

Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет

В.А.Соколов

Конструирование и расчет элементов каркаса
главного корпуса электростанций

Методические указания к курсовому и дипломному
проектированию

Санкт –Петербург

2003.

Содержание

Введение.....	3
1 Особенности построения конструктивной схемы каркаса главного корпуса.....	4
2 Построение расчетной схемы.....	6
3 Схема разбивки рамы на узлы и элементы и подготовка данных по топологии и геометрии.....	9
4 Нагрузки, действующие на поперечную раму.....	13
4.1 <i>Постоянные нагрузки.</i>	13
4.2 <i>Нагрузки от технологического оборудования.</i>	19
4.3 <i>Крановые нагрузки.</i>	22
4.4 <i>Снеговые нагрузки.</i>	26
4.5 <i>Ветровые нагрузки</i>	30
5 Расчет усилий в элементах рамы и построение огибающих.....	36
5.1 <i>Построение сводной таблицы усилий в назначенных сечениях рамы.</i>	36
5.2 <i>Построение таблиц комбинаций усилий и огибающих эпюр M, $N(Q)$</i>	39
Литература.....	42

Введение

В методических указаниях представлен материал для выполнения расчетной части курсового проекта по дисциплине “Каркасные здания и сооружения” на примере каркасной части зданий главных корпусов тепловых или атомных электростанций.

Рассмотрены особенности построения конструктивной и расчетной схем несущей плоской поперечной рамы каркаса и даны пояснения по формированию конечноэлементной схемы. Для данной плоской стержневой системы представлены особенности подготовки данных при использовании в расчетах конечноэлементного вычислительного комплекса “Мираж”.

Дается общий перечень характерных статических нагрузок рамы и расчет каждой нагрузки с учетом особенностей работы применяемого расчетного комплекса.

Для одного из основных сочетаний нагрузок предложены методики обработки результатов расчета с целью определения наименее выгоднейших комбинаций усилий и построения огибающих эпюр M и $N(Q)$ в назначенных сечениях на примере отдельного элемента рамы – ступенчатой колонны ее крайнего ряда.

Представленные методики по использованию комплекса “Мираж” для расчета усилий от статических воздействий могут быть применены для любых элементов зданий и сооружений, расчетные схемы которых могут быть представлены в виде плоских стержневых систем.

Методические указания разработаны на кафедре Энергетических и промышленно-гражданских сооружений Санкт-Петербургского Государственного Политехнического Университета для студентов специальности 290300 “Промышленное и гражданское строительство”. Могут быть использованы и для студентов других специальностей.

1 Особенности построения конструктивной схемы каркаса главного корпуса.

Главные корпуса практически всех ТЭС являются зданиями каркасного типа. Главный корпус АЭС сложнее и представляет собой систему сооружений, образованных в общем случае и каркасными конструкциями (турбинное отделение, деаэрационное отделение, этажерка электроустройств), и массивом реакторного отделения.

Пространственный каркас здания – это комплекс несущих конструкций, воспринимающий и передающий на фундаменты нагрузки от собственного веса элементов и ограждающих конструкций, технологического оборудования, нагрузки от кранового оборудования, атмосферные нагрузки и воздействия, температурные технологические воздействия, монтажные нагрузки, а также особые воздействия (землетрясение, ударная волна, авария). Каркас может выполняться из железобетона, смешанным и стальным. При этом стены отделений, выполняя только функции ограждения для обеспечения требуемого температурно-влажностного режима, возводятся с использованием навесных панелей облегченного типа [1].

Конструктивные схемы каркасов главных корпусов достаточно многообразны. В этих зданиях, по сравнению с обычными промышленными зданиями, влияние структуры технологического процесса на конструктивную схему каркаса наиболее существенно, поэтому конструктивная форма полностью определяется габаритами и расположением основного и вспомогательного оборудования и спецификой его работы и характеризуется. В связи с этим, большими пролетами и большой высотой отделений.

Основой несущего пространственного каркаса является система плоских поперечных рам, т.е. повторяющихся в продольном направлении элементов каркаса, расположенных с шагом B_k (шаг рам для зданий главных корпусов ТЭС и АЭС чаще всего принимается равным 12 м) и состоящих из колонн, ригелей покрытий (сквозных – ферм или сплошных – балок) и ригелей междуэтажных перекрытий. Плоские поперечные рамы, в свою очередь, в продольном направлении связаны между собой продольными балками – распорками, связями между колоннами и фермами, конструкциями покрытий и стеновым ограждением.

Каркасы зданий главных корпусов в большинстве проектируются так, что несущая способность поперек здания обеспечивается поперечными рамами, в которых колонны жестко заделаны в фундаменты и шарнирно или жестко соединены с колоннами в случае железобетонного каркаса. Для металлического каркаса применяются шарнирные балки – распорки со связями. Кроме того, к элементам каркаса, обеспечивающим его продольную жесткость, относятся связи между колоннами (вертикальные) и фермами (вертикальные и горизонтальные), подкрановые конструкции и элементы кровельного покрытия. Таким образом, система этих элементов обеспечивает геометрическую неизменяемость и жесткость каркаса в продольном направлении при восприятии им усилий от ветрового давления на торцы здания и от продольных крановых нагрузок. Кроме перечисленных элементов в составе каркаса обязательно имеются конструкции торцевого (а иногда и продольного) стенового фахверка, площадок, лестниц и других элементов здания.

Здание в продольном направлении разделяется температурными и температурно-осадочными швами, расстояние между которыми назначается исходя из условий расположения основного оборудования и не должна превышать значений, рекомендованных нормами [4]. Швы выполняются на спаренных колоннах.

Конструктивные схемы каркасов различаются видом сопряжений (жесткое или шарнирное) ригелей с колоннами. В этом смысле особенностью и существенным отличием каркасов главных корпусов ТЭС и АЭС от других промышленных зданий является наличие в составе поперечной рамы жесткой (жесткое соединение ригелей с колоннами) многоэтажной этажерки, составляющей основу для образования геометрически неизменяемой системы. В таком случае соединение сквозного ригеля (фермы) с колоннами, как правило, конструируется шарнирным, несмотря на значительные габариты отделений главного корпуса и применение кранов большой грузоподъемности. Шарнирное опирание ферм на колонны упрощает конструкции узлов крепления и способствует типизации ферм.

В учебном процессе при освоении методологии проектирования конструкций каркасных зданий главных корпусов ТЭС и АЭС из всего сложного пространственного каркаса выделяются его наиболее характерные несущие элементы. Принято, что такими элементами, повторяющимися в продольном направлении и работающими каждая практически в одинаковых условиях, являются плоские поперечные рамы, несущие все перечисленные нагрузки и воздействия.

Таким образом, при разработке конструктивной схемы каркаса можно ограничиться рассмотрением только выделенного несущего элемента- плоской поперечной рамы, для чего необходимо выполнить следующее:

Установить основные геометрические размеры всех элементов рамы (пролеты отделений, отметки пола этажей и т.п.) в соответствии с технологическим зданием, в котором даются весогабаритные характеристики элементов основного и вспомогательного оборудования, данные о количестве мостовых опорных кранов, их грузоподъемности и режиме работы, а также данные строительной климатологии;

Определить тип отдельных элементов рамы (сквозные, сплошные, постоянного сечения или ступенчатые), далее принять форму и назначить предварительные размеры поперечного сечения;

Принять решение о конструктивном исполнении узловых соединений (жесткие или шарнирные узлы);

Все эти вопросы решаются при выполнении студентами первого раздела курсового проекта "Компоновка главного корпуса электростанции".

2 Построение расчетной схемы.

Сбору нагрузок и выполнению расчетов плоской поперечной рамы каркаса предшествует построение расчетной схемы, т.е. представление данного реального объекта в виде идеализированной схемы или схематического чертежа. Выполненного по геометрическим осям стержней, проходящим через центры тяжести назначенных на предварительном этапе сечений элементов.

На рис. 1 показан пример построения конструктивной и расчетной схем поперечной рамы каркаса. Оси стоек в расчетной схеме совпадают с центрами тяжести их сечений. При этом для ступенчатых колонн несовпадение центров тяжести верхней и нижней частей учитывается в дальнейшем при подсчете вертикальных нагрузок. Заделка колонн в фундаменты принимается на уровне обреза фундамента, т.е. на уровне низа плиты базы колонны. Сквозной ригель (ферма) в этом случае заменяется сплошным эквивалентной жесткости, ось которого совпадает с осью нижнего пояса фермы. Его опирание на колонны принято шарнирным. Узлы сопряжения ригелей междуэтажных перекрытий этажерки с колоннами жесткие. Следует отметить, что геометрические размеры рамы в расчетной схеме (пролеты отделений и вертикальные размеры) могут отличаться от размеров в конструктивной схеме.

Выбор расчетной схемы тесно связан с выбором метода расчета (более точного или приближенного), который предполагается для определения усилий в данной стержневой системе. Известно, что действительные усилия в элементах каркаса всегда отличаются от тех, которые определены даже по самой "точной" расчетной схеме и на основе применения самого "точного" расчетного метода. Это для рамных конструкций главным образом объясняется идеализированными условиями опирания и сопряжения их элементов. Имеются методики учета этих факторов, которые используются при уточненных, проверочных расчетах. При расчете поперечных рам в курсовом проектировании все эти обстоятельства действительной работы учитываются косвенно, путем введения в расчет системы соответствующих коэффициентов условий работы.

Следует также отметить, что в настоящее время при достаточно высоком уровне развития электронно-вычислительной техники предпочтение отдается методам расчета, наиболее приспособленным к компьютерам. Среди них широко известен метод конечных элементов (МКЭ), чаще в варианте перемещений. Этот метод в рамках принятой расчетной схемы для стержневых систем считается достаточно точным. Он и принят для расчета поперечной рамы в данном случае в качестве основного. В связи с этим, в дальнейшем изложении этапы построения процедуры расчета рассматриваются с позиции применения конечноэлементной методики и ее компьютерной реализации.

Таким образом, при построении расчетной схемы поперечной рамы каркаса необходимо выполнить следующее:

- выбрать метод расчета;
- установить размеры элементов рамы, соответствующие расчетной схеме;
- определить геометрические характеристики поперечного сечения элементов рамы – моменты инерции I и площади A ; при этом сквозной ригель – ферма, может быть заменена условным сплошным с эквивалентными характеристиками; момент инерции сечения такого эквивалентного стержня можно приближенно определить по формуле:

$$I_p \approx (A_{фв} z_v^2 + A_{фн} z_n^2) \mu, \quad (1)$$

где $A_{фв}$, $A_{фн}$ – площади сечений верхнего и нижнего поясов фермы посередине пролета;

z_v , z_n – расстояние от центра тяжести сечений поясов до нейтральной оси ригеля в сечении ригеля посередине его пролета;

μ – уклон, учитывающий уклон верхнего пояса и деформативность решетки; при уклоне 1/8 значение $\mu=0,7$, при уклоне 1/10 – $\mu=0,8$, без уклона – $\mu=0,9$. Если величины $A_{фв}$, $A_{фн}$, $z_{в}$, $z_{н}$ неизвестны, то допускается для выполнения расчетов принимать $I_p \approx (2 \div 6) I_{н}$, где $I_{н}$ – момент инерции сечений нижней части ступенчатой колонны;

- установить характер закрепления системы и ее отдельных элементов, строго основываясь на принятых конструктивных решениях узловых соединений.

3 Схема разбивки рамы на узлы и элементы и подготовка данных по топологии и геометрии.

Как отмечалось выше, в качестве расчетного метода для рассматриваемой плоской стержневой системы – поперечной рамы каркаса ГК, выбран метод конечных элементов (МКЭ) в перемещениях. Расчет усилий в элементах рамы предлагается осуществлять с использованием широко распространенного в расчетной практике конечноэлементного комплекса «Мираж», разработанного в настоящее время применительно к IBM-совместимой компьютерной технике.

При решении поставленных задач с использованием МКЭ в качестве конечного элемента принят прямолинейный стержень постоянного поперечного сечения с жесткими или шарнирными узлами. В соответствии с этим на рис.2 выполнена разбивка рамы на узлы и элементы. Как видно, для рассматриваемого примера конечноэлементная схема представлена семнадцатью конечными элементами, соединенными в пятнадцати узлах. Порядок окончательной (разрешающей) системы уравнений, таким образом, в общем случае для данной плоской задачи получился равным сорока пяти. На рис.2 показана общая (глобальная) система осей координат X, Y, Z с началом в узле 1 (начало координат можно назначить в любом узле) и местная система осей для каждого конечного элемента x_1, y_1, z_1 .

Использование вычислительного комплекса «Мираж» предполагает при подготовке исходных данных сформировать восемь так называемых документов. Ниже эти документы, главным образом, в виде таблиц данных представлены для рассматриваемого примера именно в том порядке, в котором они появляются на экране компьютера при загрузке программного модуля «Порт» комплекса «Мираж» и введения набранного из трех символов имени файла данных.

