РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

КАРКАСЫ СТАЛЬНЫЕ ПАРОВЫХ СТАЦИОНАРНЫХ КОТЛОВ

НОРМЫ РАСЧЕТА

РТМ 108.031.09—83

Издание официальное

gost.e-ecolog.ru

УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ указанием Министерства энергетического машиностроения от 18.02.83 № ВВ-002/1333

ИСПОЛНИТЕЛИ: **Л. С. МАРКМАН** (руководитель комплексной темы); **Г. А. СЕРГАЧЕВ; Г. Я. СОБОЛЕВА; И. Я. ХАРХУРИМ**, канд. техн. наук; **В. В. КОСТАРЕВ**, канд. техн. наук; **А. Ю. ЩУКИН; В. А. ВЕТОШКИН; М. В. ОЛЕНБЕРГ; Л. А. БОРОДИН**, канд. техн. наук (руководитель темы); **П. М. ИСАЕВ** (руководитель темы); **П. Н. ЖОСОВ**

© Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И. И. Ползунова (НПО ЦКТИ), 1984.

УДК 621.181:624.94 (083.74) Группа Е21

РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

КАРКАСЫ СТАЛЬНЫЕ ПАРОВЫХ СТАЦИОНАРНЫХ КОТЛОВ

НОРМЫ РАСЧЕТА

РТМ 108.031.09—83

Введен впервые

Указанием Министерства энергетического машиностроения от 18.02.83 № ВВ-002/1333 срок действия

с 01.07.83

~~до 01.07.88~~

Не огранич.
N 1-505 от 18.02.

Настоящий руководящий технический материал (РТМ) распространяется на каркасы стационарных паровых и водогрейных котлов и содержит требования и рекомендации по расчету несущих элементов при статических и динамических воздействиях.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Каркасом стационарного котла называется несущая металлическая конструкция, воспринимающая нагрузки от массы стационарного котла и другие нагрузки, определенные требованиями ОСТ 108.031.107—78, и обеспечивающая требуемое взаимное расположение элементов котла.

1.2. Каркас должен быть рассчитан на прочность и устойчивость при основном и особых сочетаниях нагрузок, регламентированных ОСТ 108.031.107—78.

1.3. Расчет при особом сочетании с учетом сейсмических нагрузок (определение сейсмостойкости) производится для каркасов котлов, устанавливаемых на площадках с расчетной сейсмичностью 7 и более баллов по шкале МСК-64.

1.4. В случае необходимости при согласии организации, проектирующей каркас, допускается передавать на него нагрузки от перекрытий зданий, станционных трубопроводов, котельно-вспомогательного и другого оборудования.

1.5. Для расчета каркаса на действие статических и приведенных к ним динамических нагрузок составляется расчетная схема, учитывающая пространственное расположение его элементов.

Определение перемещений и внутренних усилий в элементах расчетной схемы следует производить на электронно-вычислительных машинах (ЭВМ) с использованием программ расчета пространственных конструкций (специализированных или универсальных).

1.6. При расчете каркаса в предположении упругих деформаций элементов допускается определять внутренние усилия от каждого нагружения в отдельности и затем суммировать их в сочетаниях. При учете неупругих деформаций определение внутренних усилий возможно только от суммарной нагрузки для каждого сочетания.

1.7. Для каркасов серийных котлов должны быть оговорены условия их применения с указанием учтенных в расчете типов сочетаний нагрузок. Применение ранее запроектированных каркасов для работы в других условиях без поверочных дополнительных расчетов запрещается.

1.8. Величины всех нагрузок, кроме нагрузок от сейсмического и ветрового воздействий, определяются в соответствии с указаниями ОСТ 108.031.107—78.

При нахождении сил трения следует принимать: коэффициент трения скольжения 0,3, коэффициент трения качения 0,1.

Издание официальное Перепечатка воспрещена

1.9. Определение нагрузок от динамических (сейсмических и ветровых) воздействий следует производить в соответствии с требованиями настоящего РТМ.

Действие этих нагрузок допускается учитывать раздельно в направлениях продольной, поперечной и вертикальной осей сооружения. Для определения указанных нагрузок составляется специальная расчетная схема — динамическая модель сооружения.

1.10. Исходными данными для проведения расчета на сейсмостойкость являются: расчетная сейсмичность (в баллах), категория грунта площадки строительства, а также в случае необходимости инструментальные записи землетрясений и основанная на них другая информация. Исходные данные согласовываются с генпроектировщиком при составлении технического задания на проектирование.

1.11. Нагрузки от сейсмических воздействий (сейсмические нагрузки) для всех типов котлов как опертых на каркас, так и подвесных, следует определять по методике, изложенной в обязательном приложении 1.

1.12. Для котлов подвесного типа паропроизводительностью свыше 800 т/ч и высотой более 50 м при расчетной сейсмичности 8 баллов и выше следует производить поверочный расчет каркаса на сейсмостойкость с использованием инструментальных записей. Соответствующие методики приведены в рекомендуемом приложении 2.

1.13. Рекомендации по определению ветровых нагрузок содержатся в рекомендуемом приложении 3.

1.14. Температурные воздействия для полуоткрытых установок котла следует учитывать в расчетах, если разность температур соседних параллельных элементов каркаса превышает 50°С.

2. РАСЧЕТНАЯ СХЕМА

2.1. Под расчетной схемой каркаса котла следует понимать систему соединенных в узлах стержневых, пластинчатых и других элементов, отражающую с необходимой точностью деформационные и геометрические свойства реальной конструкции, условия ее закрепления и нагружения статически приложенными силами.

Если оси стержневых элементов конструкции, соединенных в узле, лежат в параллельных плоскостях (т. е. не пересекаются в одной точке) и расстояние между ними превышает 1/5 длины меньшего элемента, то в расчетную схему следует вводить жесткие элементы — вставки, имитирующие физические размеры узла.

2.2. Расчетная схема строится на основе конструктивной схемы, исходя из предположений и допущений о работе конструкции и ее элементов, позволяющих упростить ее конфигурацию и выявить основные несущие элементы.

Пример построения расчетной схемы каркаса приведен в справочном приложении 4.

