всех узлов
7	Печать усилий (зап. 7; /-отказ)	Тип 1. Перечисл. эл.-ов, для кот. необходимо печатать усилия	Печать усилий всех элементов
8	Печать расчетн. сочетан. усилий	То же, что и 7 для расчетных сочетаний усилий	Печать расч. соч. усилий всех эл.-ов
9	Типы и списки эл.-ов, для кот. подбир. арматура по прочности	Тип 2. В заголовке - ссылка на строку док. 9; перечислен. - список эл.-ов, соответствующий этой строке	В задаче нет армирования
10	То же, с учетом третинообразов.	То же со ссылкой на строки документа 10	Не учитывать третинообразован.
16	Кол-во допуст. кран. и тормозн. нагр. в сочетан.	Тип 1. 2 числа: 1-е - число допустимых крановых, 2-е - тормозных нагрузок	Нагрузки от кранов не включать в расч. сочет. с силой 6
18	Пульсация (при отсутствии КР= учитывается 3 форма собств. колебаний; это относится к строке 19)	Тип 3. В заголовке КР= загруж. далее - кол-во учитываемых форм собственных колебаний с идент. КР=; величина скорости напора в кг/м ² ; признак учета пульсаций (0 - учитывать всегда, 1 - только при периоде соб. колебаний T4=0,25); тип местности (0 - тип Б, 1 - тип А); признак логарифм. декремента затухания колебаний; высота и протяженность сооружений и м	Пульсации скорости напора ветра не учитываются
19	Сейсмика	Тип 3. После заголовка с КР= загружений следует КР=; конструктивный коэффициент; коэффициент сейсмичности (0,025 - 7 баллов, 0,05 - 8 баллов, 0,1 - 9 баллов)	Сейсмическое воздействие

Отдельные строки могут не заполняться. Достаточно заполнить лишь строки 0 и 1. В этом случае расчет производится по признаку системы 5 (см. приложение 1), на печать выдаются перемещения всех узлов, усилия в начале и конце всех стержней, напряжения в центре тяжести других конечных элементов, расчетные сочетания (при наличии документа 5) для всех элементов.

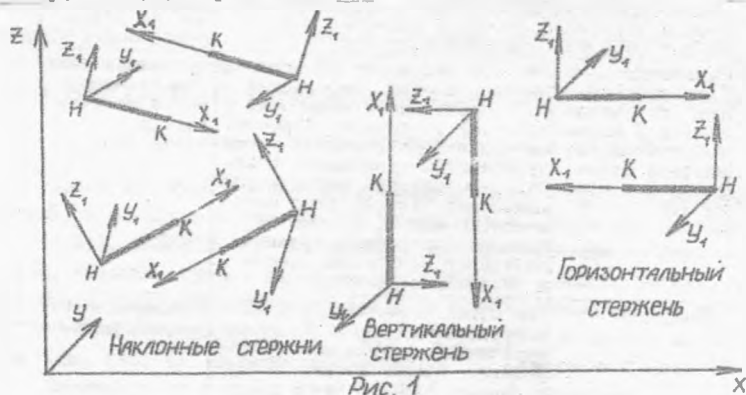
Имеется 3 типа заполнения строк документа 0:

- тип 1 - перечисление номеров элементов;
- тип 2 - заголовок из одного числа (число это - ссылка на строку документа, либо вид и группу унификации, либо число сечений и т.д.), после которого следует ":" - двоеточие; далее следует перечисление номеров элементов, заканчивающееся ";" - точкой с запятой; затем следующий заголовок со своей информацией и т.д.;
- тип 3 - заголовок из нескольких (можно одного) чисел (чаще номеров загрузок), отделяемых друг от друга "_" - пробелом; далее ":" - двоеточие, после которого следует соответствующая информация.

Приемы сокращения информации в документе 0 отличаются от остальных документов:

если элементы (или узлы) списываются подряд, то применима запись вида 1-5 (т.е. с 1-го по 5-ый), что не исключает простого перечисления вида: 1_2_3_4_5;

если элементы описываются с шагом повторения R , то запись 1_R_17_4 означает перечисление элементов с 1 по 17 с шагом 4 и аналогична записи 1_5_9_13_17 (повтор относится лишь к одному числу, стоящему перед R).



1.2.2. ДОКУМЕНТ 1. "ЭЛЕМЕНТЫ". В документе 1 приводится перечень элементов рассматриваемой системы в том порядке, в котором они указаны на расчетной схеме, с указанием типа конечного элемента (см. приложение 2), типа жесткости и номера узлов в начале и в конце стержня. Номера элементов в документе не приводятся, т.к. они записываются в строгом порядке согласно нумерации на расчетной схеме. Например для рис. 3 запись $2\text{---}1\text{---}1\text{---}2/$ (1 строка таблицы 2) означает: для стержня 1 принят тип конечного элемента 2, номер типа жесткости 1, стержень содержит узлы 1, 2. Запись $2\text{---}3\text{---}2\text{---}3/$ - (2 строка таблицы 2) означает: для стержня 2 принят тип конечного элемента 2, номер типа жесткости 3, стержень содержит узлы 2, 3.

1.2.3. ДОКУМЕНТ 2. "ШАРНИРЫ" (может отсутствовать). В документе 2 описываются элементы, в которых имеются по концам шарниры. Степени свободы могут быть 4, 5, 6 (приложение 1). В каждой строке документа можно указать наличие только одного шарнира. Например, для рис. 3 запись $1\text{---}1\text{---}5/$ - (1 строка таблицы 3) означает наличие шарнира в элементе 1 в первом по порядку из его узлов по документу 1, причем этот шарнир относительно оси Y_1 этого элемента. Запись $1\text{---}2\text{---}5/$ означает наличие такого же шарнира в том же элементе во втором по порядку из узлов элемента.

1.2.4. ДОКУМЕНТ 3. "ЖЕСТКОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ". В документе 3 записываются численные значения жесткости элементов. В одну строку можно записать не более 9-ти чисел.

Для элементов 2, 3, 5 (приложение 2) могут быть заданы следующие характеристики и идентификаторы (лучше в последовательности, указанной в таблице).

Тип КЭ (N макс.)	Наименование конечных элементов	ЖЕСТКОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ				Si в узлах с шарниром	E в узлах с шарниром	Y в узлах с шарниром	Z в узлах с шарниром	AX в узлах с шарниром	F (FK)
		EF в T	EJ _y в T _{xy}	EJ _z в T _{yz}	EJ _x в T _{xz}						
02	СТЕРЖЕНЬ ПЛОСКОЙ РАМЫ	+	+			+	+	+	+	+	
		+	+			+	+	++	++	++	
03	ПЛОСКИЙ ИЗГИБАЕМЫЙ СТЕРЖЕНЬ (СТЕРЖЕНЬ ВРАЩАЮЩЕГО РОСТВЕРЖА)		+	+		+	+	++	++	++	
			+	+	+	+	+	++	++	++	
05	СТЕРЖЕНЬ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РАМЫ	+	+	+	+			++	++	++	
					+	+				+	
		+	+	+	+	+	++	++	++	+	

Примечание: идентификаторы, применяемые в документе 3, помечены (*), звездочкой; в графах с двумя (++) плюсами задаются после идентификатора два числа.

Если известны только жесткостные характеристики, то для определения расчетных сочетаний усилий необходимо задать размеры ядра сечения.

Например, в таблице 4 запись $I_{SB} 29E5 \frac{AX}{\theta} I_{\theta}$ означает: I - первый тип жесткости; SB - идентификатор прямоугольного сечения (см. приложение 3); $29E5 = 29 \times 10^5 = 2900000$ - модуль упругости (τ/m^2); размеры сечения $b = 50$ см, $h = 80$ см; AX - идентификатор указывающий на наличие жестких участков длиной в начале стержня - 0 м и в конце стержня - $1,0$ м (см. приложение 2).

1.2.5. ДОКУМЕНТ 4. "КООРДИНАТЫ". В каждой строке документа 4, соответствующей порядковому номеру узла на схеме (рис. 3), указываются координаты X, Y, Z . Так для рис. 3 запись $0.I_{\theta}$ - (I строка таблицы 5) означает, что для I -го узла координаты равны $X = 0, Y = 0; Z = 0$.

1.2.6. ДОКУМЕНТ 5. "СВЯЗИ". В каждой строке документа 5 описываются номера узлов с указанием наложенных связей. Степени свободы узлов - см. приложение I. Например, запись $I.I_3 5$ - (I строка таблицы 6) означает, что в узле I наложены связи по направлениям I (отсутствует перемещение по оси X); 3 (отсутствует перемещение по оси Z) и 5 (отсутствует поворот относительно оси Y).

1.2.7. ДОКУМЕНТ 6. "ТИПЫ НАГРУЗОК". Каждая строка документа 6 соответствует одному типу нагрузки. В первой графе указывается номер узла или элемента; во второй - вид нагрузки (см. приложение 4), в третьей - направление нагрузки; в четвертой - номер строки в документе 7, где приведены величины нагрузок; в пятой - номер загрузки системы.

В пятой графе документа 6 номер загрузки системы может отсутствовать, тогда нагрузка автоматически отнесется к тому загрузению, номер которого впервые встретится в ближайшей предыдущей строке.

Запись $4.I_3 I$ - (I строка таблицы 7); $I4.I_3 I$ - (2 строка таблицы 7) означает, что: I строка: в 4 -м узле приложена сосредоточенная сила по направлению оси Z , ее величина указана в первой строке документа 7; нагрузка относится к первому загрузению; в 14 -м узле приложена аналогичная нагрузка. Запись $I6.I_3 25 5$ - (38 строка таблицы 7) означает: на стержень I приложена равномерно распределенная нагрузка по направлению оси Z , ее величина указана в 25 -й строке документа 7; нагрузка относится к 5 -му загрузению.

1.2.8. ДОКУМЕНТ 7. "ВЕЛИЧИНЫ НАГРУЗОК". В документе 7 в первом столбце записывается порядковый номер строки (соответствующий численному значению, указанному в столбце 4 документа 6). В следующих

столбцах указывается величина нагрузки и (если есть) ее привязка. Программно принято, что при заполнении документа 7 знак перед численным значением нагрузки (в графе 2) указывается только для нагрузок, имеющих отрицательное направление, т.е. со знаком "-".