В первую очередь формируется документ №0 – «Заглавный». При его формировании необходимо и достаточно заполнить только первую строку «шифр задачи». В этой строке набирается любое название решаемой задачи, после чего обязательно вводятся символы “\” и “;”, например: karkas\;

Далее следует документ №1 – «Элементы», задающий топологическую модель рамы, т.е. взаимосвязь ее узлов и элементов в общей системе нумерации. Для нумерации, представленной на рис.2 документ имеет вид таблицы 1. В колонке «Тип элементов» этой таблицы в соответствии с обозначениями, принятыми в комплексе «Мираж», ставится цифра «2», что означает использование элементов плоской рамы.

Документ №2 – «Шарниры» - содержит информацию о шарнирных соединениях стержней рамы. При его заполнении ставятся номера узлов и номера освобождаемых степеней свободы в местной системе осей x_1, y_1, z_1 . Степени свободы при решении и плоских, и пространственных задач для стержневых систем в комплексе «Мираж» нумеруются одинаково в предположении, что узлы пространственные, имеющие шесть степеней свободы. Цифрами «1», «2», «3» нумеруются линейные перемещения узла в направлении осей x_1, y_1, z_1 , а цифрами «4», «5», «6» – углы поворота вокруг этих же осей, соответственно (рис.2). Для плоского узла, имеющего три степени свободы, линейные перемещения нумеруются цифрами «1» и «3» (вдоль осей x_1, z_1), а угол поворота – цифрой «5» (поворот вокруг оси y_1 , рис.2). Пример заполнения документа представлен в таблице 2. Документ не является обязательным для заполнения, и в случае отсутствия какой-либо информации о шарнирах считается, что все узлы рамы жесткие.

Документ №3 – «Жесткостные характеристики» – в самом простом виде заполняется так, как показано в таблице 3. В колонку 3 этой таблицы заносятся значения осевой жесткости EA , а в колонку 4 – значения изгибной жесткости EI для каждого типоразмера стержня. Здесь E – модуль упругости материала стержня в $тс/м^2$, A – площадь и I – момент инерции сечения в $м^2$ и в $м^4$, соответственно. Номера типоразмеров из колонки 2 этой таблицы заносятся в соответствующие строки колонки 3 таблицы 1.

Документ №4 – «Координаты» - задает координаты узлов рамы в общей системе осей X, Y, Z , как показано в таблице 4.

Документ №5 – “Связи” – накладывает на рассматриваемую стержневую систему кинематические граничные условия в виде закрепления необходимых степеней свободы, исключая ее смещение как жесткого целого и моделирует, в соответствии с принятой расчетной схемой, тот или иной вид опорных закреплений. Документ имеет вид таблицы 5. Как видно, в опорных узлах закреплены все степени свободы (1,3,5), что моделирует жесткое защемление стоек в фундаментах.

Принципы формирования документов №6 и №7, отражающих нагружения рамы, будут изложены после сбора нагрузок в п.4.6.

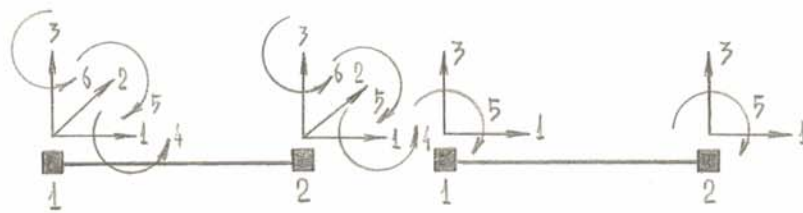
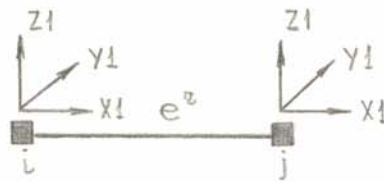
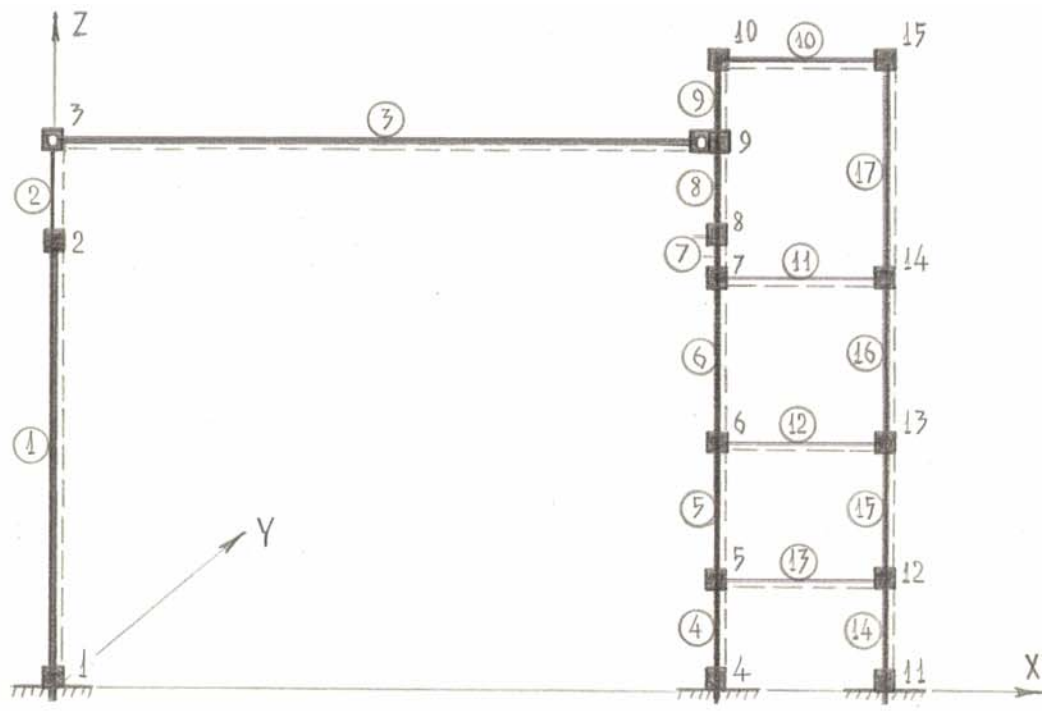


Рис. 2. Разбивка рамы на узлы и элементы - конечноэлементная схема.

Таблица 1.

№ стр.	Тип Эл.	Тип Ж-И	Узлы	
			1	2
1	2	1	1	2
2	2	2	2	3
3	2	3	3	9
4	2	4	4	5
5	2	4	5	6
6	2	4	6	7
7	2	4	7	8
8	2	4	8	9
9	2	4	9	10
10	2	5	10	15
11	2	6	7	14
12	2	5	6	13
13	2	5	5	12
14	2	4	11	12
15	2	4	12	13
16	2	4	13	14
17	2	4	14	15

Таблица 2.

№ стр.	№ эл.	№ узла	№ степени свободы
1	3	1	5
2	3	2	5

Таблица 3.

№ стр.	Тип ж-и	EA, тс	EI, тс/м ²
1	1	600000	300000
2	2	300000	20000
3	3	600000	1200000
4	4	700000	450000
5	5	250000	18000
6	6	500000	250000

Таблица 4.

№	Координаты, м		
	X	Y	Z
1	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	25.00
3	0.00	0.00	31.00
4	36.30	0.00	0.00
5	36.30	0.00	7.00
6	36.30	0.00	14.00
7	36.30	0.00	21.00
8	36.30	0.00	25.00
9	36.30	0.00	31.00
10	36.30	0.00	36.00
11	46.80	0.00	0.00
12	46.80	0.00	7.00
13	46.80	0.00	14.00
14	46.80	0.00	21.00
15	46.80	0.00	36.00

Таблица 5

№ стр	№ узла	Степени свободы		
		1	2	3
1	1	1	3	5
2	4	1	3	5
3	11	1	3	5

4 Нагрузки, действующие на поперечную раму.

Поперечные рамы каркаса главного корпуса ТЭС и АЭС проектируются на действие следующих видов нагрузок основных сочетаний:

- собственный вес элементов рамы;
- технологические нагрузки от стационарного оборудования и трубопроводов;
- крановые нагрузки (вертикальные и горизонтальные);
- снеговые нагрузки на покрытие;
- нагрузки от ветрового давления.

Нагрузки от собственного веса элементов рамы каркаса являются постоянными, технологические нагрузки относятся к временным длительно действующим, а остальные к временным кратковременным. Все нагрузки имеют нормативные и расчетные значения [5]. Расчеты элементов рамы на прочность и устойчивость (расчеты по первой группе предельных состояний) выполняются по расчетным нагрузкам, величины которых определяются путем умножения нормативных нагрузок на коэффициенты надежности по нагрузке (коэффициенты перегрузки), установленные нормами [5]. Перечисленные виды воздействий относятся к режиму нормальной эксплуатации зданий главного корпуса.

Для проектирования элементов поперечной рамы требуется знать усилия в них от каждой нагрузки (воздействия) отдельно, в связи с чем сбор нагрузок производится от каждого воздействия в отдельности. В курсовом проектировании это важно, так как позволяет оценить и проанализировать вклад каждого воздействия в общую статическую работу рамы.

4.1 Постоянные нагрузки.

При расчете поперечной рамы каркаса главного корпуса к постоянным нагрузкам относятся собственный вес кровельного покрытия, ферм и связей, вес панелей навесного стенового ограждения, вес колонн и подкрановых балок, а также вес ригелей, плит и элементов междуэтажных перекрытий (рис.3).

1. Нагрузки от собственного веса кровельного покрытия, ферм и связей при использовании унифицированных конструкций можно определить, пользуясь данными о массе укрупненных блоков полной заводской готовности, применяемых при введении крупноблочного монтажа элементов покрытия [1]. Эти же нагрузки можно определить обычным путем, зная тип и конструкцию кровельного покрытия и суммируя вес его элементов.

Нагрузка от веса элементов покрытия прикладывается в виде сосредоточенных сил G_n^a и G_n^b в узлы в местах опирания ферм на колонны. Считается, что линия действия силы G_n^a совпадает с геометрической осью сечения верхней части колонны по ряду А (рис.4,а). Линию действия силы G_n^b можно принять совпадающей с привязочной осью колонны по ряду Б. В связи с этим возникает сосредоточенный момент M_n^b , который прикладывается в тот же узел, что и сила G_n^b . значения сил G_n^a , G_n^b и момента M_n^b в случае применения крупноблочных конструкций определяются следующим образом:

$$G_n^b = G_n^a = 0,5 * G_{бл} * \gamma_f, \text{ (кН, тс)} \quad (2)$$

где $G_{бл}$ – вес монтажного блока полной заводской готовности (кН, тс);

γ_f - коэффициент надежности по нагрузке, принимаемый здесь и далее для собственных весов равным 1,1.