2.3. При построении расчетной схемы допускается:

использовать симметрию конструкции, рассматривая 1/2 или 1/4 (при двоякой симметрии) ее части;

уменьшать число прикладываемых нагрузок за счет объединения близко расположенных сил или введения статических эквивалентов группы сил;

уменьшать количество элементов путем замены отдельных частей конструкции (ферм, раскосных систем) их эквивалентами, исключая вспомогательные элементы с незначительной несущей способностью или работающие только на местные нагрузки.

Под местной понимается нагрузка, непосредственно не учитываемая в расчетной схеме. Рекомендации по разработке стержневых эквивалентов ферм жесткости приведены в справочном приложении 5.

2.4. Расчет исключаемых элементов на действующие на них нагрузки следует производить отдельно от общего расчета каркаса.

2.5. Перекрытие и горизонтальные фермы жесткости, расположенные на разных уровнях по высоте каркаса, допустимо рассматривать при составлении расчетных схем как жесткие междуэтажные диски, понимая под этажом часть каркаса, заключенную между соседними дисками.

2.6. В расчетной схеме допускается учитывать несущую способность газоплотной обшивки, вводя эквивалентные пластинчатые или раскосные элементы. Включать в расчетную схему каркаса обмуровку и поверхности нагрева запрещается.

2.7. При отсутствии специальных конструктивных мероприятий, обеспечивающих шарнирное закрепление или упругое защемление элементов каркаса в узлах и его опорных узлов в основании, их закрепление предполагается в расчетной схеме жестким.

2.8. Условия нагружения реализуются в расчетной схеме в виде сосредоточенных нагрузок в узлах и распределенных и сосредоточенных нагрузок на элементы. Нагрузки (кроме местных), приложенные к исключаемым элементам, должны быть приведены к остающимся; если закрепление балочных элементов в узле жесткое, то вместе с сосредоточенными реактивными силами должны прикладываться и моменты.

2.9. Нагрузки от динамических воздействий, полученные в динамической модели, приводятся к узлам и элементам основной расчетной схемы и включаются в статический расчет каркаса котла.

3. ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СООРУЖЕНИЯ КАРКАС — КОТЕЛ

3.1. Динамическая модель сооружения каркас — котел представляет собой специальный вариант расчетной схемы, достаточно полно отражающий основные инерционные и жесткостные его свойства. По реакции модели на заданное внешнее возмущение оцениваются параметры соответствующей реакции реального сооружения.

3.2. Динамическая модель рассматриваемой системы состоит в общем случае из двух связанных подсистем — динамических моделей каркаса и котла. Могут рассматриваться пространственные, плоские и консольные динамические модели.

3.3. Пространственная динамическая модель каркаса может быть получена непосредственно из расчетной схемы путем сосредоточения ее масс в узлах. В схемах с этажной структурой указанные узлы рекомендуется располагать на междуэтажных уровнях. В эти же узлы приводятся массы опертого котла и другого оборудования.

Пространственные динамические модели следует использовать в тех случаях, когда существует возможность значительных общих крутильных колебаний каркаса (для протяженных в плане конструкций с существенной асимметрией и неравномерным распределением масс).

3.4. Плоская динамическая модель для каждого горизонтального направления строится путем условного совмещения параллельных рам пространственной модели. При этом жесткостные характеристики элементов и узловые массы плоской модели определяются как суммы соответствующих параметров, совпадающих при наложении элементов и узлов.

3.5. Консольная динамическая модель — наиболее простой тип моделей — представляет собой условный стержень, на оси которого располагаются сосредоточенные массы в количестве, равном числу этажей плоской модели.

Величина каждой массы численно равна сумме масс, расположенных на соответствующем междуэтажном уровне плоской модели. Матрица жесткости такого стержня может быть получена на основе рассмотрения плоской модели при условии, что узлы, расположенные на каждом междуэтажном уровне, соединены нерастяжимыми связями и, следовательно, имеют одинаковые горизонтальные смещения.

Пример построения динамической модели каркаса показан в справочном приложении 6.

3.6. Для определения нагрузок от динамических воздействий по каждому из трех взаимно перпендикулярных направлений в отдельности допустимо использовать плоские и консольные динамические модели каркасов.

3.7. В динамической модели сооружения подвесной котел — каркас подвешенную конструкцию допускается рассматривать как жесткое недеформируемое тело, связанное с потолочным перекрытием параллельными подвесками одинаковой длины.

Массовый момент инерции определяется относительно оси, проходящей через его центр масс.

3.8. При построении плоской модели реальная система подвесок заменяется несколькими условными подвесками эквивалентной жесткости.

3.9. Потолочное перекрытие моделируется изгибаемым элементом эквивалентной жесткости. При расчетах на горизонтальное воздействие допускается принимать элемент абсолютно жестким.

3.10. Если между котлом и каркасом установлены горизонтальные упругие связи или демпфирующие устройства, то в динамической модели в соответствующих уровнях вводятся элементы с эквивалентными характеристиками.

4. ПРОВЕРКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КАРКАСА И ЕГО ЭЛЕМЕНТОВ

4.1. Проверку несущей способности элементов каркаса котла следует производить по СНиП II-23-81 с учетом указаний данного РТМ на основании величин внутренних усилий в элементах и перемещений в узлах расчетной схемы.

4.2. Расчет каркаса котла на все виды нагружений с проверкой несущей способности и подбором размеров сечений основных элементов с учетом обязательных положений данного РТМ, требований СНиП II-23-81 и СНиП II-7-81 может быть произведен по специализированной программе «Конструкция», разработанной НПО ЦКТИ. Пример расчета каркаса котла по программе «Конструкция» приводится в справочном приложении 7.

Примеры определения сейсмических нагрузок различными методами даны в справочном приложении 8.

4.3. Расчетные характеристики материалов и соединений следует принимать по СНиП II-23-81.

4.4. По степени ответственности и условиям эксплуатации элементы каркасов котлов, кроме фасонок ферм, относятся ко второй группе стальных конструкций по классификации СНиП II-23-81, фасонки ферм относятся к первой группе.

4.5. Расчет конструкций сооружения на основные и особые сочетания нагрузок с учетом сейсмических воздействий выполняется в соответствии с требованиями СНиП II-7-81 и настоящего РТМ.