Запись I-57.6/ (таблица 8) означает: I - номер строки в документе 7; 57.6 - численное значение нагрузки. Данная нагрузка приложена в узлах 4 и 14 (см. таблицу 7 первую и вторую строку) и является сосредоточенной силой, направленной вдоль оси Z (признак "03"), знак "+" (который опущен) указывает, что направление силы против соответствующей оси согласно принятому правилу знаков. Запись 2- -7.2/ означает: 2 - номер строки в документе 7; -7.2 - численное значение нагрузки. Данная нагрузка приложена в узле 4 (см. третью строку таблицы 7) и является сосредоточенным моментом относительно оси Y (признак "05"), знак "-" указывает, что момент направлен против часовой стрелки относительно оси Y. Запись 5-I4.5-0.6/ означает: 5 номер строки в документе 7; 14.5 - численное значение силы; 0.6 - ее привязка к первому узлу рассматриваемого стержня. Данная нагрузка приложена к стержню 3 (см. 7 строку таблицы 7) и является сосредоточенной силой, направленной по оси X₃.

1.2.9. ДОКУМЕНТ 8. "РАСЧЕТНЫЕ СОЧЕТАНИЯ УСИЛИЙ". В документе 8 описываются расчетные сочетания усилий. Каждому загрузению соответствует I строка (первая строка - первому загрузению, вторая - второму и т.д.). В первой графе каждой строки указывается вид загрузения (0 - постоянная, I - временная длительно действующая, 2 - кратковременная, 3 - крановая, 4 - тормозная, 5 - особая). Во второй графе указываются признаки объединения нескольких кратковременных в одну объединенную кратковременную. В третьей графе указывается признак знакопеременной нагрузки. В 4 и 5 графах указываются признаки взаимоисключающих нагрузок (например, ветер слева и ветер справа), а в 6 и 7 графах - признаки сопутствующих (тормозная нагрузка всегда соответствует вертикальному давлению кранов). В восьмой графе указываются коэффициенты надежности по нагрузке, а в 9 - длительность действующей части нагрузки в долях от единицы. Столбцы, начиная с 10 заполняются коэффициентами, с которыми нагружения (по строкам) входят в расчетные сочетания (графа 10 - I-е основное сочетание, графа 11 - 2-е основное сочетание и т.д.). Коэффициенты принимать согласно СНиП II-6-74 (пп I.II, ..., I.I6; 4.I5). Нулевая графа не перфорируется.

В таблице 9 запись пятой строки (загружение 5) 2-0-1-0-0-0-0-1-0-0-1-0-0.9-0.9-0.9/ означает, что вид нагрузки "2" -

относится к кратковременным; "0" - нагрузка не относится к объединенным кратковременным; "1" - является знакопеременной нагрузкой; последующие четыре нуля означают, что данная нагрузка не относится к взаимоисключающим и сопутствующим; следующее число "1" показывает, что коэффициент перегрузки принят 1; "0" - нагрузка не является длительно действующей; последние пять цифр - коэффициенты, с которыми входит данная нагрузка в расчетные сочетания нагрузок.

1.2.10. ДОКУМЕНТ 9. "АРМИРОВАНИЕ ПО ПРОЧНОСТИ". В документе 9 приводятся необходимые данные для подбора арматуры в железобетонных элементах из условия прочности. Порядковые номера строк документа 9 (не перфорируются) соответствуют числам в заголовках списков строки 9 заглавного документа. Графы 1-4 заполняются, если есть сжимающая сила; если нет - 0; в графе "A2" - 0; в графе "№ модуля армирования" - 1; класс арматуры записывается буквенными символами в кавычках ('A T 5', 'B P I'). Коэффициенты условий работы принимать по таблице 15 и таблице 24 СНиП II-21-75. Пример заполнения документа 9 - см. таблицы 10, 19, 36.

1.3. Сокращение объема исходной информации

В документах с I по II можно использовать оператор повторений, размещаемый в 2-х строках.

Первая строка начинается с символа R, за которым (через пробелы) следуют 3 целых числа: количество повторяемых строк; количество повторений этих строк; номер строки, от которой отсчитывается число повторяемых строк. Если третье число (номер строки) отсутствует, то повторяются строки непосредственно предшествующие признаку повторений. Строка с номером документа является нулевой.

Во второй строке указываются шаги повторений, которые для каждой графы могут быть различными как по величине, так и по знаку. Например, для документа 2 (таблица 3):

сокращенная запись:

II-1-5/
II-2-5/
R-2-2/
I/)

запись в развернутом виде:

II-1-5/
II-2-5/
I2-1-5/
I2-2-5/
I3-1-5/
I3-2-5/

Порядковый номер строки и число строк, отсчитываемых оператором повторений R определяются в развернутом виде.

Использование признака повтора R с отрицательной величиной шага в графах 2 и 3 документа 6 запрещается.

2. РАСЧЕТ ПОПЕРЕЧНОЙ РАМЫ ОДНОЭТАЖНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ

Конструктивная схема и схема приложения нагрузок показаны на рис. 2. Шаг колонн - 12 м. Сечения подкрановых частей 50×60 (н) см, подкрановых 50×80 (н) см.

Расчетная схема поперечной рамы и виды загрузок приведены на рис. 3. Исходная информация о расчетной схеме подготовлена в документах 0, ..., 9 согласно п. 1.2. и представлена в таблицах 1, ..., 10.

2.1. Оформление пакета-задания для выполнения расчетов на ЕС ЭВМ

После составления и проверки исходной информации на специальных бланках (табл. 1, ..., 10) выполняется набивка перфокарт, проверка распечатанных исходных данных, внесение необходимых исправлений (если имелись ошибки) и счет на ЭВМ.

При передаче перфокарт на счет следует в начале и в конце пакета перфокарт с исходными данными вставить перфокарты с управляющими процедурами.

2.2. Чтение результатов счета

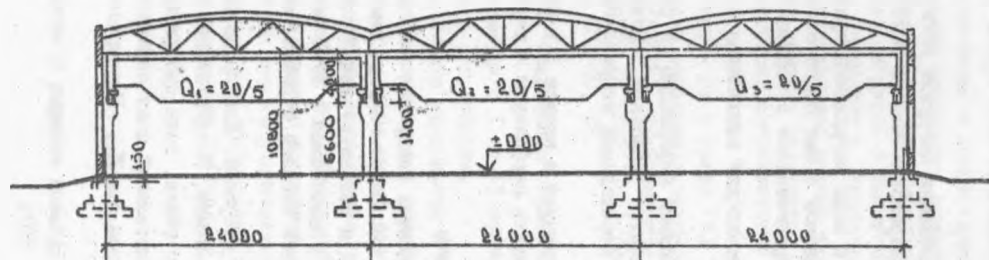
В результате счета на печать выдаются следующие величины:

1. Линейные перемещения узлов в мм. Положительный знак означает совпадение направления перемещения и соответствующей оси.

2. Углы в поворотах в радианах, увеличенные в 1000 раз. Положительный знак означает поворот против часовой стрелки, если смотреть с конца соответствующей оси.

3. Усилия, принадлежащие концам стержней. Для продольного усилия положительный знак означает растяжение. Положительный момент действует на сечение против часовой стрелки, если смотреть с конца оси X_1 . Для поперечной силы положительный знак означает, что ее направление совпадает с направлением оси Z_1 . Размерность усилий в т и тм.

4. Расчетные сочетания усилий, таблица которых в заголовке имеет следующие обозначения (см. стр. 19):



10

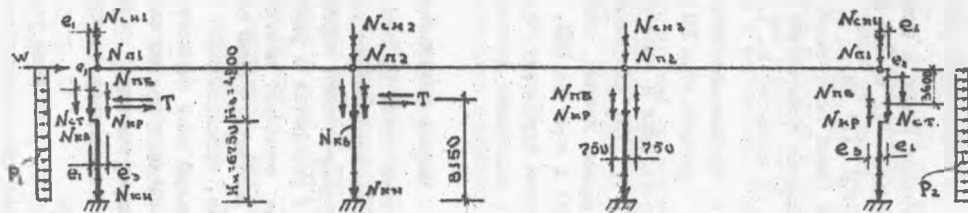
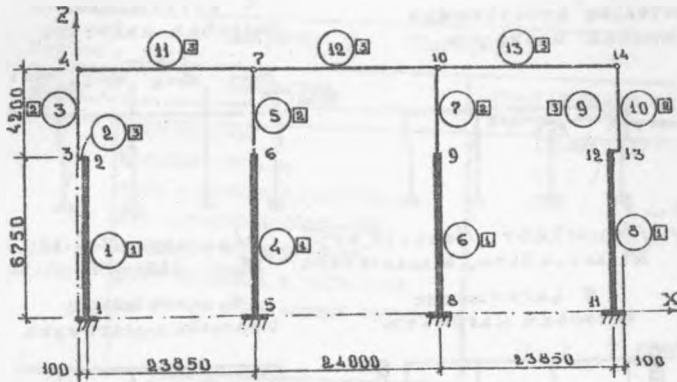
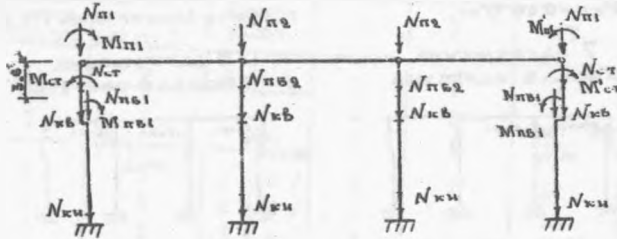


Рис. 2.



„1“ - номер узла; ① - номер стержня, П - тип жесткости

1 загрузка - постоянная нагрузка.



$N_{п2} = 115,2 \text{ т}$

$N_{п1} = 57,6 \text{ т}; M_{п1} = 7,2 \text{ тм}; N_{кв} = 3,5 \text{ т}; N_{кв1} = 7,4 \text{ т};$
 $M_{п1} = -7,2 \text{ тм}; M_{ст} = -6,09 \text{ тм}; N_{пв1} = 41,8 \text{ т}; N_{пв2} = 23,6 \text{ т};$
 $N_{ст} = 14,5 \text{ т}; M_{ст} = 6,09 \text{ тм}; M_{пв1} = -7,08 \text{ тм}; M_{пв2} = 7,08 \text{ тм};$

2 загрузка - длительно действующая краевая нагрузка



$N_{д11} = 85,9 \text{ т}; N_{д12} = 7,06 \text{ т};$
 $M_{д11} = -15,54 \text{ тм}; M_{д12} = 5,38 \text{ тм}$

Рис. 3.