$$M_n^b = G_n^b * e_k^b, \quad \text{(кН*м, тс*м)} \quad (3)$$

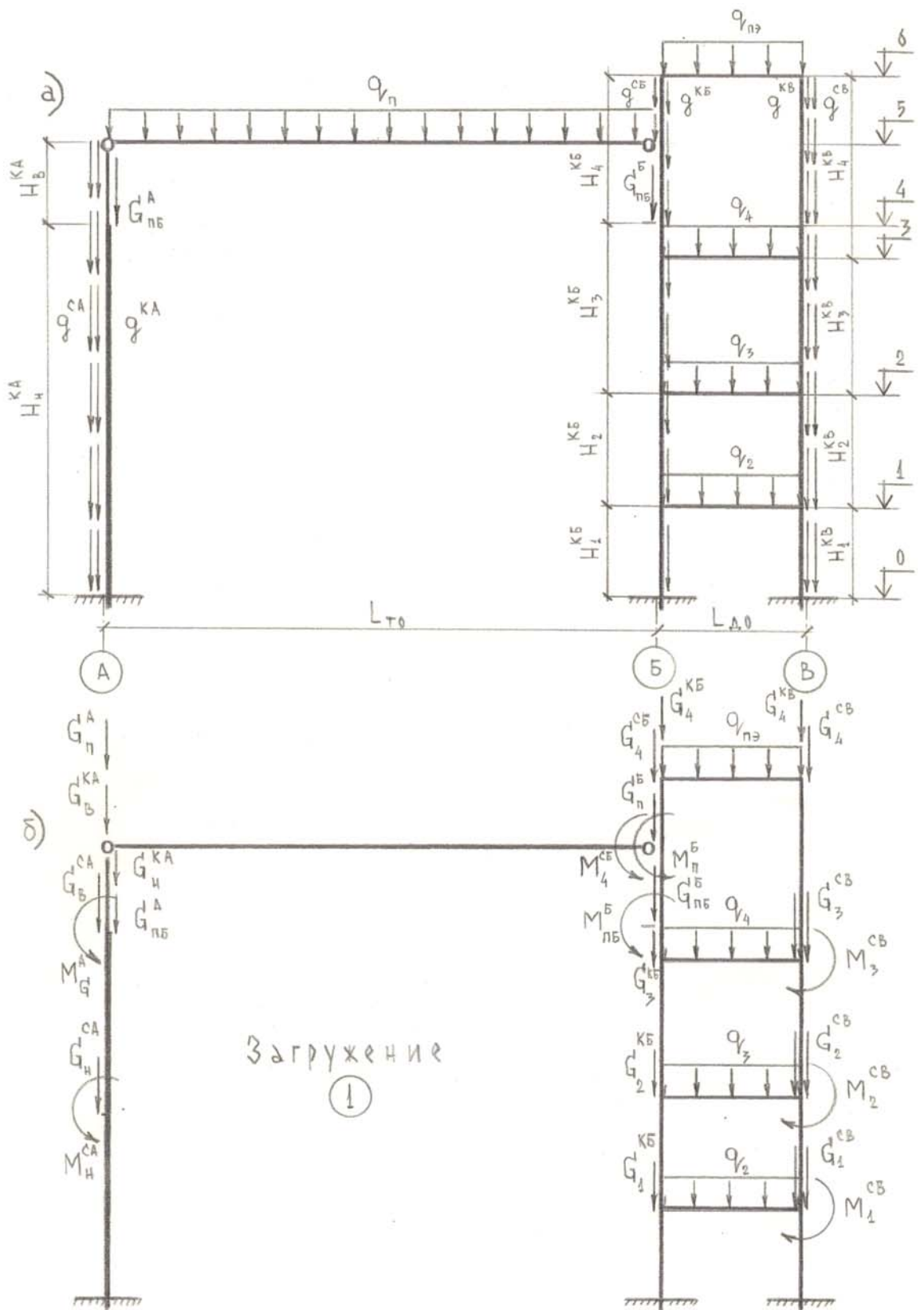


Рис.3. Постоянные нагрузки, действующие на раму (а) и приведение к эквивалентным узловым (б).

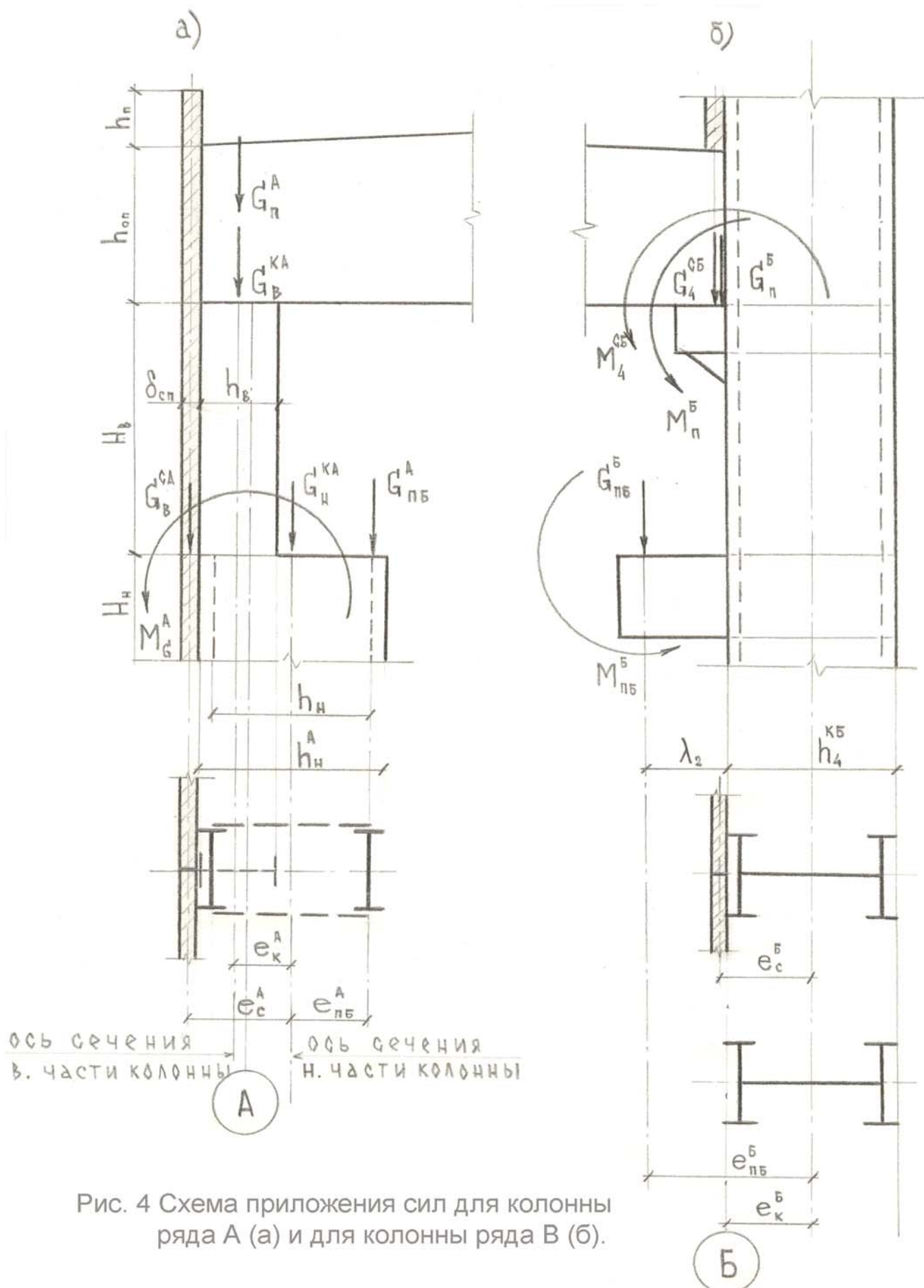


Рис. 4 Схема приложения сил для колонны ряда А (а) и для колонны ряда В (б).

где $e_k^b = 0,5 \cdot h_4^{kb}$ (рис.4, б).

2. Сила G_B^{ka} - собственный вес верхней части колонны в пределах высоты H_B ; принимается приложенной также, как сила G_n^a и определяется по формуле:

$$G_B^{ka} = H_B \cdot A_B \cdot \gamma \cdot \gamma_f, \quad (4)$$

где A_B – площадь поперечного сечения верхней части колонны;

γ - объемный вес материала, для стали $\gamma = 78.5 \text{ кН/м}^3$ (7,85 тс/м³).

3. Сила G_B^{ca} – собственный вес навесных стеновых панелей в пределах высоты H_B , высоты опорной части фермы $h_{оп} = 2,1$ м и парапетной части $h_n \approx 1,0$ м. Сила G_B^{ca} принимается приложенной в узел на уровне подкрановой консоли и направлена по линии действия, совпадающей с геометрической осью сечения стеновой панели (рис. 4, а). Определяется по формуле:

$$G_B^{ca} = (H_B + h_{оп} + h_n) \cdot B_k \cdot g^{ca} \cdot \gamma_f \cdot k, \quad (5)$$

где $g^{ca} = \gamma_{сп} \cdot \delta_{сп}$, $\gamma_{сп}$ – объемный вес материала стенового ограждения, $\delta_{сп}$ – толщина стеновых панелей;

B_k – шаг рам в продольном направлении;

k – коэффициент стенового заполнения, предварительно принимаемый равным 0,8 – 1,0.

4. Сила $G_{пб}^a$ – собственный вес подкрановой балки по колоннам ряда А. Приложена в узел на уровне подкрановой консоли и направлена по оси подкрановой балки, совпадающей с осью сечения подкрановой ветви нижней части колонны (рис. 4, а). Сила $G_{пб}^b$ – собственный вес подкрановой балки по колоннам ряда Б. Приложена в узел на уровне подкрановой консоли и направлена по оси подкрановой балки. Создает сосредоточенный момент $M_{пб}^b$, приложенный в тот же узел. Значения сил $G_{пб}^a$ и $G_{пб}^b$ и момента $M_{пб}^b$ определяются следующим образом:

$$G_{пб}^a = G_{пб}^b = B_k \cdot A_{пб} \cdot \gamma \cdot \gamma_f, \quad (6)$$

где $A_{пб}$ – площадь поперечного сечения подкрановой балки.

$$M_{пб}^b = G_{пб}^b \cdot e_{пб}^b, \quad (7)$$

где $e_{пб}^b$ – эксцентриситет приложения силы $G_{пб}^b$, определяемый в соответствии со схемой на рис. 4, б; $e_{пб}^b = \lambda_2 + 0,5h_4^{kb}$.

5. Сила G_n^{ka} - собственный вес нижней части колонны в пределах высоты H_n ; принимается приложенной в узел на уровне подкрановой консоли по оси сечения нижней части колонны. Определяется по формуле:

$$G_n^{ka} = H_n \cdot A_n \cdot \gamma \cdot \gamma_f, \quad (8)$$

Где A_n – площадь поперечного сечения нижней части колонны.

6. Сила G_n^{ca} – собственный вес навесных панелей стенового ограждения в пределах высоты H_n . принимается приложенной в виде местной сосредоточенной силы на уровне середины высоты H_n по оси сечения стеновой панели. Определяется в предположении, что стеновые панели навешены на колонны по всей высоте H_n . Зависимость для нахождения этой силы имеет вид:

$$G_n^{ca} = H_n \cdot B_k \cdot g^{ca} \cdot \gamma_f \cdot k, \quad (9)$$

Сила G_n^{ca} создает момент с плечом e_c^A . Исследование, проведенное автором, показало, что наиболее точный результат получается, если этот момент принимать приложенным в виде местного сосредоточенного момента на уровне середины высоты H_n и определять по зависимости

$$M_H^{CA} = 0.5 G_H^{CA} e_c^A, \quad (10)$$

7. Сосредоточенный момент M_G^A возникает вследствие внецентренного действия сил, прикладывается на уровне подкрановой консоли и определяется как момент сил G_n^A , G_b^{KA} , G_b^{CA} , $G_{пб}^A$ относительно центральной оси сечения нижней части колонны. Силы приложены в узел с соответствующими эксцентриситетами (рис. 4).

$$M_G^A = (G_n^A + G_b^{KA}) e_k^A + G_b^{CA} e_c^A - G_{пб}^A e_{пб}^A, \quad (11)$$

где $e_k^A = 0.5 (h_n^A - h_b)$; $e_c^A = 0.5 (h_n^A + \delta_{сп})$; $e_{пб}^A = 0.5 h_n$.

8. Собственный вес элементов покрытия этажерки представляется в виде погонной равномерно-распределённой нагрузки $q_{пэ}$, приложенной по длине ригеля покрытия и определяется формулой

$$q_{пэ} = g_{пэ} B_k \gamma_f + q_p, \quad (12)$$

где $g_{пэ}$ (кН/м², тс/м²) – находится в зависимости от принятого при конструировании типа и конструктивного решения элементов покрытия этажерки; q_p (кН/м², тс/м) – погонная равномерно-распределённая нагрузка от собственного веса ригеля; $q_p = A_p \gamma \gamma_f$, здесь A_p – площадь поперечного сечения и γ – объёмный вес материала ригеля покрытия.

9. Силы G_1^{KB} , G_2^{KB} , G_3^{KB} , G_4^{KB} , представляют собой собственный вес участков колонны по ряду Б, а силы G_1^{KB} , G_2^{KB} , G_3^{KB} , G_4^{KB} – собственный вес участков колонны по ряду В. Пример разделения колонн на участки показан на рис. 3,а. Эти силы можно приложить в узлах соединения ригелей и колонн по геометрическим осям колонн (рис. 3,б).

$$\begin{aligned} G_1^{KB} &= (\nabla^1 - \nabla^0) A_1^{KB} \gamma \gamma_f, \\ G_2^{KB} &= (\nabla^2 - \nabla^1) A_2^{KB} \gamma \gamma_f, \\ G_3^{KB} &= (\nabla^4 - \nabla^2) A_3^{KB} \gamma \gamma_f, \\ G_4^{KB} &= (\nabla^6 - \nabla^4) A_4^{KB} \gamma \gamma_f, \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} G_1^{KB} &= (\nabla^1 - \nabla^0) A_1^{KB} \gamma \gamma_f, \\ G_2^{KB} &= (\nabla^2 - \nabla^1) A_2^{KB} \gamma \gamma_f, \\ G_3^{KB} &= (\nabla^3 - \nabla^2) A_3^{KB} \gamma \gamma_f, \\ G_4^{KB} &= (\nabla^6 - \nabla^3) A_4^{KB} \gamma \gamma_f, \end{aligned} \quad (14)$$

где A_i^{KB} и A_i^{KB} – площади поперечного сечения участков колонн по рядам Б и В.