В случае особых сочетаний нагрузок с учетом действия реактивных усилий предохранительных клапанов или сейсмического воздействия, помимо коэффициентов условий работы, принимаемых в со-

ответствии с требованиями настоящего РТМ, должен вводиться дополнительно коэффициент условий работы $m_{кр}$, определяемый по СНиП II-7-81.

4.6. Определение величин внутренних усилий или напряжений в элементах каркаса при учете вертикальной и одной из горизонтальных составляющих сейсмического воздействия следует производить по формуле

$$N = \sqrt{N_г^2 + N_в^2}.$$

4.7. Усилие или напряжение в элементах каркаса от горизонтальной составляющей сейсмического воздействия $N_г$ определяется по формуле

$$N_г = \sqrt{\sum_i N_{i_г}^2}.$$

Суммирование производится по числу форм колебаний i, учитываемых в расчете и соответствующих частотам не выше 30 Гц.

4.8. Усилие или напряжение в элементах каркаса от вертикальных нагрузок при сейсмическом воздействии $N_в$ определяется по формуле

$$N_в = \sqrt{\sum_i (N_{i_в}^2 + N_{i_{г.в}}^2)},$$

где $N_{i_в}$ — усилие или напряжение при колебаниях по i-й форме от вертикальной составляющей сейсмического воздействия;

$N_{i_{г.в}}$ — усилие или напряжение при колебаниях по i-й форме от вертикальной нагрузки, которая возникает от горизонтальной составляющей сейсмического воздействия.

Суммирование производится по числу форм i, учитываемых в расчете.

4.9. Консольно расположенные конструкции, несущие оборудование, рассчитываются на вертикальную сейсмическую нагрузку в соответствии с указаниями СНиП II-7-81 для конструкций данного типа.

4.10. Коэффициенты условий работы элементов каркаса котла принимаются:

$\gamma_c = 0{,}9$ — для колонн, ригелей рам, элементов ферм, балок потолочного перекрытия, основных опорных балок и шлаковых бункеров;

$\gamma_c = 1{,}0$ — для всех остальных расчетных элементов.

4.11. Элементы, вошедшие в расчетную схему, рассчитываются как работающие в составе всей конструкции и отдельно на действие местных нагрузок (если они имеются).

Конструкции, замененные эквивалентами рассчитываются на действие внутренних усилий, определенных для эквивалента, и на местные нагрузки.

4.12. Расчетные длины колонн рамных каркасов и других сжатых элементов следует принимать по СНиП II-23-81.

Расчетные длины участков колонн следует принимать равными расстоянию между узлами, если концевые сечения участков соединены с междуэтажными дисками или ригелями, удовлетворяющими условиям, предъявляемым к элементам, уменьшающим расчетную длину, или если данный участок является элементом рамно-связевой системы.

4.13. Ригели, связывающие колонну с рамно-связевой системой, должны быть проверены на действие условной перерезывающей силы в соответствии с СНиП II-23-81.

4.14. Расчет элементов потолочного перекрытия с учетом развития пластических деформаций не допускается.

Балки, не вошедшие в расчетную схему, следует рассматривать, как шарнирно-опертые однопролетные с коэффициентом условий работы $\gamma_c = 1$.

4.15. Фермы жесткости каркаса должны быть рассчитаны дополнительно как отдельные конструкции на действие условных перерезывающих горизонтальных сил, определяемых по СНиП II-23-81. Эти силы прикладываются одновременно во всех узлах соединения ферм с промежуточными колоннами; при этом узлы, соответствующие угловым колоннам, рассматриваются как неподвижные.

4.16. Перемещения каркаса котла от расчетных нагрузок не должны превышать по колоннам в горизонтальном направлении на высоте от обреза фундамента и поэтажно значения $H/500$ (H — высота от обреза фундамента или высота этажа).

При сейсмических воздействиях значения допустимых перемещений каркаса котла могут быть увеличены в горизонтальном направлении до $H/400$.

4.17. Перемещения каркаса здания котельного помещения в горизонтальном направлении от расчетных нагрузок при совмещении несущих конструкций стационарных котлов со строительными конструкциями не должны превышать на уровне низа хребтовых балок значений $H/700$ (H — расстояние от обреза фундамента до низа хребтовой балки).

При сейсмических воздействиях значения допустимых перемещений каркаса здания в горизонтальном направлении могут быть увеличены до $H/500$.

4.18. Относительные прогибы элементов каркаса котла от расчетных нагрузок не должны превышать:

1/400 — для главных (хребтовых) балок и ригелей потолочного перекрытия; ригелей, несущих барабаны котла, в вертикальном и горизонтальном направлениях при двухопорной конструкции;

1/300 — для ригелей и балок водяного экономайзера; ригелей рам, несущих обмуровку, в вертикальном направлении;

1/250 — для второстепенных балок потолочного перекрытия; ригелей рам, несущих обмуровку, в горизонтальном направлении;

1/200 — для ригелей рам, не несущих обмуровки, в вертикальном и горизонтальном направлениях; ригелей и балок трубчатых воздухоподогревателей.

4.19. Гибкость элементов каркаса котла не должна превышать значений, приведенных в таблице.

Элементы конструкций	Рекомендуемые значения гибкости	Максимальная допустимая гибкость
Основные колонны	40—80	120
Элементы несущих вертикальных и горизонтальных ферм жесткости, сжатые вертикальные связи	100	120
Второстепенные сжатые связи и поддерживающие элементы	150	200
Растянутые связи и подвески	200	300

4.20. При отсутствии горизонтальных неуравновешенных нагрузок (ветровых, сейсмических и др.) или незначительных их величинах каркас котла должен быть проверен на одновременное действие условных перерезывающих сил, определяемых по формуле

$$Q_{i_{усл}} = 0{,}01 n^{1-1/3} N_i,$$

где $Q_{i_{усл}}$ — условная перерезывающая сила, приложенная в верхней отметке i-й колонны;

N_i — продольная сила в i-й колонне;

n — количество сжатых колонн.

Эта проверка может быть заменена расчетом на общую устойчивость каркаса от вертикальных нагрузок.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Обязательное

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящая методика предназначена для определения сейсмических нагрузок на каркасы стационарных котлов, опирающихся на собственный каркас, и котлов подвесной конструкции, имеющих горизонтальные связи между котлом и каркасом или свободно подвешенных к потолочному перекрытию. Данная методика может быть применена для определения сейсмических нагрузок на несущую конструкцию стационарных котлов, совмещенную со строительными конструкциями котельного помещения, при условии, что динамическая модель этого сооружения может быть составлена в соответствии с требованиями настоящего РТМ.