3 загрузка
длительно действующая
крановая нагрузка



$$N_{k11} = 7,06 \text{ т}; N_{k12} = 25,9 \text{ т};$$

$$M_{k11} = -4,24 \text{ тм}; M_{k12} = 19,43 \text{ тм}.$$

4 загрузка
снеговая нагрузка



$$N_{k11} = 10,00 \text{ т}; N_{k12} = 20,16 \text{ т};$$

$$M_{k11} = -1,25 \text{ тм}; M_{k12} = 1,26 \text{ тм}.$$

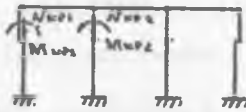
5 загрузка
ветровая нагрузка



$$P_e = -0,41 \text{ т/м}; W = -0,73 \text{ т};$$

$$P_e = -0,26 \text{ т/м};$$

6 загрузка
крановая нагрузка



$$N_{k11} = 66,2 \text{ т}; N_{k12} = 10 \text{ т};$$

$$M_{k11} = -39,7 \text{ тм}; M_{k12} = 13,9 \text{ тм}.$$

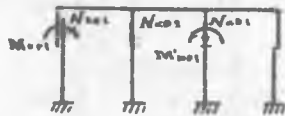
7 загрузка
крановая нагрузка



$$N_{k11} = 10 \text{ т}; N_{k12} = 66,2 \text{ т};$$

$$M_{k11} = -10,0 \text{ тм}; M_{k12} = 49,7 \text{ тм}.$$

8 загрузка
крановая нагрузка



$$N_{k11} = 11,9 \text{ т}; N_{k12} = 110 \text{ т};$$

$$M_{k11} = -0,9 \text{ тм}; M_{k12} = 11,9 \text{ тм}.$$

9 загрузка
торможение крана



$$T = 2,13 \text{ т}.$$

10 загрузка
торможение крана



$$T = 2,13 \text{ т}.$$

Продолжение рис. 3.

Таблица 1

№ строки в документе	Документ №. "Заглавный"	
	Пояснения	Содержательная информация
1	шифр задачи	1; ТЕСТ 1/
2	признак системы	2: 2 /
9	типы и списки элементов, для которых подбираются арматура по прочности	9; I: 1 - 4 - 6 - 8; 2: 3 - 5 - 7 - 10 /
16	учет крановых и торсионных нагрузок в расчетных сочетаниях	16; 2 - 1 /)

Таблица 2

Документ 1. "Элементы"								
Тип конечного элемента	ко-типы жесткости в документе	№ узла	№ узла	Номера узлов				
				1	2	3	4	
1	2	3	4	2	1	8	9 /	
(1 /				2	2	9	10 /	
				2	1	11	12 /	
2	1	1	2 /	2	3	12	13 /	
2	3	2	3 /	2	2	13	14 /	
2	2	3	4 /	2	3	4	7 /	
2	1	5	6 /	2	3	7	10 /	
2	2	6	7 /	2	3	10	(14 /)	

Таблица 3

Документ 2. "Шарниры"						
К элемента	№ узла	№ степени свободы	Номера степеней свободы			
			1	2	3	
1	2	3	II	2	5 /	
(2 /			R	2	2 /	
II	I	5 /	I /)			

Таблица 4

Документ 3. "Жесткостные Характеристики"							
№ типа жесткости	Жесткостные характеристики						
(3 /							
I	S Ø	29E5	5Ø	8Ø	ΔX	Ø	I.Ø /
2	S Ø	29E5	5Ø	6Ø/			
3	S Ø	33E8	5Ø	2ØØ /)			

Таблица 5

Документ 4. "Координаты"										
X	1	Y	1	Z	1	I	1	2	1	3
I		2		3		47.95		Ø		Ø /
(4 /						47.95		Ø		6.75 /
Ø.I		Ø		Ø /		47.95		Ø		IØ.95 /
Ø.I		Ø		6.75 /		7I.8		Ø		Ø /
Ø		Ø		6.75 /		7I.8		Ø		6.75 /
Ø		Ø		IØ.95 /		7I.9		Ø		6.75 /
23.95		Ø		Ø /		7I.9		Ø		IØ.95 /)
23.95		Ø		6.75 /						
23.95		Ø		IØ.95 /						

Таблица 6

Документ 5. "Связи"										
№ узла	Номера степеней свободы, на которые наложены связи					I	2	3	4	
I	2	3	4	!	!	5	I	3	5 /	
(5 /						8	I	3	5 /	
I	I	3	5 /			II	I	3	5 /)	

Таблица 7

Документ 6 . "Типы нагрузок"					
№ узла или элемента	вид нагружения	направление	жесткость	строение в грунте	нагрузка
1	2	3	4	5	
	∅	3	I	I/	6 / 0 5 17 /
I4	∅	3	I/		2 / 0 3 16 3 /
4	∅	5	2/		2 / 0 5 18/
I4	∅	5	3/		6 / 0 3 14/
7	∅	3	4/		6 / 0 5 19/
I∅	∅	3	4/		4 / 0 3 20
3	5	I	5/		4 / 0 5 21/
3	5	5	6/		7 / 0 3 23/
I∅	5	I	5/		I∅ / 0 3 23/
I∅	5	5	9/		I4 / 0 3 20/
2	∅	3	7/		I4 / 0 5 22/
2	∅	5	8/		I 6 3 25 5/
3	5	I	I2/		3 6 3 25/
I	5	I	I3/		4 0 I 24/
6	∅	3	II/		8 6 3 26/
4	5	I	I3/		I∅ 6 3 26/
5	5	I	I2/		2 0 3 27 6/
9	∅	3	II/		2 0 5 28/
6	5	I	I3/		6 0 3 29/
7	5	I	I2/		6 0 5 30/
I∅	5	I	I2/		2 0 3 29 7/
I2	∅	3	7/		2 0 5 31/
I2	∅	5	I∅/		6 0 3 27/
8	5	I	I3/		6 0 5 32/
2	∅	3	I4	2/	2 0 3 33 8/
2	∅	5	I5/		2 0 5 34/
6	∅	3	I6/		6 0 3 36/
					9 0 3 33/
					9 0 5 35/
					3 5 3 37 9/
					5 5 3 37 I∅/)

Таблица 8

Документ 7. "Величины нагрузок"						
К:	Величины	привязка	И	2	3	
строки:	нагрузок	нагрузок, м				
	(т, тм, т/м)	(только для				
		стержней)				
			19	19.43/		
I	2	3	20	10.08/		
			21	- 1.26/		
(7 /			22	1.26/		
I	57.6/		23	20.16/		
2	- 7.2/		24	- 2.73/		
3	7.2/		25	- 0.41/		
4	115.2/		26	- 0.26/		
5	14.5	0.6/	27	66.2/		
6	- 6.09	0.6/	28	- 39.7/		
7	11.8/		29	18.0 /		
8	- 7.08/		30	13.5 /		
9	6.09	0.6/	31	10.8/		
10	7.08/		32	49.7/		
11	23.6/		33	14.9/		
12	3.5	2.1/	34	- 8.9/		
13	7.4	3.375/	35	11.2/		
14	25.9/		36	110.0 /		
15	- 15.54/		37	2.13	1.4/)	
16	7.06/					
17	5.3/					
18	- 4.24/					

Примечание: Силы $N_{кв}$ и $N_{км}$ приложены в центрах тяжести соответствующих участков.

Таблица 9

Документ 8.		Расчетные сочетания уюиллий															
№ нагрузки желей	Вид загрузки желей	Объемные кратковременные нагрузки:	Знакопеременные нагрузки: I - да, 0 - нет	Взаимоисключительные нагрузки: ки	Сопутствующая нагрузка: тормозные	Коэф.перегрузки: ки	Коэф.доли дейст.нагр.	Коэффициенты для расчетных сочетаний									
								0	I	2	3	4	5	6	7	8	9
								(8/									
1	0	0	0	0	0	0	0	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I /
2	3	0	0	I	0	0	0	I	I	0	0	0	0	I	0	0	0 /
3	3	0	0	I	0	0	0	I	I	0	0	0	0	I	0	0	0 /
4	2	0	0	0	0	0	0	I	0	I	0	0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9 /
5	2	0	I	0	0	0	0	I	0	0	I	0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9 /
6	3	0	0	2	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9 /
7	3	0	0	2	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9 /
8	3	0	0	2	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9 /
9	4	0	I	3	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9 /
10	4	0	I	3	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9 /)

Таблица 10

Документ 9. "Армирование по прочности"															
№ по- ряд- ку	Свобод- ные дли- ны, м		Расчет- ные дли- ны, м		Расстояния до центров тяжести арматуры, см		№ по- дуля арми- рова- ния	Мар- ка бето- на	Класс про- дол- ной арма- туры	Класс попе- роч- ной арма- туры	Коэффициенты условий работы				Призна- статис- тической опреде- ленности
	L _Y	L _Z	L _Y	L _Z	A1	A2					бетона	прод. арма- туры	попе- рочн. арма- туры	MA1	
(9 /															
1	6.75	6.75	10.1	5.4	5	∅	I	3∅∅	A3 ^v	A1 ^v	∅.85	I	I	I	∅ /
2	4.2	4.2	8.4	6.3	5	∅	I	3∅∅	A3 ^v	A1 ^v	∅.85	I	I	I	∅ /)

Примечание: L_Y - расчетная длина колонны в плоскости рамы;
L_Z - то же, из плоскости рамы.

ЭДМ - номер элемента, для которого выбираются расчетные сочетания; СЧ - порядковый номер сечения элемента; ПР - номер процедуры для выбора расчетных сочетаний (процедура I для стержня); КР - порядковый номер критерия, по которому определялись расчетные сочетания усилий; КО - указывает, по какому сочетанию нагрузка выбрано данное сочетание усилий; КС - указывает, вошли ли в расчетные сочетания усилий крановые нагрузки.

Далее вы печатаются столбцы усилий N , M , Q - соответственно нормальная сила, момент и перерезывающая сила, действующие в сечении элемента. Рядок с буквами N , M , Q в столбцах добавлены обозначения C , D , которые расшифровываются так: C - суммарные расчетные сочетания усилий; D - расчетные сочетания усилий от длительно-действующей части нагрузок.

5. Площадь продольной и поперечной арматуры в см^2 .