10. Сила G_4^{CB} – собственный вес навесных стеновых панелей в пределах только верхнего наружного участка колонны по ряду Б, т.е. рассматривается пример, когда навесные панели в пределах высоты турбинного отделения на внутренних участках

по колоннам ряда Б, отсутствуют. Сила G_4^{CB} может быть приложена в узел соединения ферм и колонны по ряду Б и направлена по геометрической оси сечения стеновых панелей. Определяется по формуле

$$G_4^{CB} = [(\nabla^6 - \nabla^5) - h_{оп} + h_n] B_k g^{CB} \gamma_f, \quad (15)$$

где $g^{CB} = g^{CA}$.

Момент M_4^{CB} силы G_4^{CB} прикладывается в этот же узел и равен

$$M_4^{CB} = G_4^{CB} e_c^B, \quad (16)$$

где эксцентриситет $e_c^B = 0.5 (h_4^{KB} + \delta_{сп})$ (рис. 4,б).

11. Силы G_1^{CB} , G_2^{CB} , G_3^{CB} , G_4^{CB} – собственный вес навесных стеновых панелей в пределах выделенных участков колонны ряда В (рис. 3). Рассматривается пример, когда стеновые панели навешены на колонны ряда В по всей их высоте. Силы могут быть приложены в узлах соединения ригелей и колонны по ряду В и направлены по геометрической оси сечения стеновых панелей. Определяются по формулам

$$\begin{aligned} G_1^{CB} &= (\nabla^1 - \nabla^0) B_k g^{CB} \gamma_f k, \\ G_2^{CB} &= (\nabla^2 - \nabla^1) B_k g^{CB} \gamma_f k, \\ G_3^{CB} &= (\nabla^3 - \nabla^2) B_k g^{CB} \gamma_f k, \\ G_4^{CB} &= (\nabla^6 - \nabla^3 + h_n) B_k g^{CB} \gamma_f k, \end{aligned} \quad (17)$$

где $g^{CB} = g^{CB} = g^{CA}$.

Моменты этих сил приложены в узлах как показано на рис. 3,б и определяются по зависимости

$$M_i^{CB} = 0.5 (G_i^{CB} + G_{i+1}^{CB}) e_i^{CB}, \quad (i = 1, 2, 3), \quad (18)$$

где $e_i^{CB} = 0.5 (h_i^{KB} + \delta_{сп})$.

12. Погонные равномерно - распределенные нагрузки q_2 , q_3 , q_4 от собственного веса элементов междуэтажных перекрытий приложены по длине ригелей междуэтажных перекрытий и определяются формулой

$$q_i = g_{мп} B_k \gamma_f + q_{pi}, \quad (i = 2, 3, 4), \quad (19)$$

где $g_{мп}$ (кН/м², тс/м²) – определяется в зависимости от принятой конструкции междуэтажных перекрытий; q_{pi} – погонная равномерно-распределенная нагрузка от собственного веса ригелей

$$q_{pi} = A_{pi} \gamma_f, \quad (20)$$

здесь A_{pi} – площадь поперечного сечения ригелей междуэтажных перекрытий.

Далее, найденные силы и моменты суммируются в узлах в соответствии с принятой нумерацией в конечноэлементной схеме рамы с учетом направлений их действия. Так, например, для схемы на (рис. 2) в узлах 2, 3, 9 необходимо просуммировать следующие силы и моменты:

$$G_2 = G_n^{KA} + G_{пб}^A,$$

$$M_2 = M_g^A,$$

$$G_3 = G_b^{KA} + G_n^A + G_b^{CA},$$

$$M_3 = 0,$$

$$G_9 = G_n^B + G_4^{CB},$$

$$M_9 = M_n^B + M_4^{CB} \text{ и т.д.}$$

Окончательные результаты подсчёта собственных весов элементов рамы заносятся в таблицу 6 в строчки, соответствующие первому загрузению (см. п. 4.6).

Следует отметить, что задачу приведения действующих нагрузок к узловым силам и моментам, особенно нагрузок от собственных весов, можно решить точнее за счёт увеличения количества узлов при разработке конечноэлементной схемы. Так, например, для колонны по ряду А можно ввести как минимум два дополнительных узла в середине высоты каждой её части и свести собственные веса участков колонны и стенового ограждения уже не к двум, а к четырём узлам. Так же можно поступить при назначении количества узлов в колоннах по ряду Б и В. Результат будет точнее, однако повысится трудоёмкость при подготовке исходных данных, увеличится время их ввода в компьютер, а значит увеличится вероятность появления случайных ошибок. Считается, что в курсовом проектировании в конечном итоге для построения огибающих эпюр М, N, Q в характерных сечениях рамы от полного набора статических нагрузений с достаточной в инженерной практике степенью точности можно ограничиться схемой разбивки рамы на узлы и элементы, предложенной на (рис. 2).

4.2 Нагрузки от технологического оборудования.

К технологическим нагрузкам относятся веса элементов стационарного оборудования, трубопроводов, элементов кабельного хозяйства, электротехнических устройств и т.п. Эти нагрузки разнообразны и в значительной степени зависят от типа электростанции. Поэтому их сбор и учёт в курсовом проектировании осуществляется индивидуально с использованием весогабаритных характеристик необходимых элементов оборудования, приводимых, в частности, в приложениях пособия [6].

В качестве примера на (рис. 5) представлена схема загрузки поперечной рамы каркаса нагрузками от элементов технологического оборудования и электротехнических устройств, сосредоточенных на этажах деаэрационного отделения, что достаточно характерно для многих типов электростанций.

Погонная равномерно-распределённая по длине ригелей междуэтажных перекрытий нагрузка q_i' от уложенных на перекрытии трубопроводов или кабелей на уровне каждого этажа в курсовом проектировании может быть задана преподавателем. Нагрузка q_i' определяется весогабаритными характеристиками расположенными на верхних этажах деаэрационного отделения деаэраторов (вес колонки + вес бака, заполненных водой), необходимые сведения по которым приведены в [6].

1. Нагрузки q_2' , q_3' , q_4' от элементов стационарного технологического оборудования допускается рассматривать как равномерно-распределённые, приложенные по длине ригелей междуэтажных перекрытий в данном примере на втором, третьем и четвёртом этажах деаэрационной этажерки, соответственно (рис.5). Нагрузки определяются в зависимости от расчётного давления g_i' , принимаемого из опыта проектирования для каждого типа размещаемого на этажах оборудования. Зависимость для q_i' имеет вид

$$q_i' = g_i' B_k \quad (21)$$

При выполнении расчётов рекомендуется принимать следующие значения расчётного давления g_i :

- для кабельных коридоров и этажей электротехнических устройств (в том числе РУСН) – $g = 4 \div 6 \text{ кН/м}^2$;
- для помещений блочных щитов управления (БЩУ) - $g = 3 \div 5 \text{ кН/м}^2$;
- для трубопроводных коридоров - $g = 2 \div 4 \text{ кН/м}^2$;
- для оборудования на уровне пола этажа деаэраторов - $g = 1 \div 3 \text{ кН/м}^2$;

2. Нагрузку q_d от веса деаэрационной установки можно представить как погонную равномерно-распределённую нагрузку, приложенную в средней части пролёта этажа на длине, приблизительно равной диаметру бака деаэратора d_σ (рис.5). В таком случае q_d определяется формулой

$$q_d = G_d / d_\sigma, \quad (22)$$

где G_d – полный вес деаэрационной установки - колонка с наполненным водой баком.

Результаты подсчёта технологических нагрузок также заносятся в таблицу 6 (п. 4.6) в строки, отведённые для второго загрузения.

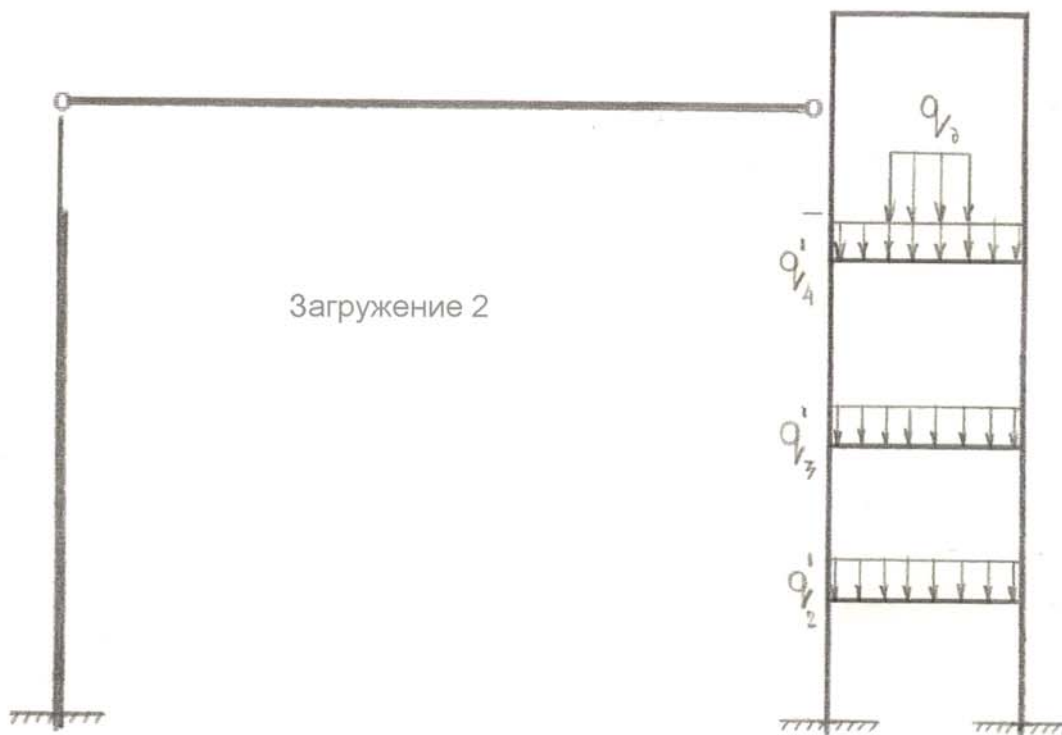
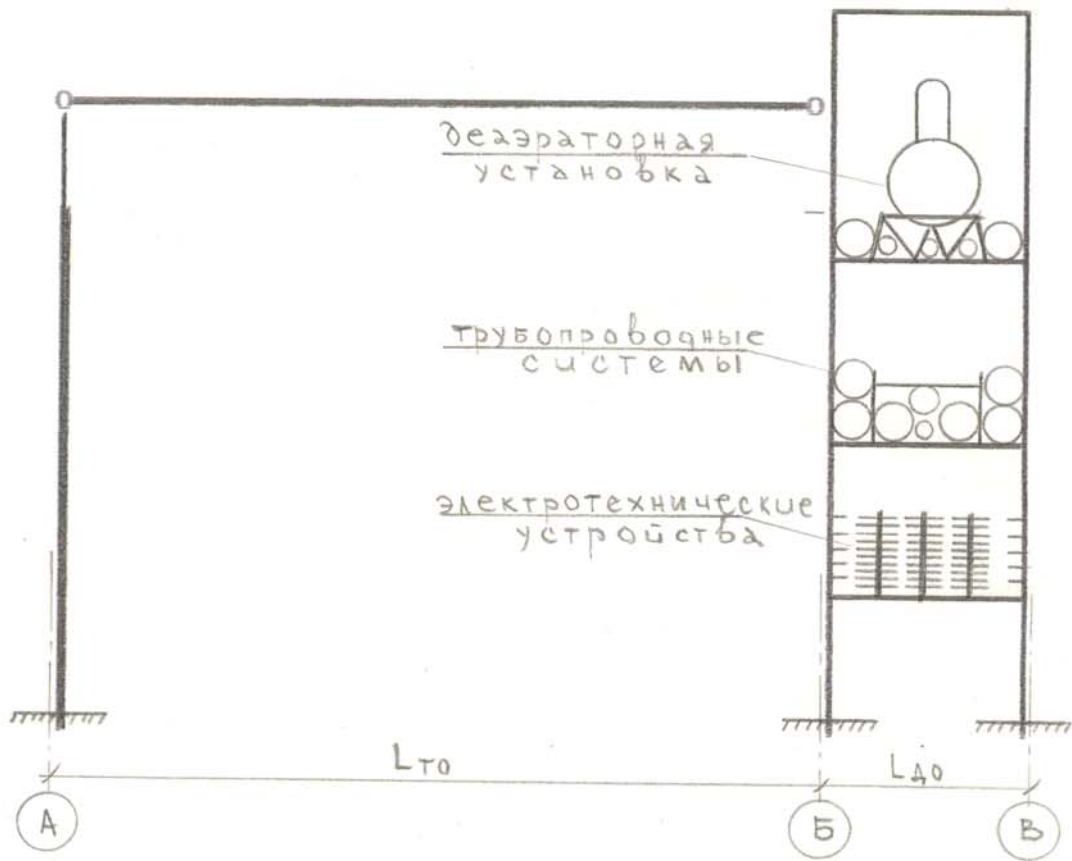


Рис.5. Технологические нагрузки, действующие на раму.