1.2. Нагрузки от горизонтальной составляющей сейсмического воздействия на сооружение каркас — котел определяются и учитываются раздельно в двух взаимно перпендикулярных направлениях — вдоль продольной и поперечной осей каркаса.

1.3. Нагрузки от вертикальной составляющей сейсмического воздействия определяются независимо от горизонтальной составляющей с помощью специальной динамической модели.

2. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ω_i — частота собственных колебаний системы по i-й форме;

X_{ic} — горизонтальное перемещение центра масс подвешенной конструкции при колебаниях по i-й форме;

φ_i — угловое перемещение подвешенной конструкции вокруг центра масс при колебаниях по i-й форме;

$m_1, m_2, \ldots, m_k, \ldots, m_n$ — сосредоточенные массы каркаса;

$1, 2, 3, \ldots, k, \ldots, n$ — номер сосредоточенной массы каркаса (индекс n всегда относится к верхней массе, сосредоточенной на уровне потолочного перекрытия);

X_{ik} — горизонтальное перемещение k-й сосредоточенной массы каркаса при колебаниях по i-й форме;

ω_k — частота собственных колебаний каркаса по первой форме;

l_n — длина подвески;

l — расстояние от верхней кромки котла до его центра масс;

l_e — расстояние от верхней кромки котла до уровня горизонтальной связи e;

a_j — расстояние по горизонтали от центра масс подвешенной конструкции до j-й условной подвески;

$1, 2, \ldots, j$ — номер условной подвески;

C_{0e} — суммарная жесткость горизонтальных связей между котлом и каркасом в e-м этаже;

$$e = 1, 2, \ldots, h; \quad h \leqslant n;$$

Q — вес подвешенной конструкции котла;

M_c — масса подвешенной конструкции котла;

θ — момент инерции подвешенной конструкции относительно ее центра масс;

C_φ — суммарная реакция пружин условных подвесок при единичном угле поворота.

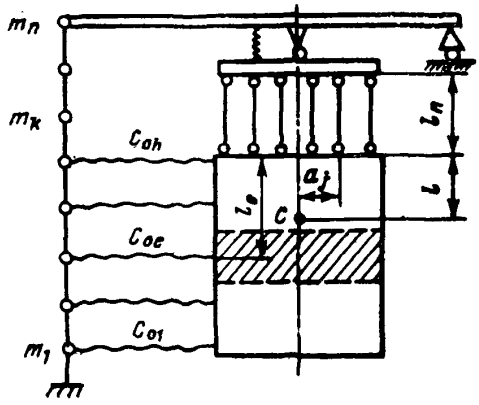
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК НА КАРКАС ОТ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

3.1. Определение горизонтальных сейсмических нагрузок производится с использованием одномерной динамической модели сооружения каркас — котел для котлов, опирающихся на каркас, и плоской модели для котлов подвесного типа (черт. 1).

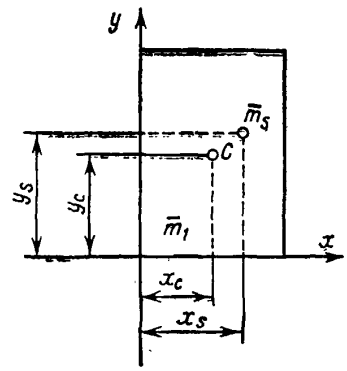
3.2. Положение узловых точек одномерной динамической модели каркаса, содержащей n масс, определяется n обобщенными координатами.

Динамическая модель котлов подвесного типа характеризуется $n+2$ обобщенными координатами, где $n+1$ координат соответствуют горизонтальным перемещениям масс каркаса и котла, а $(n+2)$-я координата — угловым перемещениям котла вокруг центра масс.

3.3. Все характеристики динамической модели, включая жесткости связевых элементов между подвесным котлом и каркасом (если они имеются), предполагаются известными. При определении жесткостей условных горизонтальных связей C_{0e} следует учитывать жесткостные характеристики реальных элементов каркаса и котла в местах присоединения реальных связей.



Черт. 1



Черт. 2

3.4. Для динамической модели сооружения подвесной котел — каркас величины θ и C_φ определяются по формулам:

$$\theta = \sum_s \bar{m}_s \left(\Delta x_s^2 + \Delta y_s^2\right),$$

$$C_\varphi = \sum_j C_{\varphi_j} a_j^2.$$

Здесь $\Delta x_s = x_s - x_c$;

$\Delta y_s = y_s - y_c$;

C_{φ_j} — суммарная жесткость пружин j-й условной подвески;

a_j — расстояние j-й подвески от центра масс (точка C на черт. 2);

1, 2, ..., j — номер подвески;

x_c, y_c — координаты центра масс котла, вычисленные в декартовой системе координат;

$$x_c = \frac{\sum_s \bar{m}_s x_s}{\sum_s \bar{m}_s}; \quad y = \frac{\sum_s \bar{m}_s y_s}{\sum_s \bar{m}_s},$$

где $\bar{m}_s$, x_s, y_s — величины отдельных масс, составляющих подвешенную конструкцию котла, и их координаты;

1, 2, 3, ..., s — номера отдельных масс, составляющих подвешенную конструкцию котла;

$$\sum_s \bar{m}_s = M_c = \frac{Q}{g}.$$

3.5. Сейсмические нагрузки вычисляются в узлах динамической модели сооружения каркас — котел, содержащих сосредоточенные массы.

3.6. Горизонтальная сейсмическая нагрузка для i-го тона собственных колебаний сооружения каркас — котел, приложенная в узлах динамической модели каркаса, определяется по формуле

$$S_{ik} = m_k g A \beta_i \eta_{ik} k_1 k_2 k_\psi k_д.$$

3.7. Горизонтальная сейсмическая нагрузка для i-го тона собственных колебаний сооружения, приложенная к центру масс подвешенного котла, определяется по формуле

$$S_{ic} = QA\beta_i \eta_{ic} k_1 k_2 k_\psi k_д.$$

3.8. Коэффициенты A, k_1, k_2, k_ψ и $k_д$ принимаются в соответствии с рекомендациями СНиП II-7-81.