3. РАСЧЕТ МНОГОЭТАЖНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ РАМЫ

3.1. Данные для проектирования

Поперечный разрез здания показан на рис. 4. Нумерация узлов и стержней приведена на рис. 5.

Материал конструкций: бетон марки 300, продольная рабочая арматура класса А-III, поперечная класса А-I.

Геометрические характеристики сечений:

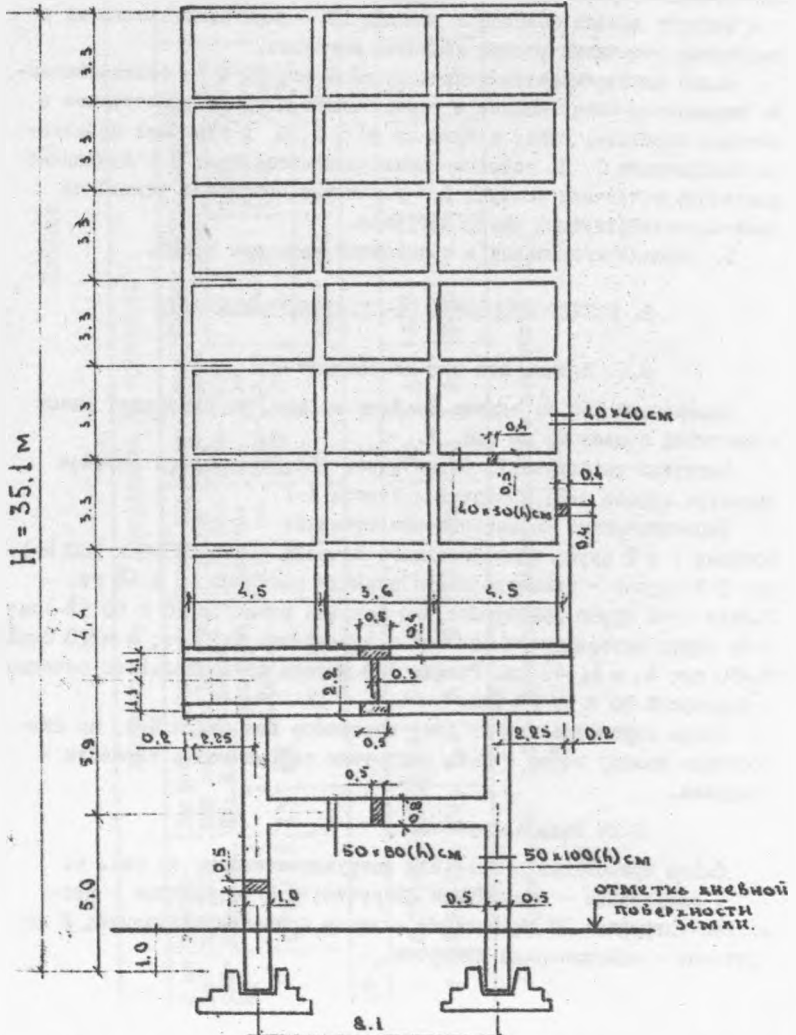
Колонны I и 2 яруса прямоугольного сечения размером 50×100 (h) см; 3-9 ярусов - прямоугольного сечения размером 40×40 см. Ригели I-го яруса прямоугольного сечения размером 50×80 (h) см; 2-го яруса двутаврового сечения с размерами: $b=30$ см; $h=220$ см; $b_1=50$ см; $h_1 = h_2=40$ см. Ригели 3-9 ярусов прямоугольного сечения с размерами 40×50 (h) см.

Район строительства по весу снегового покрова - П-й, по скоростному напору ветра - III-й, расчетная сейсмичность площадки - 7 баллов.

3.2. Виды загружений

Схемы приложения и величины нагрузок показаны на рис. 6:

I загрузка - постоянная нагрузка; II, III загрузка - временная нагрузка; IV загрузка - ветер с учетом пульсаций; V загрузка - сейсмическая нагрузка.



Примечание. Длина здания 48 метров. Рис. 4.

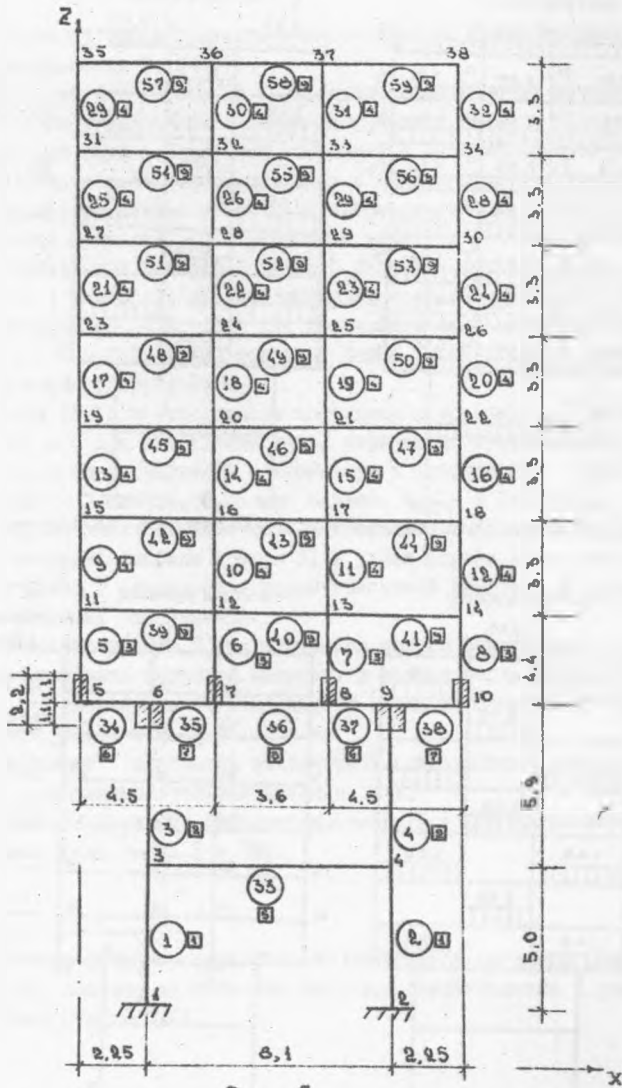
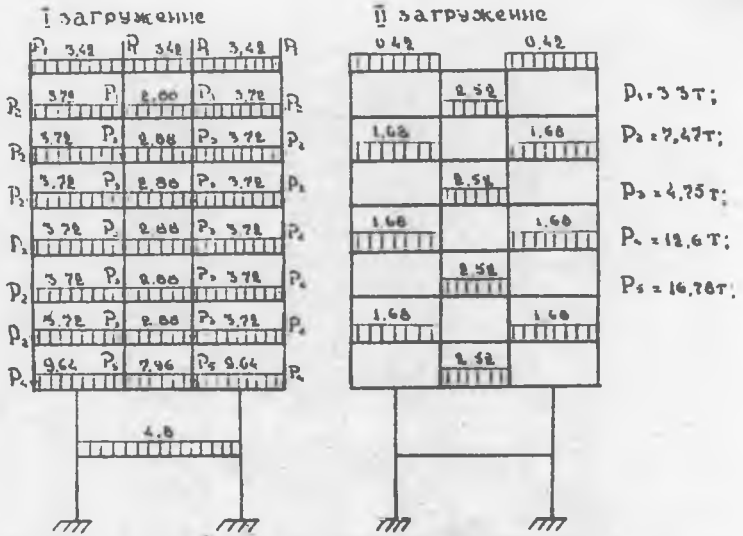


Рис. 5.



Примечание. Равномерно распределенная нагрузка в т/м.

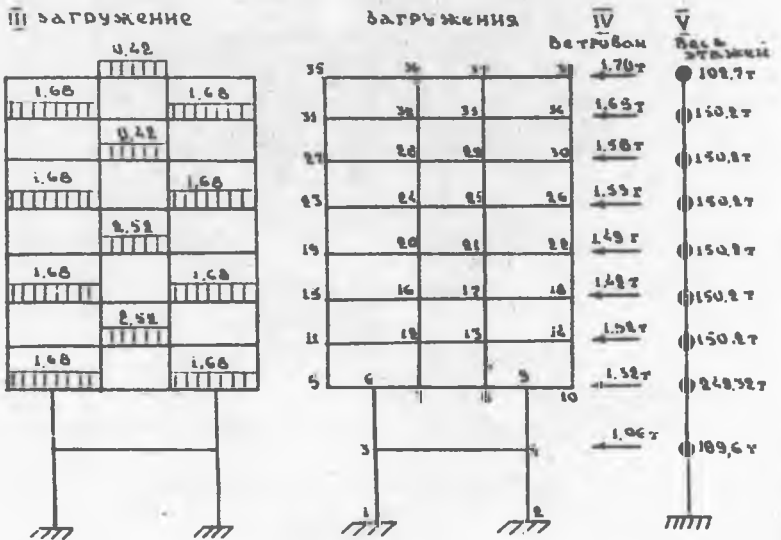


Рис. 6.

3.3. Заполнение бланков документов исходных данных

В отличие от рассмотренного примера имеются особенности заполнения документов 0, 6 и 7.

В документе 0 в строке I8 (пульсация) записывается последовательно следующая информация: номер загрузки, далее - количество учитываемых форм собственных колебаний с идентификатором КФ (при отсутствии такой информации, как в данном примере, учитывается 3 формы); расчетная величина скоростного напора в кг/м^2 ; признак учета пульсаций (0 - учитывать всегда, 1 - только при периоде собственных колебаний более 0,25 сек); тип местности (0 - тип Б, 1 - тип А); признак логарифмического декремента затухания колебаний (0 - $\delta = 0,3$ - для железобетонных и каменных сооружений; 1 - $\delta = 0,15$ - для стальных башен, мачт и др.); высота и протяженность сооружения в м.

В строке I9 (сейсмика) после заголовка с номером загрузки следует КФ = (при отсутствии такой информации учитывается 3 формы); затем конструктивный коэффициент и коэффициент сейсмичности (0,025 - 7 баллов, 0,05 - 8 баллов, 0,1 - 9 баллов).

При динамических воздействиях в документе 6 указывается направление степеней свободы (графа 3) в узлах (графа I) и номера строк документа 7 (графа 4) с характеристикой нагрузки в данном узле по заданному направлению.