4.3 Крановые нагрузки.

При работе опорного мостового крана на крановый рельс и далее на элементы каркаса главного корпуса в общем случае передаются силы трёх направлений.

1. Вертикальная сила P_k . Зависит от массы крана, массы груза на крюке крана и положения грузовой тележки на крановом мосту. Наибольшее вертикальное нормативное давление на одно колесо $P_{k \max}$ определяется при крайнем положении грузовой крановой тележки, поднимающей груз, масса которого равна грузоподъёмности крана Q . Величина $P_{k \max}$ указана в ГОСТе на краны или в паспортах кранов [6].

Расчётная сила D_{\max} , передаваемая на колонну колёсами крана, определяется с помощью линии влияния реакции промежуточной опоры подкрановой балки, вид которой при разрезных подкрановых балках и схеме невыгоднейшего расположения колёс подкрановой тележки одного или двух 8-ми колёсных кранов, представлена на (рис. 6).

Наибольшая расчётная сила на консоль:

$$D_{\max} = \gamma_f n_c \sum (P_{k \max} y_i), \quad (23)$$

где γ_f – коэффициент надёжности по нагрузке, равный 1.1; n_c – коэффициент сочетаний, равный 1.0 при работе одного крана и 0.85 для двух сдвинутых кранов лёгкого и среднего режимов работы; y_i – ордината линии влияния под силой $P_{k \max}$, определяемая из подобия треугольников (максимальное значение $y_1 = 1$).

Например, для схемы на (рис. 6.а):

$$D_{\max} = \gamma_f n_c (P_1 y_1 + P_1 y_2 + P y_3 + P y_4). \quad (24)$$

На другой ряд колонн также будут передаваться силы, но значительно меньшие (рис. 7). Расчётную силу D_{\min} можно определить, если заменить в формуле (23) $P_{k \max}$ на $P_{k \min}$, т.е. на нормативное давление, передаваемое колесами другой стороны крана (kH , T_c):

$$P_{k \min} = (Q + G_{кр} + G_{тел})/n_o - P_{k \max} \quad (25)$$

где Q – грузоподъёмность крана;

$G_{кр}$ – вес крана;

$G_{тел}$ – вес крановой тележки;

n_o – число колес с одной стороны одного крана.

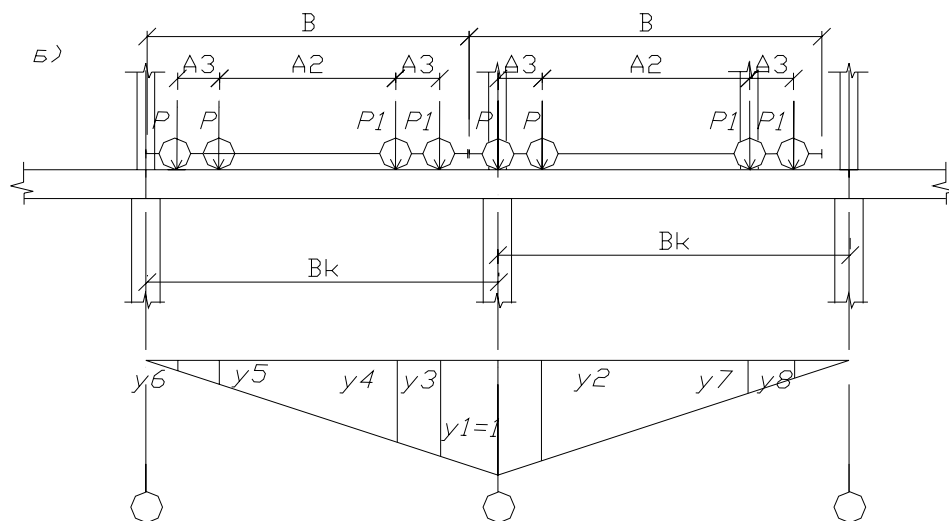
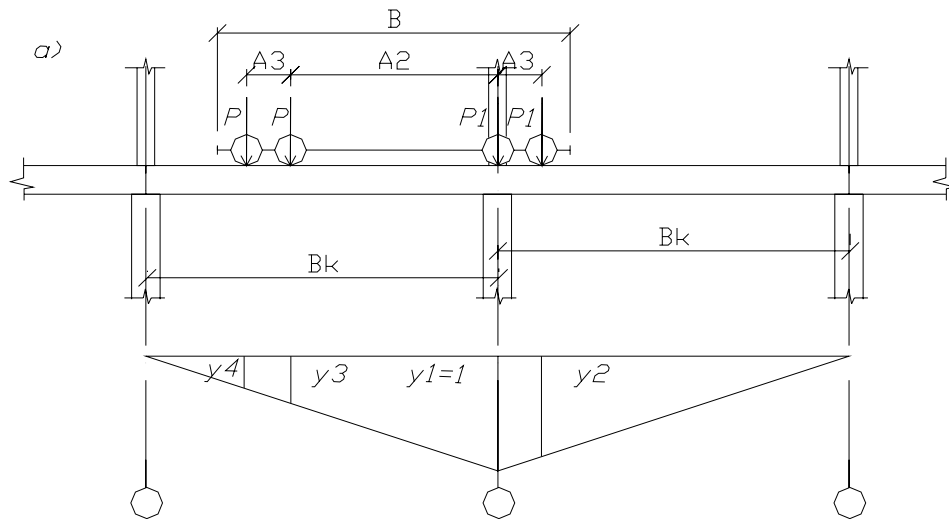


Рис.6. К определению нагрузок на раму от мостовых опорных кранов

Воспользовавшись формулой (25) , можно записать:

$$P_{k \min} = v P_{k \max}, \text{ а значит } D_{\min} = v D_{\max},$$

где

$$v = (Q + G_{кр} + G_{тел})/2(P_1 + P) - 1 \quad (26)$$

где при $n = 4$ и обозначениях в [6] принято:

$$2(P_1 + P) = n_0 P_{k \max} \quad (27)$$

Силы D_{\max} и D_{\min} приложены по оси подкрановой балки на уровне подкрановой консоли и поэтому не только сжимают нижнюю часть колонны, но и передают на нее сосредоточенные моменты (рис. 7):

$$\begin{aligned} M_{\max}^A &= D_{\max} e_{пб}^A ; \\ M_{\min}^A &= D_{\min} e_{пб}^A ; \\ M_{\min}^B &= D_{\min} e_{пб}^B ; \\ M_{\max}^B &= D_{\max} e_{пб}^B . \end{aligned} \quad (28)$$

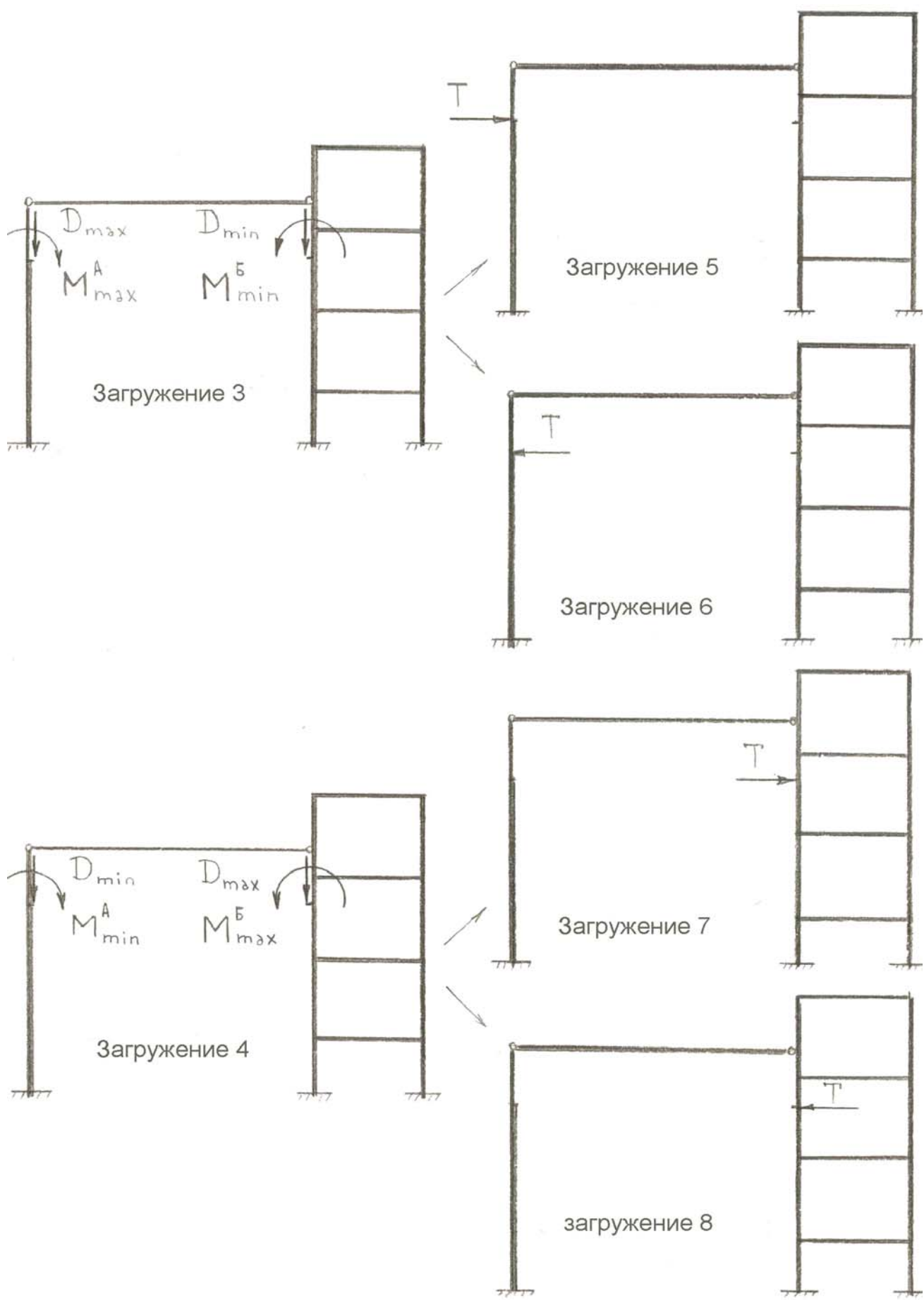


Рис. 7. Крановые нагрузки, действующие на раму

2. Горизонтальная сила Т.

Возникает при торможении и трогании с места грузовой крановой тележки, поэтому может быть направлена как внутрь здания, так и наружу. Эта сила считается приложенной к головке подкранового рельса и на этом же уровне тормозными конструкциями передается на колонну, поровну распределяясь между колесами моста крана. При этом принимается, что она приложена только к одной стойке, причем к той, где действует D_{\max} . Полную расчетную горизонтальную силу Т можно определить с помощью линии влияния при тех же схемах расположения колес (рис. 6):

$$T = \gamma_f n_c T_k \sum y_i, \quad (29)$$

где T_k – нормативная горизонтальная сила, приходящаяся на одно колесо одного крана, определяемая для кранов с гибким подвесом груза формулой:

$$T = 0,05 (Q + G_{\text{тел}}) / n_o$$

3. Продольная горизонтальная сила F_k возникает от трения колес о рельс и от сил торможения моста крана вдоль здания и при расчете плоской поперечной рамы каркаса не рассматривается.

Таким образом, при расчете на крановые нагрузки следует учесть шесть возможных схем загрузки рамы, как показано на рис. 7. При этом принято, что схеме 3 соответствуют схемы 5 и 6, а схеме 4 – схемы 7 и 8. Результаты расчета крановых нагрузок заносятся в таблицу 6 в строки, соответствующие третьему – восьмому загрузкам (п. 4.6).

4.4 Снеговые нагрузки

Снеговые нагрузки определяются по рекомендациям Норм [5] для заданного района строительства с учетом повышения снегового давления на покрытие отделений главного корпуса в местах перепада высот и у парапетов. Предварительно высота парапета h_p принимается равной 1.0 м. Для рассматриваемого примера схема приложения нагрузки показана на рис. 8,а. Как видно, снеговое давление представляет собой комбинацию равномерно-распределенных и распределенных по треугольному закону нагрузок. В курсовом проектировании целесообразно выполнить приведение такой нагрузки к эквивалентной узловой. Окончательная схема загрузки представлена на рис. 8,б, а порядок приведения показан на рис. 9. Для получения узловых сил и моментов прежде всего определяются необходимые ординаты погонных нагрузок в местах перепада высот, у парапетов и в средних частях пролетов отделений.