Коэффициент k_1, учитывающий допускаемые повреждения сооружения каркас — котел, принимается $k_1=0{,}25$.

Коэффициент k_2, учитывающий конструктивные решения сооружения, принимается $k_2=1$.

Коэффициент $k_д$, учитывающий характеристики сооружения, принимается $k_д=1{,}2$.

Коэффициент k_ψ для каркасов рамно-связевой конструкции принимается $k_\psi=1$.

Для каркасов рамной конструкции коэффициент k_ψ в предварительных расчетах рекомендуется принимать равным 1,25; в поверочных расчетах коэффициент k_ψ принимается в зависимости от величины отношения h/b (h — высота этажа, b — поперечный размер сечения колонны в направлении действия расчетной сейсмической нагрузки):

при $h/b\geqslant 25$ $k_\psi=1{,}5$; при $h/b\leqslant 15$ $k_\psi=1$; при $15<h/b<25$ значения k_ψ определяются интерполяцией;

при различных значениях отношения h/b величина k_ψ принимается по средним значениям отношения.

3.9. Коэффициенты β_i и η_{ik} вычисляются после определения собственных частот и коэффициентов форм колебаний сооружения каркас — котел.

3.10. Собственные частоты ω_i определяются из решения характеристического уравнения

$$\Delta(\omega)=0,$$

где Δ — определитель системы однородных алгебраических уравнений.

Для динамической модели сооружения подвесной котел — каркас указанная система уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned}
&(C_{11}-m_1\omega^2)X_1+C_{12}X_2+\ldots+C_{1n}X_n+C_{1c}X_c+C_{1\varphi}\varphi=0;\\
&\ldots\ldots\ldots

для центра масс подвешенной конструкции

$$\eta_{ic}=\eta_i X_{ic},$$

где

$$\eta_{li}=\frac{\sum\limits_k m_k X_{lk}+M_c X_{lc}}{\sum\limits_k m_k X_{lk}^2+M_c X_{lc}^2+\theta\varphi_l^2};$$

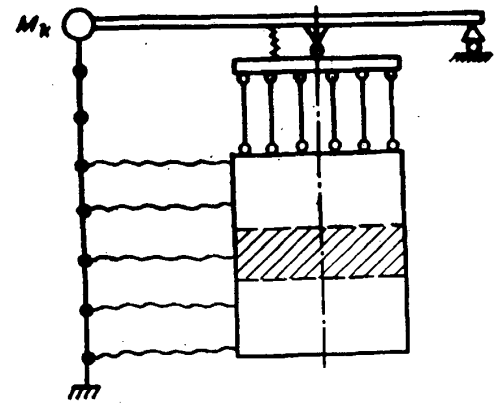
$$k=1, 2, \ldots, n.$$

Для котлов опертой конструкции η_{ik} определяется по СНиП II-7-81.

3.13. Горизонтальные сейсмические нагрузки допускается определять, используя в динамической модели сооружения подвесной котел — каркас упрощенную модель каркаса, при условии, что жесткостные характеристики элементов каркаса в местах присоединения связей не менее чем в 5 раз превосходят жесткость горизонтальных связей.

3.14. Упрощенная консольно-стержневая модель каркаса содержит лишь одну массу M_k, приведенную к уровню потолочного перекрытия (черт. 3).

Положение этой системы при свободных колебаниях определяется тремя обобщенными координатами: горизонтальным перемещением приведенной массы каркаса, горизонтальным перемещением центра масс подвешенной конструкции и углом ее поворота вокруг этого центра. Для определения частот и форм собственных колебаний сооружения каркас — котел можно составить следующую систему алгебраических уравнений третьего порядка:



Черт. 3

$$(a_{11}-M_c\omega_l^2)X_{lc}+a_{12}\varphi_l+a_{13}X_{ln}=0;$$

$$a_{21}X_{lc}+(a_{22}-\theta\omega_l^2)\varphi_l+a_{23}X_{ln}=0;$$

$$a_{31}X_{lc}+a_{32}\varphi_l+(a_{33}-M_k\omega_l^2)X_{ln}=0.$$

Коэффициенты системы вычисляются по формулам:

$$a_{11}=\frac{Q}{l_n}+\sum_{e=1}^{h}C_{0e};$$

$$a_{22}=Ql\left(1+\frac{l}{l_n}\right)+C_\varphi+\sum_{e=1}^{h}C_{0e}(l-l_e)^2;$$

$$a_{33}=\frac{Q}{l_n}+\sum_{e=1}^{h}C_{0e}\bar{y}_e+\omega_k^2M_k;\quad M_k=\sum_{k=1}^{n}m_k\bar{y}_k^2;\quad M_c=\frac{Q}{g};$$

$$a_{23}=a_{32}=\frac{Ql}{l_n}+\sum_{e=1}^{h}C_{0e}(l-l_c)\bar{y}_e;$$

$$a_{12}=a_{21}=-\left[Q\frac{l}{l_n}+\sum_{e=1}^{h}C_{0e}(l-l_e)\right];$$

$$a_{13}=a_{31}=-\left(\frac{Q}{l_n}+\sum_{e=1}^{h}C_{0e}\bar{y}_e\right).$$

Величина $\bar{y}_k$ $(k=1, 2, \ldots, e, \ldots, n)$ определяется по формуле

$$\bar{y}_k=y_k/y_n,$$

где y_k — смещение k-й $(k=1, 2, \ldots, n)$ узловой массы модели каркаса при собственных колебаниях его по первой форме.

При равномерном распределении масс каркаса по высоте допускается:

принимать за y_k соответствующее абсолютное перемещение k-го узла модели каркаса от действия единичной горизонтальной силы, приложенной на уровне потолочного перекрытия;

частоту собственных колебаний каркаса ω_k определять по формуле

$$\omega_k=\sqrt{\frac{1}{y_nM_k}}.$$

3.15. Значения горизонтальных перемещений сосредоточенных масс каркаса и центра масс котла для каждой формы колебаний определяются по формулам

$$X_{ik}=\frac{S_{ik}}{m_k\omega^2_i};\quad X_{ic}=\frac{S_{ic}}{M_c\omega^2_i},$$

при $k=1, 2, \ldots, n$.