В строках документа 7 при пульсации подряд записываются вес этажа, в т; величина ветровой нагрузки в уроне перекрытия этого этажа, в т; расстояние от поверхности земли до соответствующего перекрытия (узла), в м.

При сейсмике^ж в строках документа 7 записываются величины весов по направлению степеней свободы, в т.

Заполнение остальных документов (табл. II + I9) аналогично разобранному (см. табл. I + I0).

^ж сейсмические нагрузки определяются программой согласно СНиП П-А.12-69, поэтому их значения подлежат корректировке с учетом требований СНиП П-7-81.

Таблица II

Документ 0. "Заглавный"		
№ стр	Пояснения	Содержательная информация
(ϕ /		
1	Шифр задачи	I; ТЕСТ 2 /
2	Признак системы	2; 2 /
4	Вычисление усилий в промежуточных сечениях стержней и узловых точках конечных элементов	4; 3: 33 - 59 /
9	Типы и списки элементов, для которых подбирается арматура по прочности	9; I: I - 2; 2: 3 - 4; 3: 5 - 8; 4: 9 - 32; 5: 33 - 59 /
18	Пульсация	18; 4: 58.5 - ϕ - I - ϕ - 34. I - 48 /
19	Сейсмика	19; 5: KF = 3 - I - ϕ. ϕ25 /

Таблица I2

Документ I. "Элементы"							
Тип конечн. элем.	Тип жестк. в док. 3	Номера узлов		I	2	3	4
		1	2				
I	2	3	4	ϕ	4	5/	4/
(I /							
2	I	I	3/	2	5	3	4/
2	I	2	4/	2	6	5	6/
2	2	3	6/	2	7	6	7/
2	2	4	9/	2	8	7	8/
2	3	5	11/	2	6	8	9/
2	3	7	12/	2	7	9	10/
2	3	8	13/	2	9	11	12/
2	3	10	14/	2	9	12	13/
2	4	11	15/	2	9	13	14/
2	4	12	16/	2	9	14	15/
2	4	13	17/	ϕ	ϕ	4	4/)
2	4	14	18/				

Таблица I3

Документ 3. "Бесткосные характеристики"							
№ типа: мест- кости	Бесткосные характеристики						
	(3 /						
1	S Ø	2600000	50	IØØ/			
2	AX	Ø	I.I	S Ø	2600000	50	IØØ/
3	AX	I.I	Ø	S Ø	2600000	40	40/
4	S Ø	2600000	40	40/			
5	S Ø	2600000	50	80/			
6	S 3	2600000	30	220	50	40	50
Ø	40	AX	Ø.2	Ø.5/			
7	S 3	2600000	30	220	50	40	50
Ø	40	AX	Ø.5	Ø.2/			
8	S 3	2600000	30	220	50	40	50
Ø	40	AX	Ø.2	Ø.2/			
9	S Ø	2600000	40	50/)			

Таблица I4

Документ 4.			"Координаты"			
X	Y	Z	1	2	3	
I	1	2	3	8.I	Ø	IØ.9 /
(4 /				IØ.35	Ø	IØ.9 /
2.25	Ø	Ø /		I2.6	Ø	IØ.Ø /
IØ.35	Ø	Ø /		Ø	Ø	I5.3 /
2.25	Ø	5 /		4.5	Ø	I5.3 /
IØ.35	Ø	5 /		8.I	Ø	I5.3 /
Ø	Ø	IØ.9/		I2.6	Ø	I5.3 /
2.25	Ø	IØ.9/		R	4	6 /
4.5	Ø	IØ.9/		Ø	Ø	3.3/)

Таблица 15

Документ 5. "Связи"							
№ узла	Номера степеней свободы, на которые наложены связи						
	1	2	3	4	5	6	7
I	2	3	4	5	6	7	8/
(5/							9/
1	I	3	5/				I0/
2	I	3	5/				II I/
3	I/						I2/
4/							I3/
5	I/						I4/
6/							R 4 6/
7/							4 0/)

Примечание: Строка, после которой следуют строки, где заполнена лишь графа I, показывает узел и направление, по которому перемещение этого узла одинаково с последующими (имеющими: лишь номера в графе I) узлами.

Таблица 16

Документ 6. "Типы нагрузок"									
№ узла или элемента	Вид нагрузки	Напр. нагрузки	№ строки в документе	№ нагрузки в документе					
					1	2	3	4	5
I	2	3	4	5	38	6	3	5/	
(6/					39	6	3	2/	
33	6	3	4	I/	40	6	3	3/	
34	6	3	5/		41	6	3	2/	
35	6	3	5/		R	3	5/		
36	6	3	6/		3	0	0	0	0/
37	6	3	5/		57	6	3	I/	
					58	6	3	I/	

Продолжение табл. 16

	I	2	3	4	5		I	2	3	4	5
59	6	3	I/			59	6	3	I2/		
5	∅	3	I∅/			34	6	3	I3		3/
7	∅	3	II/			35	6	3	I3/		
8	∅	3	II/			37	6	3	I3/		
I∅	∅	3	I∅/			38	6	3	I3/		
II	∅	3	8/			4∅	6	3	I4/		
I2	∅	3	9/			46	6	3	I4/		
I3	∅	3	9/			52	6	3	I4/		
I4	∅	3	8/			42	6	3	I3/		
R	4	5/				44	6	3	I3/		
4	∅	∅	∅	∅/		R	2	2/			
35	∅	3	7/			6	∅	∅	∅	∅/	
36	∅	3	7/			58	6	3	I2/		
37	∅	3	7/			4	∅	I	I5		4/
38	∅	3	7/			I∅	∅	I	I6		4/
36	6	3	I4	2/		I4	∅	I	I7		4/
43	6	3	I4/			I8	∅	I	I8		4/
R	I	2/				22	∅	I	I9		4/
6	∅	∅	∅	∅/		26	∅	I	2∅		4/
39	6	3	I3/			30	∅	I	2I		4/
4I	6	3	I3/			34	∅	I	22		4/
R	2	2/				38	∅	I	23		4/
6	∅	∅	∅	∅/		R	9	I/			
57	6	3	I2/			∅	∅	∅	∅		I/)

Примечание. Вид нагрузки: ∅ - узловая; 5 - сосредоточенная местная; 6 - равномерно распределенная.

Таблица 17

Документ 7. "Величины нагрузок"										
№ стр.	Величины нагрузок					I	2	3	4	5
I	2	3	4	5		II	16.78/			
(7/						I2	0.42/			
I	3.42/					I3	1.68/			
2	3.72/					I4	2.52/			
3	2.88/					I5	109.6	1.06	5/	
4	4.8/					I6	249.32	1.82	10.9/	
5	9.64/					I7	150.2	1.52	15.3/	
6	7.96/					I8	150.2	1.42	18.6/	
7	3.3/					I9	150.2	1.49	21.9/	
8	7.47/					I20	150.2	1.53	25.2/	
9	4.75/					I21	150.2	1.58	28.5/	
I0	12.6/					I22	150.2	1.65	31.8/	
						I23	102.7	1.70	35.1/)	

Таблица 18

Документ 8. "Расчетные сочетания"															
№ нагрузки	Вид загрузки	Объемин. - крат.	коэфрм. нагрузка	анаконпеременная	1 - да, 0 - нет	взаимоисключающ.	щие нагрузки	сопутствующие	тормозные	нагрузки	коэффициент	перегрузки	доли графа коэф.	дли. действ. нагр.	Коэффициенты для расчетных сочетаний
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	I1	I2	I3	I4	I5
(8/															
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	I	I	I	0.9/	
2	2	I	0	0	0	0	0	0	0	I	0.5	I	0.9	0.5/	
3	2	I	0	0	0	0	0	0	0	I	0.5	I	0.9	0.5/	
4	2	0	I	0	0	0	0	0	0	I	0	I	0.9	0/	
5	5	0	I	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0	I/)	

Таблица 19

Документ 9. "Армирование по прочности"															
Номер по порядку	свободные расчетные длины, м				расстояния до центров тяжести арматуры, см	класс арматуры	класс бетона	класс продольной арматуры	класс поперечной арматуры	Коэффициенты условий работы				Признак статической осредненности	
	L ₁ S	L ₂ S	L ₁ Y	L ₂ Y						Бетона		прод. арм. трубы	поперечн. арм.		
										МБ1	МБ2				МБ1
(9/	5.0	5.0	5.0	5.0	7	Ø	I	300	A3	A1	0.85	I	I	I	Ø/
	5.9	5.9	5.9	5.9	7	Ø	I	300	A3	A1	0.85	I	I	I	Ø/
	4.4	4.4	4.4	4.4	4	Ø	I	300	A3	A1	0.85	I	I	I	Ø/
	3.3	3.3	3.3	3.3	4	Ø	I	300	A3	A1	0.85	I	I	I	Ø/
	Ø	Ø	Ø	Ø	4.5	Ø	I	300	A3	A1	0.85	I	I	I	Ø/)

4. РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БЕЗРАСКОСНОЙ ФЕРМЫ

4.1. Задание на проектирование*

Рассчитать стропильную ферму для покрытия однопролетного здания с сеткой колонн 18×6 м с подвесными кранами. Место строительства - г. Брест (I-й снеговой район).

4.2. Выбор схем загрузки и расчет нагрузок

Схема I - загрузка фермы по всему пролету постоянной нагрузкой (от собственной массы, массы железобетонных панелей размером $1,5 \times 6$ м, бетона швов и кровли).

При расчетной нагрузке от покрытия, равной 480 кгс/м^2 (определение величины нагрузки опущено), в местах опирания плит на ферму передаются силы

$$P_1 = 0,48 \times 6 \times 1,5 = 4,32 \text{ тс}$$

Собственный вес фермы условно сосредоточен в узлах нижнего пояса (рис. 8,а)

$$P_2 = 7,7 : 5 = 1,54 \text{ тс}$$

Схемы 2 и 3 - загрузка фермы по всему пролету снеговой нагрузкой соответственно распределенной равномерно и по треугольному закону (см. п.2 табл.5 СНиП П-6-74. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования).