1. Погонные равномерно-распределенные нагрузки $q_{\text{сн. т}}$ и $q_{\text{сн. э}}$, приложенные по пролетам L_2 и L_1 определяются формулой

$$q_{\text{сн. т}} = q_{\text{сн. э}} = \mu S_o \gamma_f B_k \quad (31)$$

где S_o – нормативная снеговая нагрузка на 1 м^2 горизонтальной поверхности земли; определяется по Нормам [5] в зависимости от снегового района;

μ – коэффициент перехода снегового давления от поверхности земли на поверхность покрытия здания; для плоских кровель и кровель с уклоном менее 20° $\mu = 1,0$;

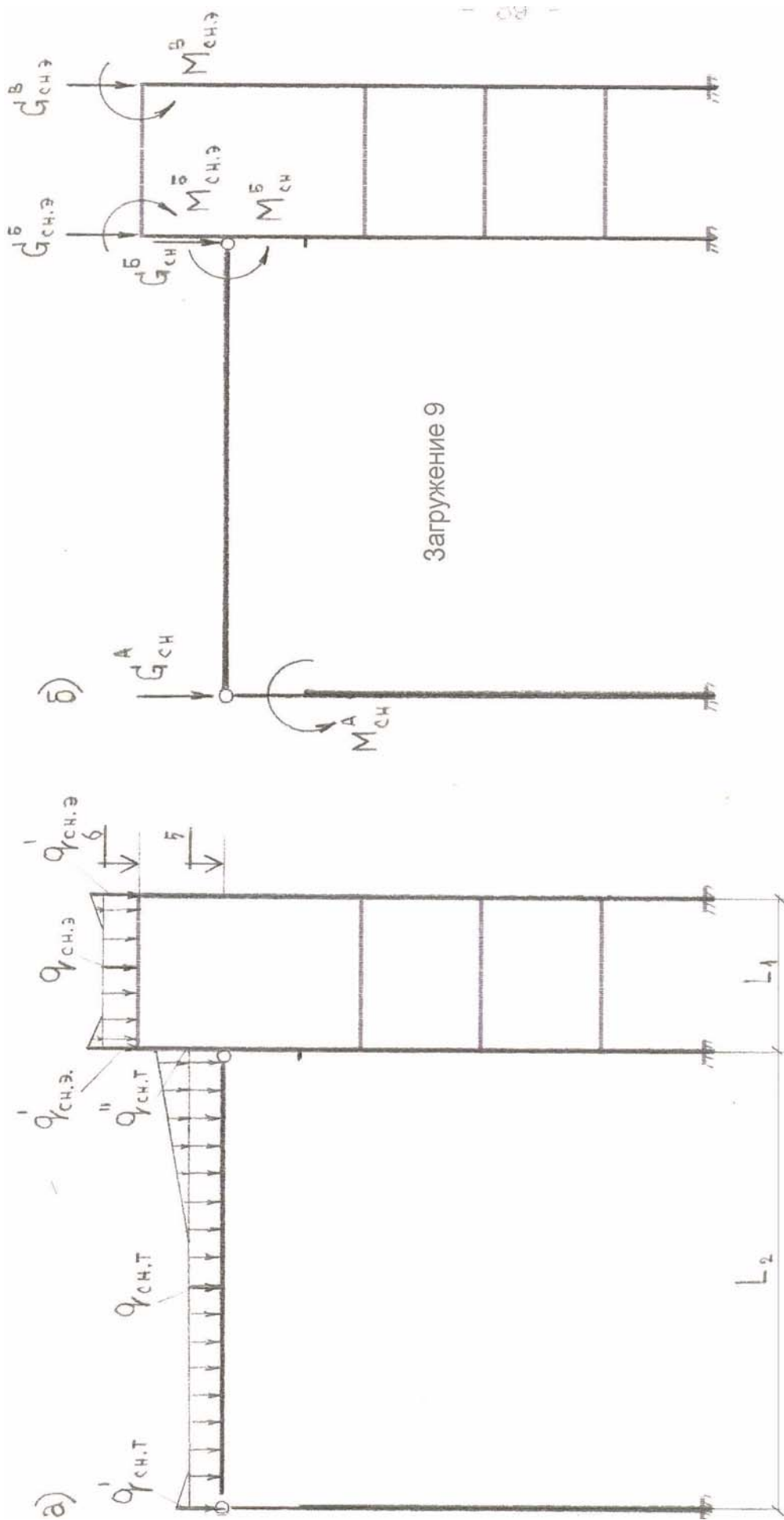


Рис. 8. Распределение снеговой нагрузки на покрытие (а) и приведение к эквивалентным силам (б).

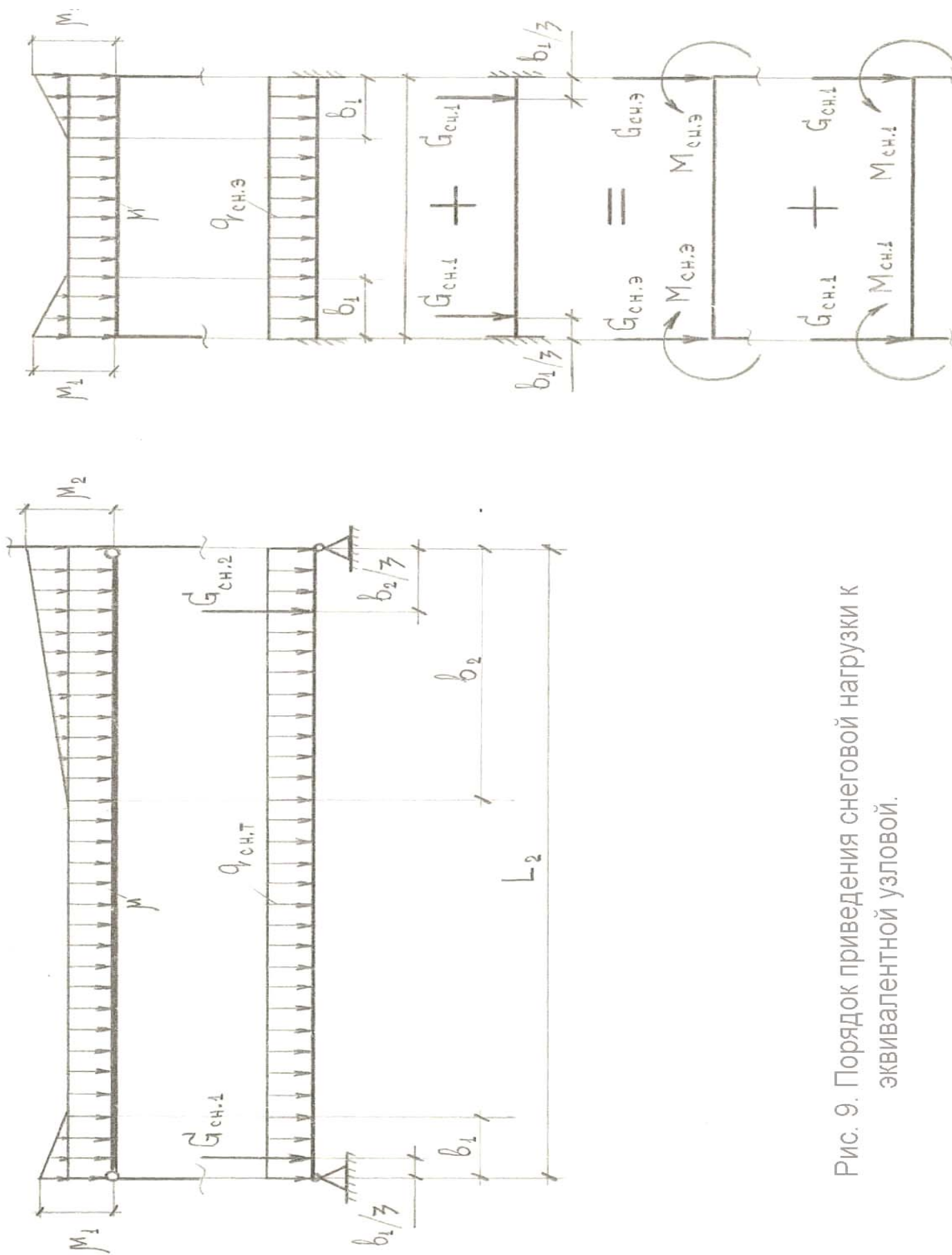


Рис. 9. Порядок приведения снеговой нагрузки к эквивалентной узловой.

γ_f для снеговой нагрузки в данном случае принимается равным 1,4 [5].

2. Ординаты погонных нагрузок $q'_{\text{сн.т}}$ и $q'_{\text{сн.э}}$ у парапетов в местах образования, так называемых, «снеговых мешков» определяется следующим образом

$$q'_{\text{сн.т}} = q'_{\text{сн.э}} = \mu_1 S_0 \gamma_f B_k \quad (32)$$

где μ_1 – коэффициент перехода снегового давления от поверхности земли на покрытие у парапета; определяется в зависимости от высоты парапета h_p и величины S_0 по формуле:

$$\mu_1 = 200 h_p / S_0 \quad (33)$$

при этом если $\mu_1 \geq 3.0$, то $\mu_1 = 3.0$, а зона действия «снегового мешка» принимается равной $b_1 = 2 h_p$.

3. Ордината погонной нагрузки $q''_{\text{сн.т}}$ для «снегового мешка» в месте перепада высот отделений определяется в следующей последовательности

$$q''_{\text{сн.т}} = \mu_2 S_0 \gamma_f B_k \quad (34)$$

где μ_2 – коэффициент перехода снегового давления от поверхности земли на покрытие в месте перепада высот; определяется по зависимости Норм [5].

$$\mu_2 = 1 + (m_1 l'_1 + m_2 l'_2) / h \quad (35)$$

здесь $h = (\nabla^6 - \nabla^5) - h_{\text{оп}}$; $m_1 = m_2 = 0.4$ – для кровель с уклоном менее 20° ; $l'_1 = L_1$; $l'_2 = L_2$; зона влияния «снегового мешка» $b_2 = 2h$, но не более 16 м; если $\mu_2 \geq 4,0$, то $\mu_2 = 4,0$.

4. Узловые силы и моменты по ряду А. Сила $G_{\text{сн}}^A$ принимается приложенной в узел на уровне верха колонны, действует по оси сечения ее верхней части и определяется по формуле:

$$G_{\text{сн}}^A = G_{\text{сн.т}} + G_{\text{сн.1}} \quad (36)$$

где для сил $G_{\text{сн.т}}$ и $G_{\text{сн.1}}$, в соответствии со схемой на рис. 9, можно записать:

$$G_{\text{сн.т}} = (q_{\text{сн.т}} L_2) / 2; \quad G_{\text{сн.1}} = (q'_{\text{сн.т}} - q_{\text{сн.т}}) b_1 / 2 \quad (37)$$

Сила $G_{\text{сн}}^A$ в узле на уровне подкрановой консоли создает момент $M_{\text{сн}}^A$, определяемый по зависимости:

$$M_{\text{сн}}^A = G_{\text{сн}}^A e_k^A,$$

где e_k^A – эксцентриситет (см. рис. 4.а).

5. Узловые силы и моменты по ряду Б.

Сила $G_{\text{сн}}^B$ приложена в узел соединения фермы с колонной по ряду Б, действует по оси, совпадающей с наружной гранью колонны и определяется по формуле:

$$G_{\text{сн}}^B = G_{\text{сн.т}} + G_{\text{сн.2}} \quad (38)$$

здесь для силы $G_{\text{сн.2}}$, в соответствии со схемой на рис. 9, можно записать:

$$G_{\text{сн.2}} = (q''_{\text{сн.т}} - q_{\text{сн.т}}) b_2 / 2 \quad (39)$$

Сила $G_{\text{сн}}^{\text{Б}}$ в этом же узле создает момент $M_{\text{сн}}^{\text{Б}}$, определяемый по зависимости

$$M_{\text{сн}}^{\text{Б}} = G_{\text{сн.т}} e_{\text{к}}^{\text{Б}} + G_{\text{сн.2}} (e_{\text{к}}^{\text{Б}} + b_2/3) \quad (40)$$

Сила $G_{\text{сн.э}}^{\text{Б}}$ приложена в узел соединения ригеля покрытия с колонной по ряду Б, действует по оси, совпадающей с осью ее сечения и определяется по формуле:

$$G_{\text{сн.э}}^{\text{Б}} = G_{\text{сн.э}} + G_{\text{сн.1}} \quad (41)$$

здесь для силы $G_{\text{сн.э}}$, в соответствии со схемой на рис. 9, можно записать:

$$G_{\text{сн.э}} = q_{\text{сн.э}} L_1 / 2 \quad (42)$$

Момент $M_{\text{сн.э}}^{\text{Б}}$ приложен в тот же узел и определяется по зависимости:

$$M_{\text{сн.э}}^{\text{Б}} = M_{\text{сн.э}} + G_{\text{сн.1}} b_1/3 \quad (43)$$

здесь для момента $M_{\text{сн.э}}$, в соответствии со схемой на рис. 9, можно записать:

$$M_{\text{сн.э}} = q_{\text{сн.э}} L_1^2 / 12 \quad (44)$$

6. Узловые силы и моменты по ряду В.