3.16. Угол поворота подвешенной конструкции вокруг ее центра масс определяется по формуле

$$\varphi_i=\frac{\overline{\varphi}_i X_{ic}}{\overline{X}_{ic}},$$

где $\overline{X}_{ic}$ и $\overline{\varphi}_i$ определяются по п. 3.10.

3.17. Расчетные усилия в горизонтальных связях между котлом и каркасом определяются по формуле

$$P_e=\sqrt{\sum_i P^2_{ie}} \quad \text{при } e=1, 2, \ldots, h.$$

3.18. Сосредоточенные усилия, передаваемые через горизонтальные связи, для каждой формы колебаний определяются по формуле

$$P_{ie}=C_{0e}\Delta_{ie},$$

где $e=1, 2, \ldots, h$;

Δ_{ie} — значение деформации горизонтальной связи для каждой формы колебаний.

Значение Δ_{ie} определяется из выражения

$$\Delta_{ie}=Y_{ie}-X_{ie} \text{ при } e=1, 2, \ldots, n,$$

где Y_{ie} и X_{ie} — значения перемещений концов связи, примыкающих к котлу и каркасу соответственно; определяются по формулам

$$Y_{ie}=X_{ic}+(l_e-l)\varphi_i;\quad X_{ie}=\frac{S_{ie}}{m_e\omega^2_i}.$$

3.19. Горизонтальное усилие, передаваемое через подвески на уровне потолочного перекрытия, для каждой формы колебаний находится по формуле

$$S_{ib}=\frac{Q}{l_n}(Y_{ib}-X_{in}),$$

где $Y_{ib}=X_{ic}-l\varphi_i$ — перемещение верха котла;

$X_{in}=\frac{S_{in}}{m_n\omega^2_i}$ — перемещение верхней массы каркаса.

3.20. Вертикальные нагрузки при горизонтальном сейсмическом воздействии P_{ij} ($1, 2, \ldots, j$ — номер условной подвески), обусловленные вращательным движением котла вокруг центра масс и приложенные к потолочному перекрытию в точках расположения условных подвесок, определяются для i-го тона собственных колебаний сооружения по формуле

$$P_{ij}=a_j C_{\varphi j}\varphi_i.$$

При расчете подвесок должна учитываться дополнительная нагрузка, определяемая по формуле

$$P_j=\sqrt{\sum_i P^2_{ij}}.$$

3.21. При $\varphi_i>0$ силы P_{ij}, приложенные к потолочному перекрытию слева от вертикальной линии, проходящей через центр тяжести C (см. черт. 1), направлены вниз; силы P_{ij}, приложенные справа от вертикали, направлены вверх. При $\varphi_i<0$ направление силы P_{ij} следует принимать противоположным.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК ОТ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

4.1. При определении нагрузки от вертикальной составляющей сейсмического воздействия допускается учитывать только первую форму колебаний.

4.2. Значение нагрузки от вертикальной составляющей сейсмического воздействия допускается определять по формуле

$$S_n=(M_c+m_n)gA\beta k_1.$$

4.3. Частоту колебаний подвешенной конструкции допускается определять по формуле

$$\omega = \sqrt{\frac{gC_1C_2}{(M_c + m_n)(C_1 + C_2)}},$$

где C_1 — жесткость потолочного перекрытия;

C_2 — суммарная жесткость пружин условных подвесок; $C_2 = \sum_j C_{\varphi j}$.

В предварительных расчетах допускается жесткость потолочного перекрытия определять по формуле

$$C_1 = \frac{400\,(M_c + m_n)\,g}{L},$$

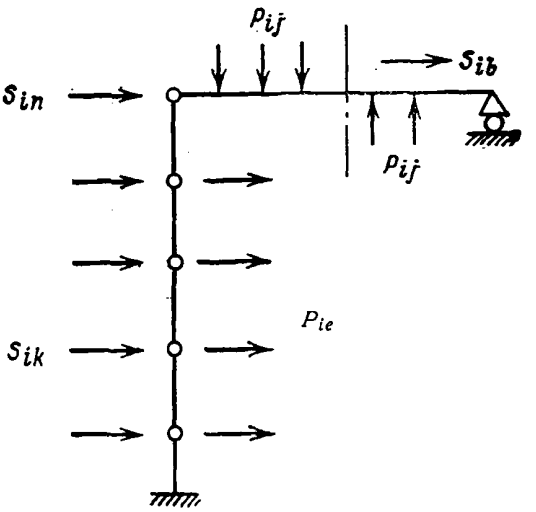
где L — пролет хребтовой балки потолочного перекрытия.

4.4. Нагрузка от вертикальной составляющей сейсмического воздействия S_n распределяется по точкам расположения условных подвесок по формуле

$$P_{nj} = \frac{S_n C_{\varphi j}}{C_2}.$$

5. ПРИВЕДЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК К УЗЛАМ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ

5.1 Приведение нагрузок от сейсмического воздействия к узлам расчетной схемы осуществляется в порядке, обратном построению динамической модели. На черт. 4 изображена динамическая модель каркаса с приложенными силами от сейсмического воздействия.



Черт. 4

5.2. При переходе от динамической модели каркаса к его расчетной схеме сейсмические нагрузки должны быть распределены между узлами и элементами схемы:

горизонтальная сейсмическая нагрузка S_{ik} — в каждом этаже по узлам пропорционально значениям сосредоточенных узловых масс;

вертикальные сосредоточенные силы P_{ij} — в каждом ряду подвесок по точкам приложения вертикальных сосредоточенных сил от подвешенной конструкции пропорционально жесткостям пружин подвесок;

усилия со стороны горизонтальных связей P_{ie} — в каждом этаже по узлам присоединения реальных связей пропорционально их жесткостям;

горизонтальное усилие S_{ib} — на уровне потолочного перекрытия по точкам расположения подвесок пропорционально значениям расчетных усилий натяжения подвесок;

вертикальные силы P_{nj} от вертикальной составляющей сейсмического воздействия — на уровне потолочного перекрытия по точкам расположения подвесок пропорционально значениям расчетных усилий натяжения подвесок.