Кратковременная расчетная нагрузка от снега с площади сбора $1,5 \times 6$ м

$$P_{сн} = 50 \times 1,4 \times 1,5 \times 6 = 630 \text{ кгс}$$

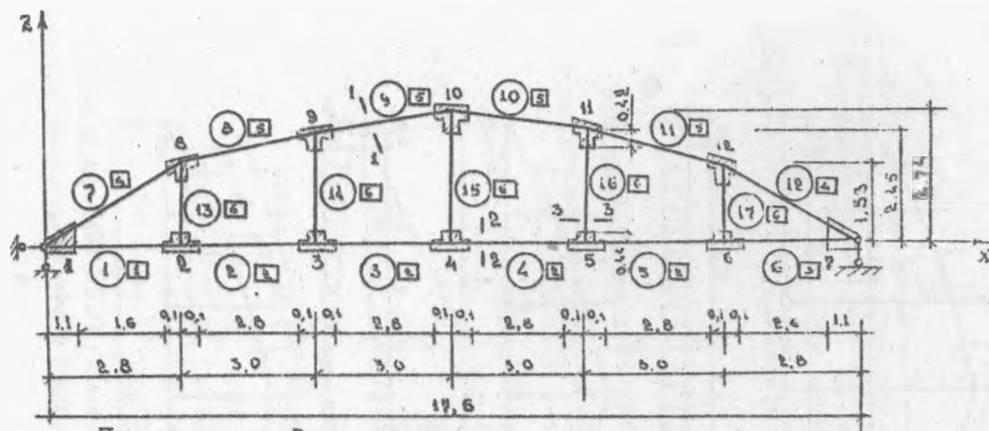
Тогда для схемы 2 загрузки (рис. 8,б)

$$C_1 = \frac{L}{8l} = \frac{17,6}{8 \times 2,74} = 0,8; P_3 = 0,63 \times 0,8 = 0,5 \text{ тс.}$$

Для схемы 3 загрузки (рис. 8, в)

$$\frac{f}{L} = \frac{2,74}{17,6} \cdot \frac{1}{6} \quad \text{и} \quad C_2 = 2.$$

* Так как программой не предусмотрено определение армирования предварительно напряженных элементов, то в рассматриваемом примере достаточно ограничиться нахождением усилий. Составление их расчетных сочетаний и подбор арматуры производится затем по общим правилам.



Примечание: Все размеры на расчетной схеме фермы в „м“. Размеры сечений в „см“.

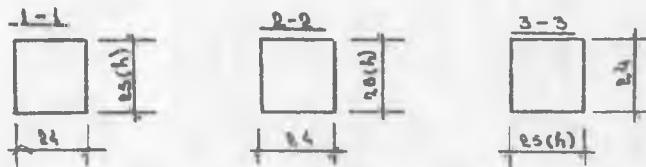


Рис. 7.

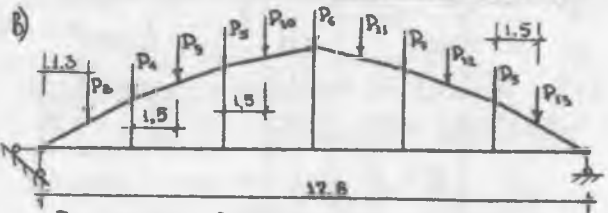
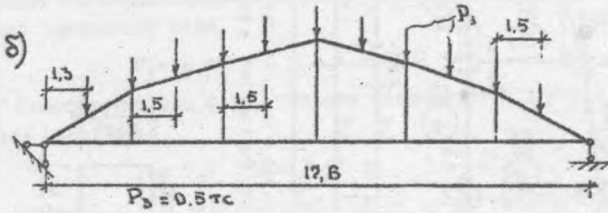
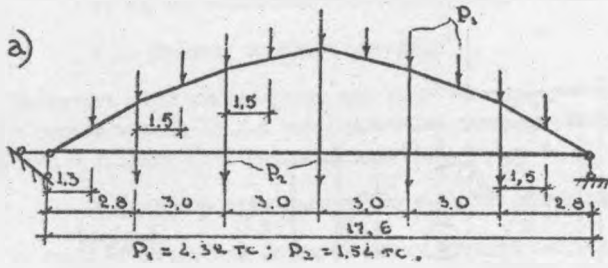
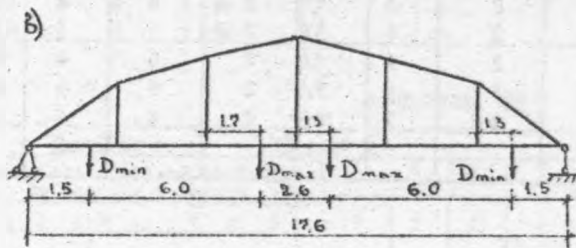
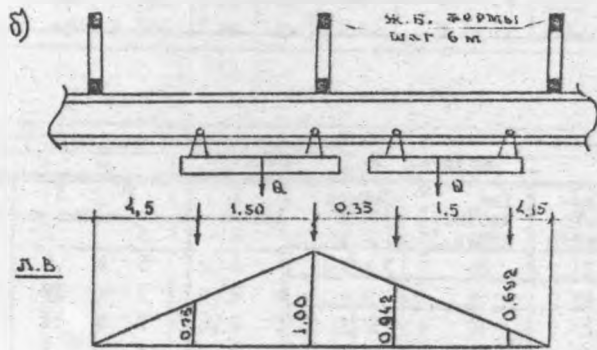
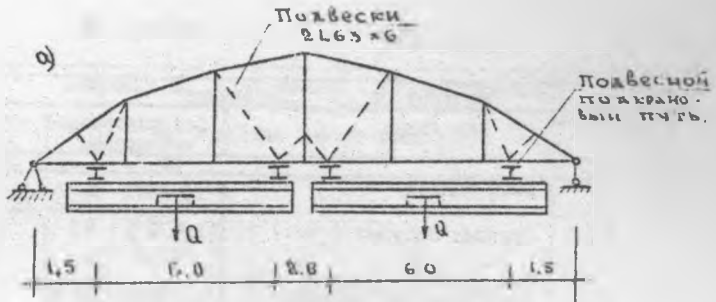


Рис. 8.



$$D_{\min} = 1.45 \text{ тс}; \quad D_{\max} = 3.02 \text{ тс.}$$

Рис. 9

Таблица 20

№ строки в докумен- те Ø	Документ Ø.	"Заглавний"
	Пояснения	Содержательная информация
1	Бифр задачи	I; ТЕСТ 3/
2	Признак системы	2; 2 /
4	Вычисление усилий в промежуточных сечениях стержней и узловых точ- ках конечных элементов	4; 3:I - I2 /)

Таблица 21

Тип ко- нечного элемента	Документ I.			"Элементы"				
	Тип эстк. в докум. 3	Номера узлов		I	2	3	4	
	1	2	3	4				
(I/					2	5	8	9/
					2	5	9	IØ/
					2	5	IØ	II/
2	I	I	2/		2	5	II	I2/
2	2	2	3/		2	4	7	I2/
2	2	3	4/		2	6	2	8/
2	2	4	5/		2	6	3	9/
2	2	5	6/		2	6	4	IØ/
2	3	6	7/		2	6	5	II/
2	4	I	8/		2	6	6	I2/)

Таблица 22

Документ 3. "Жесткостные характеристики"							
№ типа жесткости	Жесткостные характеристики						
(3 /							
I	50	3.3E6	24	28	AX	I.I	0.I/
2	50	3.3E6	24	28	AX	0.I	0.I/
3	50	3.3E6	24	28	AX	0.I	I.I/
4	50	3.3E6	24	25	AX	I.I	0.I/
5	50	3.3E6	24	25	AX	0.I	0.I/
6	50	3.3E6	24	25	AX	0.44	0.42/)

Таблица 23

Документ 4. "Координаты"						
X	Y	Z	I	2	3	
I	2	3	I7.6	0	0/	
(4 /						
0	0	0/	2.8	0	I.53/	
2.8	0	0/	5.8	0	2.45/	
5.8	0	0/	8.8	0	2.74/	
8.8	0	0/	II.8	0	2.45/	
II.8	0	0/	I4.8	0	I.53/)	
I4.8	0	0/				

Таблица 24

Документ 5. "Связи"									
№ "Номера степеней свободы узла : на которые наложены связи:					1	2	3	4	5
I	2	3	4	5	7	3	/)		
(5/									
I	I	3/							

Таблица 25

Документ 6.					"Типы нагрузок"				
№ узла или элемент та	вид нагружения	направление	№ строки в док.7	№ нагрузки	I	2	3	4	5
					1	2	3	4	5
(6/					I/	5	3	6/	
8	∅	3	I	I/	8	5	3	7/	
R	I	4/		R	I	4/			
I/				I/	8	∅	3	8	3/
7	5	3	2/	I∅	9	∅	3	9/	
8	5	3	3/	II	∅	∅	3	I∅/	
R	I	4/		I2	∅	∅	3	9/	
I/				7	5	3	3	I2/	
2	∅	3	4/	8	5	3	3	I3/	
R	I	4/		R	I	4/			
I/				I	∅	∅	∅	I/	
8	∅	3	5	2/	I	5	3	I8	4/
R	I	4/		3	5	3	3	I9/	
				4	5	3	3	2∅/	
				6	5	3	3	2I/)	

Таблица 26

Документ 7.				"Величины нагрузок"		
№ строки	Величины : Привязка :		I	2	3	
	нагрузка	нагрузка				
(7/				I∅	∅.∅98/	
			II	∅.259/		
			I2	∅.76	I.3/	
1	4.32/		I3	∅.78	I.5/	
2	4.32	I.3/	I4	∅.26	I.5/	
3	4.32	I.5/	I5	∅.13	I.5/	
4	1.54/		I6	∅.39	I.5/	
5	∅.5/		I7	∅.38	I.5/	
6	∅.5	I.3/	I8	1.45	I.5/	
7	∅.5	I.5/	I9	3.∅2	I.7/	
8	1.∅35/		2∅	3.∅2	I.3/	
9	∅.518/		2I	1.45	I.3/)	

Так как плиты покрытия железобетонные, то коэффициент C_2 следует принять равным 1,4. Вычисленные с учетом этого значения нагрузок приведены на рис. 8,в.

Схема 4 - нагрузка от 2-х подвесных кранов грузоподъемностью $Q = 1$ тс (рис. 9,а).

Загружение линии влияния давления подвесного пути на ферму двумя кранами показано на рис. 9,б, а значения (максимальное и минимальное) расчетных давлений приведены на рис. 9,в.

Расчетная схема фермы рассматривается как плоская рамная система с жесткими вставками в узлах (рис. 7).

Информация для расчета фермы на ЭВМ записывается на специальных бланках (см. табл. 20 + 26)^{*)}.

5. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДВУХСЛАТНОЙ РЕБЕЧАТОЙ БАЛКИ

5.1. Исходные данные

Материалы: бетон марки 400, продольная рабочая арматура класса А-IV, поперечная - класса А-I.

Нагрузка: на балку (рис. 10) в местах опирания ребер панелей размером 1,5 x 6 м передаются сосредоточенные силы, величины которых приведены в табл. 27 [12] :

Таблица 27

Сл ны Р _г	Расчетные нагрузки			Смеговая
	Постоян- ная	От двух кранов при грузе		
		справа	слева	
Р _{г1}	3.63	1.30	7.22	0.84
Р _{г2}	3.32			0.89
Р _{г3}	3.32			0.89
Р _{г4}	3.32			0.89
Р _{г5}	3.32			0.89
Р _{г6}	3.32			0.89
Р _{г7}	3.80	7.22	1.30	0.89
Р _{г8}	3.32			0.89
Р _{г9}	3.32			0.89
Р _{г10}	3.32			0.89
Р _{г11}	3.15			0.89

примечание: в величинах сил $P_{г1}$ и $P_{г7}$ от постоянной нагрузки учтена

*) Для изготовления фермы предполагается использовать

бетон марки 400, $E_c = 3300000$ тс/м².

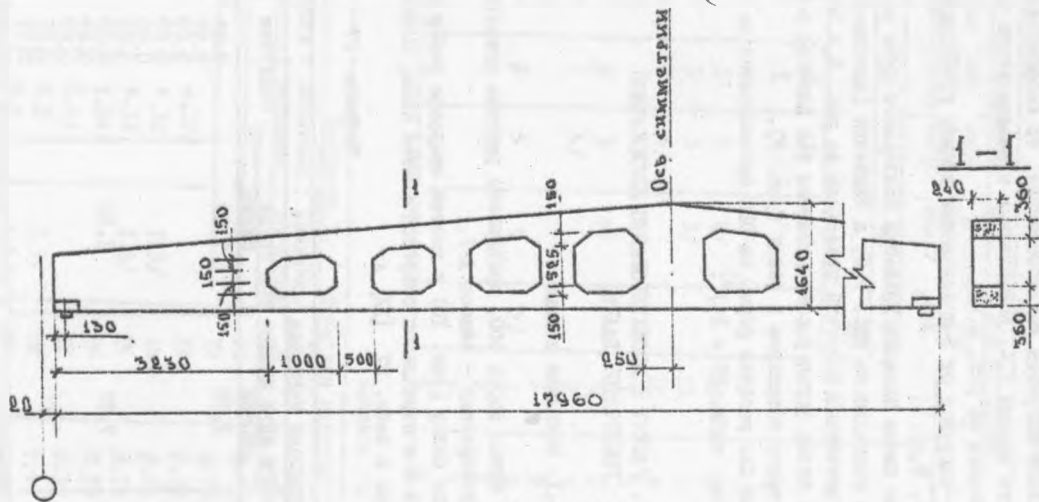
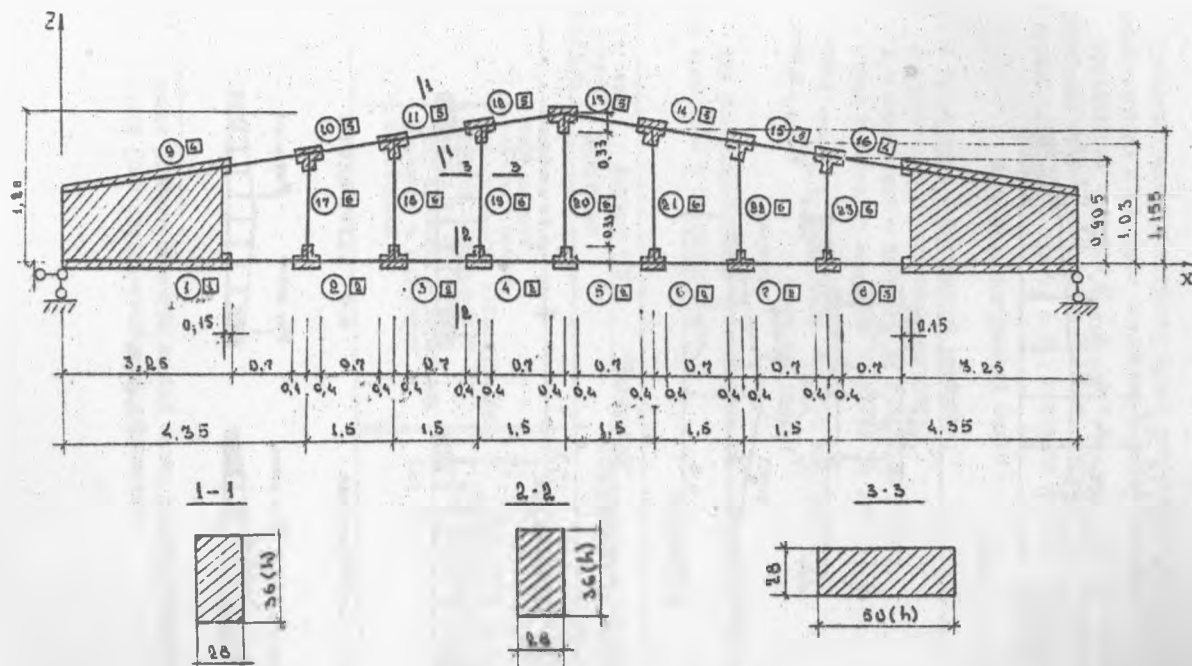


Рис. 10.



Примечание. Все размеры на расчетной схеме вали в „м“.
Размеры сечений в „см“

Рис. 11.

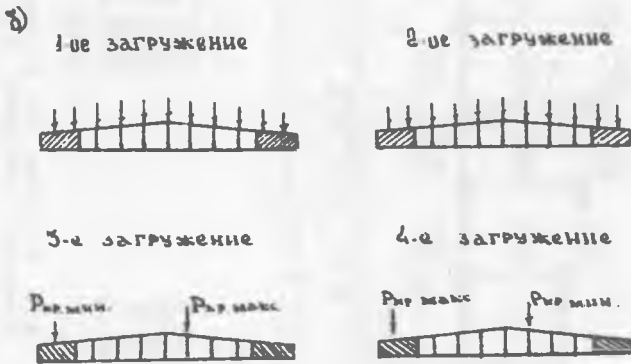
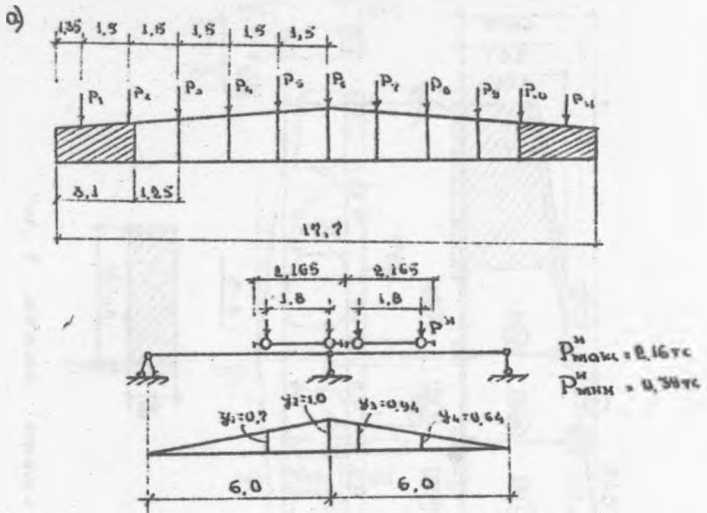


Рис 10

Расчетная схема решетчатой балки рассматривается как плоская рамная система с жесткими вставками в узлах (рис. II).

Определение нагрузок $R_{кр. макс.}$ и $R_{кр. мин.}$ от двух подвесных край-балок грузоподъемностью $Q=3.2$ т, подвешенных к верхнему поясу в местах приложения сил R_I и R_7 , показано на рис. 12 а.

5.2. Виды загрузений балки

- 1 загрузение - постоянная нагрузка;
 - 2 загрузение - снеговая нагрузка;
 - 3,4 загрузения - нагрузка от подвесных кранов.
- Схемы приложения нагрузок показаны на рис. 12 б.

5.3. Заполнение бланков документов исходных данных^{*)}

Для рассматриваемого примера расчета соответствующая информация приведена в таблицах 28-36.

Таблица 28

№ строки в документе А :	Документ В .	"Заглавный"	Содержательная информация
			(0/)
1	шифр задачи		1; ТЕСТ 4/
2	признак системы		2; 2 /
9	типы и списки элементов для которых подбирается арматура по прочности		9; 1:1-8; 2:9 - 16; 3:10-15; 4:17 - 23;
16	учет крановых и тормозных нагрузок в расчетных сочетаниях		5:18 - 22; 6:19 - 21; 7:20/ 16; 2/)

*) С целью подбора арматуры на ЭВМ балка условно считается обычной (без предварительного напряжения)

Таблица 29

Документ 1. "Элементы"							
Тип ко- нечного элемента:	Тип кост- кости в докум. 3 :	Номера узлов :		I	2	3	4
				2	4	I	I0/
I	2	3	4	2	5	I0	II/
(I/				R	I	5/	
2	I	I	2/	0	0	I	I/
2	2	2	3/	2	4	9	I6/
R	I	5/		2	6	2	I0/
0	0	I	I/	R	I	6/	
2	3	8	9/	0	0	I	I/)

Таблица 30

№ типа жесткости :	Документ 3. "Жесткостные Характеристики"						
	Жесткостные Характеристики						
(3/							
I	S0	3.0E6	28	36	AX	3.25	0.4/
2	S0	3.0E6	28	36	AX	0.4	0.4/
3	S0	3.0E6	28	36	AX	0.4	3.25/
4	S0	3.0E6	28	36	AX	3.25	0.4/
5	S0	3.0E6	28	36	AX	0.4	0.4/
6	S0	3.0E6	28	36	AX	0.33	0.33/)

Таблица 31

Документ 4. "Координаты"						
X	Y	Z	I	2	3	
I	2	3	I3.35	0	0 /	
(4/			I7.7	0	0 /	
0	0	0/	4.35	0	0.905/	
4.35	0	0/	5.85	0	I.03/	
5.85	0	0/	7.35	0	I.155/	
7.35	0	0/	8.85	0	I.28/	
8.85	0	0/	I0.35	0	I.155/	
I0.35	0	0/	II.85	0	I.03/	
II.85	0	0/	I3.35	0	0.905/)	