Сила $G_{\text{сн.э}}^{\text{В}}$ приложена в узел соединения ригеля покрытия с колонной по ряду В, направлена по оси, совпадающей с осью ее сечения и определяется по формуле:

$$G_{\text{сн.э}}^{\text{В}} = G_{\text{сн.э}}^{\text{Б}} \quad (45)$$

Момент $M_{\text{сн.э}}^{\text{В}}$ приложен в тот же узел и определяется по зависимости:

$$M_{\text{сн.э}}^{\text{В}} = M_{\text{сн.э}}^{\text{Б}} \quad (46)$$

Результаты расчета снеговых нагрузок заносятся в таблицу 6 в строки, соответствующие девятой схеме загрузки (см. п. 4.6)

4.5 Ветровые нагрузки

Ветровая нагрузка, передаваемая стенами здания на элементы каркаса, должна в общем случае определяться как сумма средней и пульсационной составляющих [5]. Иными словами необходимо учитывать и статическую, и динамическую части ветрового давления. В данном случае рассматривается только статическая составляющая, соответствующая установившемуся скоростному напору и учитываемая во всех случаях. На рис. 10 представлены схемы распределения ветрового давления на погонный метр высоты здания на примере ветра слева. При переходе от схемы "а" к схеме "б" на рис.10 необходимо выполнить следующее:

1. Фактическую эпюру ветровой нагрузки представить в виде ступенчатой по принципу осреднения в пределах выделенных по высоте здания десятиметровых участков. Тогда расчетную ветровую нагрузку на каждом участке можно определить по формуле

$$q_i = c \cdot q_0 \cdot V_k \cdot \gamma_f \frac{\kappa_{i-1} + \kappa_i}{2}, \quad (47)$$

где q_0 – нормативное значение скоростного напора, q_i – принимаемое в соответствии с указаниями Норм [5]; c – аэродинамический коэффициент (коэффициент бокового сопротивления), равный для наветренной стороны здания 0.8, а для подветренной зоны (зоны "отсоса") – 0.6 (таким образом суммарный коэффициент при обдуве плоских поверхностей получается равным 1.4); γ_f – коэффициент надежности по нагрузке, принимаемый равным 1.4; κ – Коэффициенты, учитывающие изменение скоростного напора по высоте; l – число участков осреднения, принимающее в данном случае значения $l = 1, 2, 3, 4$. Аналогично определяется q_i с подветренной стороны при $c = 0.6$.

2. Ступенчатая эпюра ветрового давления заменяется эквивалентной равномерно-распределенной по всей высоте с ординатами q (наветренная сторона) и q' (подветренная сторона). При этом следует руководствоваться равенством моментов в заделке при ступенчатой и равномерно-распределенной эпюрах. Определение эквивалентной нагрузки проиллюстрировано на рис. 11. Полученная погонная нагрузка прикладывается к элементам поперечной рамы по высоте, как показано на рис. 10,б.

3. Сосредоточенные силы W^A , W^B , W^B , учитывающие ветровое давление на поперечную раму в пределах опорной части фермы и парапетов, т.е. элементов, не попавших в расчетную схему, допускается прикладывать в верхние узлы рамы, как показано на рис. 10. Зависимости для их определения при ветре слева имеют вид (рис.12)

$$W^A = q \cdot (h_{он} + h_n) + q' \cdot h_n$$

$$W^B = W^B = (q + q') \cdot h_n \quad (48)$$

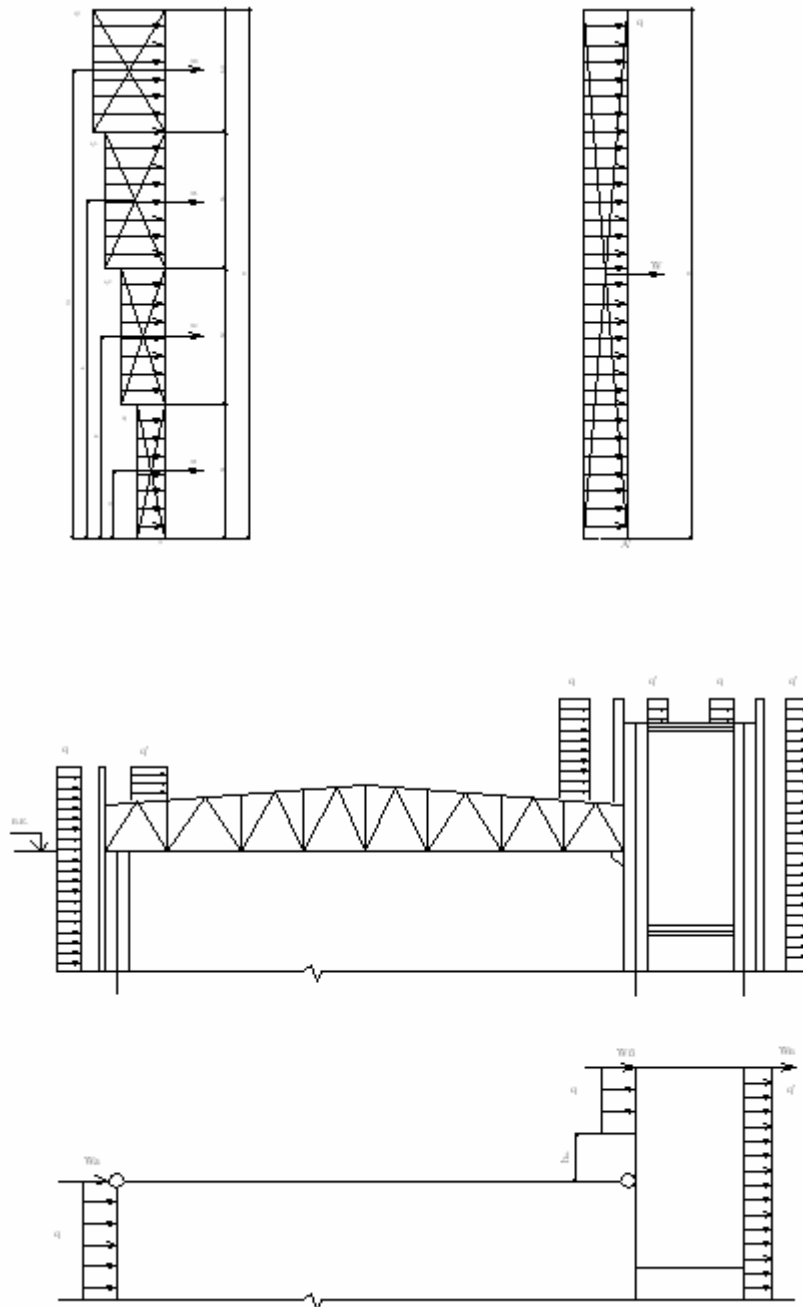


Рис.12. Порядок определения горизонтальных сосредоточенных сил от ветрового давления

Далее, в той же последовательности выполняется расчет ветровой нагрузки при ветре справа.

Значения ветровых нагрузок заносятся в таблицу 6 в строки, отведенные для десятого и одиннадцатого загружений рамы (см. п.4.6.).

4.6. Построение общей таблицы загружений рамы

Как отмечено в п. 3, загрузка рамы, при использовании вычислительного комплекса “Мираж”, оформляется в виде документов NN 6 и 7. Эти документы представляют собой две взаимосвязанные таблицы, заполняемые при вводе данных в компьютер порознь, что создает некоторые неудобства при работе с ними и может стать источником случайных ошибок. В связи с этим, при подготовке данных по нагрузкам эти две таблицы целесообразно совместить и представить их в виде единой общей таблицы загружений – таблицы 6. Ее заполнение проиллюстрировано на примере рассматриваемой рамы.

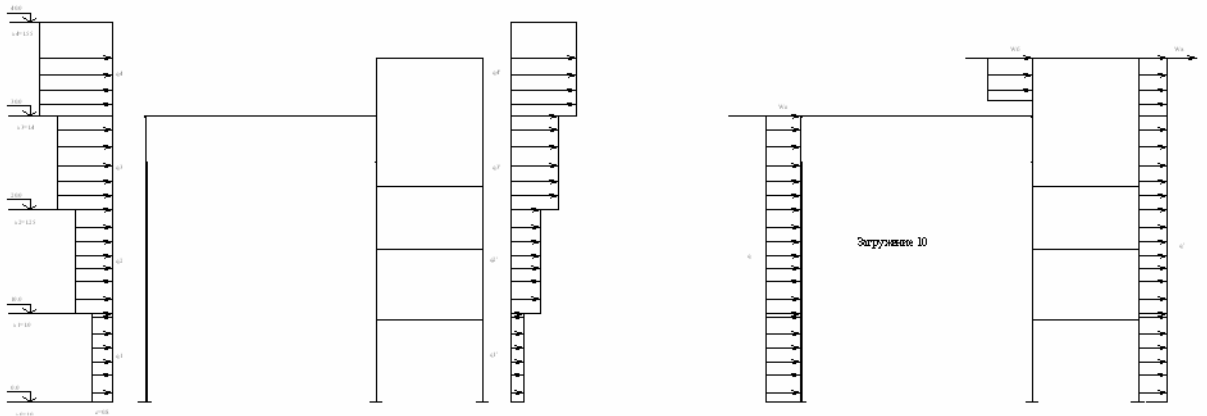


Рис.13. Виды схем загрузки элементов поперечной рамы.

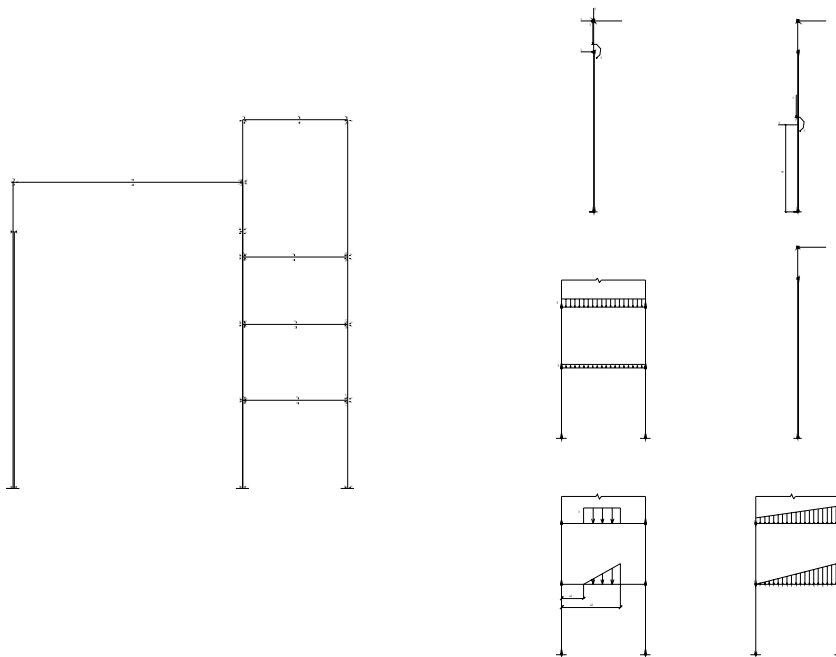


Рис.14. Расчетные сечения в элементах поперечной рамы.

Таблица 6.