В котлах, опирающихся на каркас, учитываются только горизонтальные нагрузки S_{ik}.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Рекомендуемое

МЕТОДЫ ПОВЕРОЧНОГО РАСЧЕТА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ КАРКАСОВ

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. В настоящем приложении изложены методы, позволяющие произвести анализ сейсмостойкости каркасов котлов на основе использования инструментальных записей землетрясения.

1.2. Сейсмическое воздействие может быть задано набором акселерограмм и(или) спектров ответа по трем компонентам.

Акселерограммой называется таблично или графически заданная зависимость ускорения при динамическом (сейсмическом) воздействии от времени.

Спектром ответа называется зависимость абсолютных значений максимальных ответных ускорений линейного осциллятора (системы с одной степенью свободы) при воздействиях, заданных акселерограммами, от периода (частоты) его собственных колебаний при фиксированном затухании.

Затухание в осцилляторе характеризуется постоянной затухания k, которую для каркасов котлов следует принимать равной 0,05.

1.3. Горизонтальные составляющие сейсмических воздействий следует считать направленными вдоль продольной и поперечной осей конструкции.

1.4. Если вертикальная составляющая не задана, ее следует принимать равной половине от наибольшей из горизонтальных составляющих.

1.5. При отсутствии инструментальных записей землетрясений, соответствующих условиям данной площадки, допускается использовать обобщенные и синтезированные характеристики сейсмического воздействия (акселерограммы и спектры ответа).

1.6. Проверку прочности следует производить:

для основных несущих элементов каркаса — колонн, балок потолочного перекрытия — в соответствии с указаниями раздела 4 настоящего РТМ;

для элементов раскосных систем, ферм жесткости и ригелей, не несущих оборудование, — по временному сопротивлению в соответствии с указаниями СНиП II-23-81.

Если величина расчетного напряжения в наклонных элементах раскосных систем составляет более 80% временного сопротивления, то необходимо определить возможные деформации всей конструкции с учетом неупругих деформаций в указанных элементах.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В СООРУЖЕНИИ КОТЕЛ — КАРКАС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ЗАПИСЕЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ПО ЛИНЕЙНО-СПЕКТРАЛЬНОМУ МЕТОДУ

2.1. Настоящая методика определения сейсмических нагрузок рекомендуется для стационарных котлов с любой конструктивной схемой.

2.2. Линейно-спектральный метод позволяет определять сейсмические нагрузки по спектру ответа в зависимости от частот и форм собственных колебаний конструкции.

2.3. Сейсмическая сила, действующая по направлению i-й обобщенной координаты и соответствующая j-й форме собственных колебаний системы, определяется по формуле

$$S_{ij} = m_{ii}\ddot{\psi}_j\Phi_j X_{ij}.$$

Здесь m_{ii} — диагональный коэффициент матрицы масс;

$\ddot{\psi}_j$ — ускорение, определяемое по кривым спектра ответа для частоты ω_j;

Φ_j — постоянная j-й формы колебаний;

X_{ij} — компоненты вектора смещения узлов динамической модели $\{X\}_j$ при колебаниях по j-й форме.

$$\Phi_j = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_{ii}X_{ij}\cos\alpha_i}{\sum_{i=1}^{n} m_{ii}X_{ij}^2},$$

где α_i — угол между направлениями сейсмического воздействия и направлением i-й обобщенной координаты.

2.4. Величина ω_j определяется из решения частотного уравнения

$$\Delta(\omega_j)=0,$$

где Δ — определитель системы алгебраических уравнений

$$\{[C]-\omega_j^2[M]\}\{X\}_j=0.$$

Здесь $[C]$ и $[M]$ — матрицы жесткости и масс динамической модели.

2.5. Относительные (размерные) перемещения узлов расчетной модели в направлении обобщенных координат по каждой j-й форме колебаний определяются по формуле

$$X_{ij}=\frac{S_{ij}}{m_{ii}\omega_j^2}.$$

2.6. Для оценки конструкции по допускаемым перемещениям расчетное значение перемещения в направлении i-й обобщенной координаты рекомендуется определять по формуле

$$X_i=\sqrt{\sum_{j=1}^{s}X_{ij}^2}.$$

2.7. Описанная методика реализована в программном комплексе STADIAS, разработанном НПО ЦКТИ.

Возможности данного комплекса позволяют также определять внутренние усилия в элементах динамической модели. При анализе сейсмостойкости с его помощью допускается приводить напряжения, полученные в плоских моделях для каждой компоненты воздействия, к элементам пространственной расчетной схемы, вычисляя полное внутреннее усилие по формуле

$$N_i=\sqrt{N_x^2+N_y^2+N_z^2},$$

где N_x, N_y, N_z — внутренние усилия от каждой компоненты.

Дальнейшая оценка прочности производится в соответствии с требованиями данного РТМ.

3. МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

3.1. Настоящая методика рекомендуется для применения при анализе сейсмостойкости каркасов стационарных котлов, в конструкции которых имеются элементы с нелинейными характеристиками (демпферы, амортизаторы) и (или) допускаются неупругие деформации отдельных ее элементов при динамическом воздействии.

3.2. Метод динамического анализа (МДА) позволяет исследовать во времени поведение сооружения каркас — котел при землетрясении, описываемом набором акселерограмм (до трех — по числу компонентов). В результате для каждого момента времени могут быть определены перемещения узлов, внешние нагрузки и внутренние усилия в элементах динамической модели. При соблюдении необходимых условий моделирования указанные параметры, вычисленные по МДА, будут достаточно точно соответствовать реальным при воздействии данного типа.

3.3. При расчете по МДА могут использоваться ранее построенные динамические модели, к соответствующим узлам которых присоединяются элементы с нелинейными характеристиками.

Схемы и характеристики наиболее распространенных из таких элементов приведены в таблице.