Таблица 32

Документ 5. "Связи"		
№ узла	Номера степеней свободы, на которые наложены связи	
(5/		
I	I	3/
9	3/)	

Таблица 33

Документ 6. "Типы нагрузок"										
№ узла или эл-та	вид :нагр:	встр. :нагр:	стр. в д. :ружон:	№ нач. ? :ружон:						
					1	2	3	4	5	
I	2	3	4	5	9	I∅	∅	3	4/	
(6/					9	R	I	6/		2/
9	5	3	I	I/	I∅	∅	3	6/		
9	5	3	2/		R	I	6/			
I∅	∅	3	2/		I/					
II	∅	3	2/		I6	5	3	6/		
I2	∅	3	2/		I6	5	3	5/		
I3	∅	3	2/		9	5	3	7		3/
I4	∅	3	3/		I4	∅	3	8/		
I5	∅	3	2/		9	5	3	8		4/
I6	∅	3	2/		I4	∅	3	7/)		
I6	5	3	2/							

Таблица 34

Документ 7. "Величины нагрузок"					
№ строки	Величины нагрузок, т	Привязка, м (только для ст.)			
			4	3.15	1.35/
			5	∅.84	1.35
(7/			6	∅.89	2.85/
I	3.63	1.35/	7	1.3	1.35/
2	3.32	2.85/	8	7.22	1.35/)
3	3.8/				

Таблица 35

Документ 8 "Расчетные сочетания усилий"														
№ загрузки	Вид загрузки	Объемн. кратков. нагр.	Знак опером нагр.	Д - да, 0 - нет	Взаимосвязь частей	нагрузка	Сопутствующие горизонтальные нагрузки	Кoeffициент перегр.	Кoeff. доли длит. д. нагр.	Кoeffициенты для расчетных сочетаний				
(8)	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
										0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

Таблица 36

Документ 9 "Армирование по прочности"														
Номер по ряду	Свободн. длины, м	Расчетн. длины, м	Раст. до п.т. арматуры, см	Армирование	Марка бетона	Класс прод. арматуры	Класс попереч. арм.	Кoeff. усл. работы бетона				Признак статич. предел.		
								МБ1	МБ2	МА1	МА2			
(9)	4.35	4.35	3.92	4.13	6	A4	A1	0.85	I	I	I	0.9		
	4.5	4.5	4.15	4.15	4	A3	A1	0.85	I	I	I	0.9		
	0.905	0.905	0.82	0.82	4	A3	A1	0.85	I	I	I	0.9		
	1.07	1.07	0.93	0.92	4	A3	A1	0.85	I	I	I	0.9		
	1.155	1.155	1.04	0.92	4	A3	A1	0.85	I	I	I	0.9		
	1.28	1.28	1.15	1.02	4	A3	A1	0.85	I	I	I	0.9		

Литература

1. Александров А.В., Ладеников Б.Я., Шапошников Н.Н., Смирнов В.А. (под общей редакцией проф. А.Ф.Смирнова). Методы расчета стержневых систем, пластин и оболочек с использованием ЭВМ. (часть I и 2), Стройиздат, М., 1976.
2. Городецкий А.С. и др. Инструкция по эксплуатации системы автоматизированного проектирования объектов строительства "ППП АПЖК на ЕС ЭВМ". НИИАСС Госстроя УССР, Киев, 1978.
3. Городецкий А.С. Численная реализация метода конечных элементов. В сь.: "Сопrotивление материалов и теория сооружений." Киев, "Будивельник", 1973.
4. Деклу Э. Метод конечных элементов. М., "Мир", 1976.
5. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М., "Мир", 1970.
6. Немчинов Ю.И. Расчет пространственных конструкций (метод конечных элементов). Киев, "Будивельник", 1980.
7. Норри Д., де Фриз К. Введение в метод конечных элементов. М., "Мир", 1981.
8. Оден Дж. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред. М., "Мир", 1976.
9. Постнов В.А., Херхурим Х.Я. Метод конечных элементов в расчетах судовых конструкций. Л., "Судостроение", 1974.
10. Розин Л.А. Основы метода конечных элементов в теории упругости. ЛПИ им.М.И.Калинина, Л., 1972.
11. Стренг Г., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов. М., "Мир", 1977.
12. Бахненко П.Ф., Бахненко В.П. Железобетонные конструкции сельскохозяйственных зданий. "Будивельник", Киев, 1982.

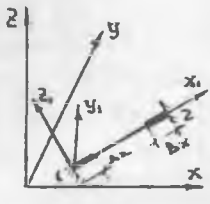
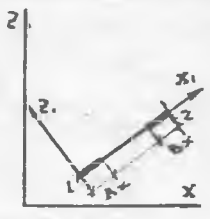

Приложение I

Признак системы:	Степени свободы	Расположение системы:	Тип системы
1	1 - перемещение вдоль оси X; 3 - то же, вдоль оси Z	пл. XOZ	Плоская ферма; балка-стенка и т.п.
2	1,3 - см. систему 1; 5 - поворот относительно Y	пл. XOZ	Плоская рамная система
3	3,5 - см. систему 2; 4 - поворот относительно X	пл. XOY	Плоская изгибаемая система: балочный ригель; изгибаемая плита; плита на упругом основании
4	1,3 - см. систему 2; 2 - перемещение вдоль оси Y	Произвольн.	Пространственная ферма
5	1,2,3,4,5 - см. выше; 6 - поворот относительно Z	Произвольн.	Система общего вида: пространственная рамная система, оболочки и т.п.

46

Примечания: 1. При отсутствии 2-й строки в документе "0" система рассчитывается по признаку "5".

2. По общему признаку "5" могут быть рассчитаны и все частные системы (1+4). Счет задачи при этом будет несколько замедлен.

Библиотека конечных элементов					
№ п/п	Тип и наименование элементов	Вид элемента	№ МКЭ	Задаваемые параметры	Внутренние или внешние
1	а	б	4	5	6
1	Пространственный стержень		06	$E, E_y, E_z,$ $G_{xy},$ $R_{x1}, a;$ $R_{y1}, a;$ $M_{x1}, a; M_{y1}, a;$ $M_{z1}, a;$ $q_{x1}, q_{y1}, q_{z1},$ $q_{y1}, a; q_{z1}, b$ $q_{z1}, a; q_{z1}, b$ Δt	N M_x M_z M_y Q_y Q_z
2	Рамный стержень		02	E, E_z R_{x1}, a R_{z1}, a M_{x1}, a q_{x1} q_{z1} q_{z1}, a q_{z1}, b Δt	N $M(M_x)$ $Q(Q_z)$
3	Стержень блочного ростверка и др. (см. [2]).		03 и др. см. [2]	$E, E_y, E_z,$ $G_{xy},$ R_{x1}, a M_{x1}, a M_{y1}, a $q_{z1},$ q_{z1}, a q_{z1}, b	$M(M_x)$ M_y $Q(Q_z)$

Примечание 1., МКЭ^ж - матрица жесткости (тип конечного элемента).

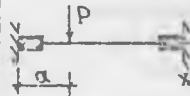
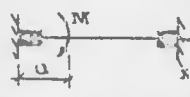
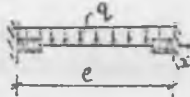
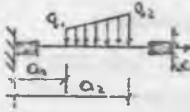
2. В примерах расчета использован только МКЭ №2.

Приложение 3

Типы сечений для стержней		
Наименование	Порядок задания величины в док. 3	Эскиз сечения
S8	E, b, h	
S1	E, b, h, b_1, h_1	
S2	E, b, h, b_1, h_1	
S3	$E, b, h, b_1, h_1, b_2, h_2$	
S4	E, b, h, b_1, h_1	
S5	E, b, h, b_1, h_1	
S6	E, D, d	
S7	$E, b, h, b_1, h_1, h_2, h_3$	

Примечание. E в т/м^2 , размеры сечения в см.

Приложение 4.

№ типовой кэ	Наименование нагрузки	Схема нагрузки	Обозначения нагрузки		Запись в графах 2-5 докум.?				
			Вид	Положение	2	3	4	5	
1.	Сосредоточенные силы		5	1	P	a			
			5	2	(T)	(M)			
			5	3					
2.	Сосредоточенные моменты		5	4	M	a			
			5	5	(T)	(M)			
3.	Равном. распр. нагр. (распр. не жест. вст.)		6	1	q				
			6	2	(T)	(M)			
			6	3					
4.	Трапециевидная нагрузка		7	2	q	a1	q2	a2	
			7	3	(T)	(M)	(T)	(M)	
5.	Температурное воздействие	Вдоль стержня	8	1	Δt				

Примечание: 1. Вид узловой нагрузки - 0 (в этом случае в первой графе документа 6 проставляются номера узлов); 2. Направление нагрузки: 1 - по направлению оси X (если нагрузка узловая) или X_1 (если нагрузка местная); 2 - то же для Y и Y_1 ; 3 - то же для Z и Z_1 ; 4 - относительно оси X и X_1 , если нагрузка представляет собой сосредоточенные или распределенные моменты; 5 - то же для Y и Y_1 ; 6 - то же для Z и Z_1 ; 3. Положительное направление сосредоточенных сил либо распределенной нагрузки принято против соответствующей оси системы координат (общей или местной); положительные моменты действуют по часовой стрелке, если смотреть с конца соответствующей оси.

Содержание

Введение	I
1. Общие правила подготовки исходных данных	I
2. Расчет поперечной рамы одноэтажного промышленного здания	9
3. Расчет многэтажной железобетонной рамы	19
4. Расчет железобетонной безраскосной фермы	30
5. Расчет и проектирование двухскатной решетчатой балки	37
Литература	45
Приложение	46

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЕС ЭВМ

Методические указания

Составители: Николай Андреевич КОЛЕСНИКОВ
Владимир Григорьевич ИВЕНКО
Вячеслав Прокофьевич УЛАСЕВИЧ

Подписано к печати 15.01.85. Формат 60x84/16.
Печать офсетная. Объем 3,0 уч.-изд.л. Тираж 500 экз.
Заказ № 36. Бесплатно. Отпечатано на ротапринтере
Брестского инженерно-строительного института,
г. Брест, ул. Московская, 267