N сроки	NN узлов или элем.	Вид нагрузки	Напр. нагрузки	Номер стр. док.7	Номер схемы загрузки	Величина нагрузки	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	5	1	1	1	G_H^{ca}	a_1
2	1	5	5	2	1	$-M_H^{ca}$	a_2
3	2	0	3	3	1	G_2	
4	2	0	5	4	1	$-M_2$	
5	3	0	3	5	1	G_3	
6	5	0	3	6	1	G_5	
7	6	0	3	7	1	G_6	
8	7	0	3	8	1	G_7	
9	8	0	3	9	1	G_8	
10	8	0	5	10	1	$-M_8$	
11	9	0	3	11	1	G_9	
12	9	0	5	12	1	$-M_9$	
13	10	0	3	13	1	G_{10}	
14	12	0	3	14	1	G_{12}	
15	12	0	5	15	1	M_{12}	
16	13	0	3	16	1	G_{13}	
17	13	0	5	17	1	M_{13}	
18	14	0	3	18	1	G_{14}	
19	14	0	5	19	1	M_{14}	
20	15	0	3	20	1	G_{15}	
21	10	6	3	21	1	$q_{пз}$	
22	11	6	3	22	1	q_4	
23	12	6	3	23	1	q_3	
24	13	6	3	24	1	q_2	
25	11	7	3	25	2	q_d	a_1 q_d a_2
26	11	6	3	26	2	q_4'	
27	12	6	3	27	2	q_3'	
28	13	6	3	28	2	q_2'	
29	2	0	3	29	3	$D_{max A}$	
30	2	0	5	30	3	M_{max}	
31	8	0	3	31	3	$D_{min Б}$	
32	8	0	5	32	3	$-M_{min}$	
33	2	0	3	33	4	$D_{min A}$	
34	2	0	5	34	4	M_{min}	
35	8	0	3	35	4	$D_{max Б}$	
36	8	0	5	36	4	$-M_{max}$	
37	2	0	1	37	5	T	
38	2	0	1	38	6	$-T$	
39	8	0	1	39	7	T	
40	8	0	1	40	8	$-T$	

41	2	0	5	41	9	$-M_{CH}^A$	
42	3	0	3	42	9	G_{CH}^A	
43	9	0	3	43	9	G_{CH}^B	
44	9	0	5	44	9	$-M_{CH}^B$	
45	10	0	3	45	9	$G_{CH.3}^B$	
46	10	0	5	46	9	$-M_{CH.3}^B$	
47	15	0	3	47	9	$G_{CH.3}^B$	
48	15	0	5	48	9	$M_{CH.3}^B$	
49	3	0	1	49	10	W^A	
50	10	0	1	50	10	W^B	
51	15	0	1	51	10	W^B	
52	1	6	3	52	10	q	
53	2	6	3	53	10	q	
54	9	6	3	54	10	q	
55	14	6	3	55	10	q'	
56	15	6	3	56	10	q'	
57	16	6	3	57	10	q'	
58	17	6	3	58	10	q'	
59	3	0	1	59	11	$-W^A$	
60	10	0	1	60	11	$-W^B$	
61	15	0	1	61	11	$-W^B$	
62	1	6	3	62	11	q'	
63	2	6	3	63	11	q'	
64	9	6	3	64	11	q'	
65	14	6	3	65	11	q	
66	15	6	3	66	11	q	
67	16	6	3	67	11	q	
68	17	6	3	68	11	q	

Первый столбец содержит порядковые номера строк. В памяти компьютера он формируется автоматически нажатием клавиши "Enter" до требуемого номера строки.

Во втором столбце указываются номера узлов или элементов в общей системе нумерации, к которым прикладываются сосредоточенные или местные нагрузки в установленной последовательности схем загрузки.

Третий столбец содержит последовательность цифр, представляющих собой принятые в вычислительном комплексе "Мираж" обозначения видов нагрузок. Цифрой "0" обозначены любые узловые нагрузки - силы и моменты, приложенные к узлу с соответствующим номером в общей системе нумерации и связаны с общей системой координат X Y Z. Цифрой "5" обозначены местные сосредоточенные нагрузки-силы и моменты, приложенные к данному элементу в любом его сечении по длине (или высоте), которые связаны с его местной системой осей. Цифрой "6" обозначены местные погонные равномерно-распределенные нагрузки, водимые в местной системе осей координат данного элемента. Цифрой "7" обозначены местные погонные нагрузки, распределенные или по равномерному, или по трапециевидальному закону. Эти нагрузки могут быть приложены как по всей длине (или высоте) элемента, так и частично в любом месте пролета. Набор возможных нагружений элементов рамы схематично представлен на рис. 13.

В столбец "Направление нагрузки" заносятся номера степеней свободы, в направлении которых прикладываются узловые и местные нагрузки. Узловые нагрузки вида "0" при решении плоских задач разрешены по направлениям 1, 3, 5 общей системы осей X Y Z. Местные сосредоточенные нагрузки вида "5" могут быть приложены по направлениям 1, 3, 5 местной системы осей $x_1 y_1 z_1$ с обязательным указанием привязки точки их приложения a_1 от начального узла элемента (от узла с меньшим номером) в восьмом столбце таблицы 6. Местные равномерно-распределенные нагрузки вида "6" разрешены по направлениям 1 и 3 местной системы осей $x_1 y_1 z_1$. Местные равномерно-распределенные и трапециевидальные

нагрузки вида “7” также разрешены по направлениям 1 и 3 местной системы осей x_1 y_1 z_1 и вводятся с обязательным указанием привязок крайних точек их приложения a_1 и a_2 от начального узла элемента.

В шестом столбце ставятся номера схем загрузки в соответствии с принятой последовательностью их рассмотрения.

В столбце “Величина нагрузки” заносятся численные значения узловых и местных нагрузок, приложенных по соответствующим в четвертом столбце направлениям. Узловые нагрузки вводятся в тс и тс*м, местные – в тс/м с обязательным указанием знака. На рис. 13 для всех возможных загрузок при решении данной задачи показаны положительные направления узловых и распределенных нагрузок. Следует отметить, что принятые положительные направления несколько отличаются от предлагаемых в вычислительном комплексе “Мираж”. Это сделано для удобства обработки результатов расчета и дальнейшего построения комбинаций усилий в назначенных сечениях рамы.

При вводе в компьютер местных нагрузок вида “5” рядом с численным значением нагрузки в той же строке ставится численное значение привязки a_1 (рис. 13,б). При вводе местной нагрузки вида “7” сначала ставится численное значение ближайшей к начальному узлу ординаты нагрузки, затем ее привязка a_1 к этому узлу, далее численное значение следующей, крайней, ординаты и ее привязка a_2 тоже к начальному узлу элемента (рис. 13,г).

5 Расчет усилий в элементах рамы и построение огибающих

При формировании загруженной рамы в таблице 6 и вводе данных в компьютер расчет перемещений системы и усилий осуществляется сразу для всех назначенных нагрузочных схем. Результата выдается как в табличном, так и в графическом виде и может быть по требованию пользователя и в том, и в другом виде распечатан. Полная информация о напряженно-деформированном состоянии рамы необходима, если поставлена задача выполнить анализ несущей способности всех ее элементов. Для этого назначаются расчетные сечения в характерных местах рамы и строятся огибающие эпюры M, N, Q . В данном случае общее количество расчетных сечений получилось равным 39 (рис. 14).

Если поставлена задача оценить несущую способность, к примеру, только колонны по ряду А, то достаточно ограничиться четырьмя расчетными сечениями (1-1, 2-2, 3-3, 4-4, рис.14). В дальнейшем порядок построения сводной таблицы усилий, таблиц эпюр и комбинаций проиллюстрирован именно на этом примере, т.е. только для четырех сечений в колонне крайнего ряда.

5.1 Построение сводной таблицы усилий в назначенных сечениях рамы.

Расчет завершается получением распечатки усилий в узлах элементов рамы, которые следует определенным образом упорядочить. Для этого составляется сводная таблица усилий (таблица 7) только в тех сечениях, которые приняты к рассмотрению. В таблицу заносятся значения M, N, Q в расчетных сечениях для каждой схемы загрузки сначала в строки с коэффициентом сочетаний ψ_i и заполняются соответствующие строки таблицы. При заполнении таблицы следует обязательно учитывать знаки усилий, руководствуясь известными правилами строительной механики.

После оформления таблицы 7 целесообразно представить полученный результат графически, для чего составляется таблица эпюр усилий (таблица 8) на рассматриваемом элементе от каждого вида загрузки. В данном случае достаточно ограничиться построением только эпюр M и N . Эпюры усилий в этой таблице строятся уже с учетом введения коэффициентов сочетаний ψ_i . постановка знаков усилий и в этой таблице обязательна.

Таблица 7.

	NN схем	коэф ф. Ψ_i	1-1			2-2			3-3			4-4		
			M	N	Q	M	N	Q	M	N	Q	M	N	Q
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Постоянные нагрузки	1	1,0												
Технологические нагрузки	2	1,0												
		0,95												
Крановые нагрузки D_{max} D_{min} M_{max} M_{min} полная	3	1,0												
		0,8												
		0,6												
Крановые нагрузки D_{min} D_{max} M_{min} M_{max} полная	4	1,0												
		0,8												
		0,6												
Крановые нагрузки Левая стойка Т вправо	5	1,0												
		0,8												
		0,6												
Крановые нагрузки Левая стойка Т влево	6	1,0												
		0,8												
		0,6												

Крановые нагрузки Правая стойка Т вправо	7	1,0														
		0,8														
		0,6														
Крановые нагрузки Правая стойка Т влево	8	1,0														
		0,8														
		0,6														
Снеговая нагрузка Полная	9	1,0														
		0,8														
		0,6														
Ветровая нагрузка (ветер слева)	10	1,0														
		0,8														
		0,6														
Ветровая нагрузка (ветер справа)	11	1,0														
		0,8														
		0,6														

Таблица 8.

NN схем	1	2	3	4	5
Усилия					
Изгибающие моменты M					
Продольные усилия N					
6	7	8	9	10	11

5.2 Построение таблиц комбинаций усилий и огибающих эпюр M, N(Q)

Цель построения таблиц комбинаций состоит в определении наименее выгоднейших суммарных положительных и отрицательных (в алгебраическом смысле) усилий в заданных сечениях рамы при самых неблагоприятных, но физически возможных сочетаниях нагрузок.

Таблицы комбинаций удобно строить, пользуясь данными таблицы эпюр 8. В данном случае для расчетного сочетания, учитывающего одну постоянную нагрузку (собственный

вес), одну временно длительную (технологические нагрузки) и три временные кратковременные (крановые, снеговые и ветровые нагрузки) строятся две комбинации усилия:
 -максимальные и минимальные изгибающие моменты (M_{max}^+ и M_{min}^-) и соответствующие им продольные усилия N ;
 -максимальные и минимальные продольные усилия (N_{max} и N_{min}) и соответствующие им изгибающие моменты M^+ и M^- .

Основные рекомендации по построению таблиц комбинаций 9и 10 можно сформулировать следующим образом:

1. Постоянные и длительно действующие нагрузки и усилия от них учитываются во всех комбинациях независимо от знака.
2. Усилия от кратковременных нагрузок учитываются в том случае, если они приводят к увеличению M_{max}^+ или к уменьшению M_{min}^- в алгебраическом смысле.
3. Усилия от вертикальных крановых нагрузок, когда они рассматриваются как кратковременные, могут учитываться без усилий от горизонтальных сил торможения T , если это дает наименее выгодный результат.
4. Усилия от горизонтальных сил торможения T учитываются только вместе с усилиями от вертикальных крановых нагрузок.

По данным таблиц 9 и 10 в рассматриваемых сечениях строятся огибающие эпюры M и $N(Q)$ (рис.15).

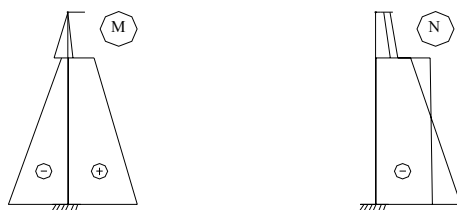
Полученные результаты используются далее при выполнении проверок устойчивости и прочности элементов рамы с целью подбора или уточнения назначенных размеров их поперечного сечения.

Таблица 9.

Расчетные усилия	1-1			2-2			3-3			4-4		
	M	N	Q	M	N	Q	M	N	Q	M	N	Q
NN схем												
M_{max}^+ И соответств. $N(Q)$												
Σ												
NN схем												
M_{min}^- И соответств. $N(Q)$												
Σ												
$M_{max}^+ (N,Q)$												
$M_{min}^- (N,Q)$												

Расчетные усилия	1-1			2-2			3-3			4-4		
	M	N	Q	M	N	Q	M	N	Q	M	N	Q
NN схем												
N_{\max} и соответств. $M^+(Q)$												
Σ												
NN схем												
N_{\min} и соответств. $M^-(Q)$												
Σ												
$N_{\max}(M^+, Q)$												
$N_{\min}(M^-, Q)$												

Первая комбинация



Вторая комбинация

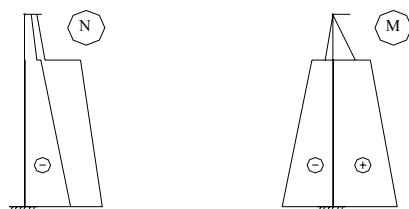


Рис.15. Пример построения огибающих эпюр усилий M и N.

Литература

1. Купцов И.П., Иоффе Ю.Р. Проектирование и строительство тепловых электростанций.- М.:Энергоатомиздат,1985.- 406с.
2. Строительство атомных электростанций: Учебник для вузов/В.В.Дубровский, А.П.Кириллов, В.С. Конвиз и др. Под ред. В.Д.Дубровского.- М.: Энергоатомиздат, 1987.-248с.
3. Строительство тепловых и атомных электростанций: Справочник строителя в 2-х тт. Т.1 /Н.Я.Турчин, Г.С,Агеев, И А.Александров и др. Под ред.П.С.Непорожного,-М.: Стройиздат, 1985.-572с.
4. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. Нормы проектирования. - М.: Стройиздат, 1988.-95с.
5. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования. - М.: Стройиздат, 1987.-62с.
6. БогдановЮ.В., Соколов В.А.Компоновка и расчет элементов главного корпуса ТЭС и АЭС: Учебное пособие.- Л.: изд. ЛПИ, 1988.-94с.