3.4. Динамический анализ систем с конечным числом степеней свободы при заданном произвольном воздействии на опорах (акселерограмме) может производиться методами численного интегрирования системы дифференциальных уравнений вида

$$[M]\{\ddot{X}\}+[C]\{X\}+\{R\}=-\ddot{\psi}(t)[M]\{\cos\alpha\},$$

где $\{R\}$ — вектор реактивных сил от дополнительных (нелинейных) связей системы;

$\{\cos\alpha\}$ — вектор направляющих косинусов;

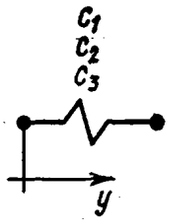
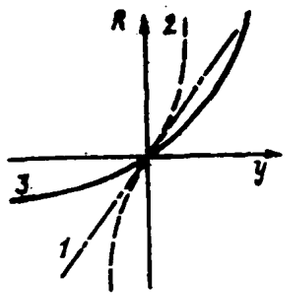
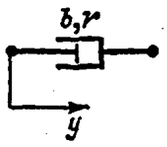
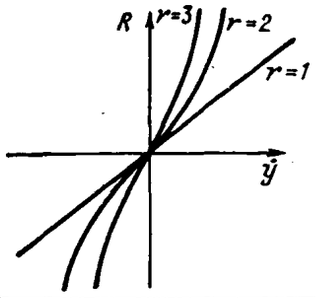
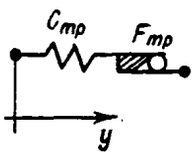
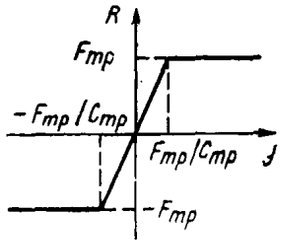
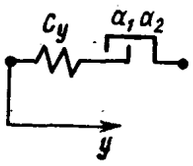
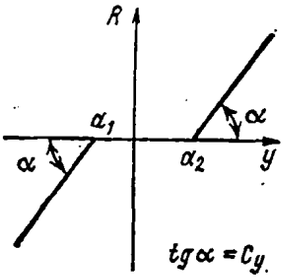
$\ddot{\psi}(t)$ — ускорение сейсмического воздействия.

Соответствующая система конечно-разностных уравнений имеет вид

$$\{X_{k+1}\}=2\{X_k\}-\{X_{k-1}\}-\Delta t_k^2[M]^{-1}([C]\{X_k\}+\ddot{\psi}_k[M]\{\cos\alpha\}+\{R_k\}),$$

где $\{X_{k-1}\}$, $\{X_k\}$, $\{X_{k+1}\}$ — векторы относительных перемещений для моментов времени $k-1$, k и $k+1$ соответственно; $\{R_k\}$ — вектор реактивных сил, действующих в направлении обобщенных координат системы в момент времени k. Он представляет собой сумму реакций в элементах с нелинейными характеристиками.

Характеристики нелинейных элементов расчетной модели

Тип элемента	Схема модели	Диаграмма	Аналитическая зависимость
Амортизатор			$R = C_1 y + C_2 y^2 + C_3 y^3$ 1. $R = C_1 y$ 2. $R = C_1 y + C_3 y^3$ 3. $R = C_2 y^2 + C_3 y^3$
Демпфер			$R = b \lvert \dot{y} \rvert^r \operatorname{sign} \dot{y}$
Элемент сухого трения			$R = \begin{cases} F_{тр}, & C_{тр} y > F_{тр}; \\ C_{тр} y, & -F_{тр} \leqslant C_{тр} y \leqslant F_{тр}; \\ -F_{тр}, & C_{тр} y < -F_{тр} \end{cases}$
Упругий упор			$R = \begin{cases} 0, & a_1 \leqslant y \leqslant a_2; \\ C_y (y - a_2), & y > a_2; \\ C_y (y - a_1), & y < a_1 \end{cases}$

Примечание. y — относительное перемещение узлов расчетной модели, между которыми расположен нелинейный элемент, в направлении его линии действия; b — коэффициент сопротивления демпфера.

Вектор $\{X_k\}$ для каждого момента времени определяется шаговым методом.

3.5. Результирующий вектор внешних сил, действующий на узлы системы в направлении обобщенных координат, в любой момент времени k определяется по формуле

$$\{F_k\} = [C]\{X_k\}.$$

3.6. По вычисленному значению вектора $\{F_k\}$ определяются внутренние усилия и напряжения в сечениях основных упругих связей модели, которые описаны матрицей $[C]$.

3.7. Для анализа сейсмостойкости каркасов котлов по МДА могут быть использованы программы SEISM-180 и SEISM-282, разработанные НПО ЦКТИ.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Рекомендуемое

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК НА КАРКАСЫ КОТЛОВ

1. Нагрузки, возникающие в элементах каркаса котла от ветрового воздействия на сооружение каркас — котел, имеют статическую и динамическую составляющие, которые определяются в соответствии с рекомендациями раздела 6 СНиП II-6-74 «Нагрузки и воздействия» и настоящего РТМ.

Для определения динамической составляющей ветровой нагрузки используется динамическая модель сооружения, построенная на принципах, изложенных в разделе 2 и приложениях 1 и 6.

2. При определении статической составляющей ветровой нагрузки сооружение каркас — котел с опертым или подвешенным котлом рассматривается как здание повышенной или большой этажности, прямоугольное в плане. Значения коэффициентов лобового сопротивления для этого случая определяются по таблице в зависимости от отношений H/B и l/B. Здесь H — высота здания; l — его ширина, т. е. размер в направлении потока; B — длина наветренной грани сооружения.

l/B	$H/B=1$	$H/B=7$
0,2	1,2	1,35
0,5	1,25	1,4
1—1,5	1,3	1,4
2	1,2	1,3

Значения коэффициентов для промежуточных величин отношений l/B и H/B допускается определять линейной интерполяцией.

3. Статическую составляющую ветровой нагрузки для всех типов котлов следует определять в предположении, что ветровой напор действует на всю площадь, ограниченную контуром наветренной стены каркаса. При этом сооружение разбивается по высоте на ряд участков, соответствующих этажам используемой динамической модели. Равнодействующая нормативной статической составляющей ветровой нагрузки, вычисленная для половины верхнего и нижнего соседних с уровнем участков $(Q^{c}_{нk})$, прикладывается в виде сосредоточенных сил $P=0{,}5\ Q^{c}_{нk}$ в узлы угловых колонн, расположенных на этом уровне.

4. Нормативное значение динамической составляющей ветровой нагрузки определяется для каждой формы колебаний сооружения как инерционная сила и прикладывается к соответствующим узлам динамической модели. Для сооружений каркас — котел с простой конструктивной схемой и равномерным распределением масс по высоте допускается учитывать только I форму колебаний.

5. Для котлов опертого типа инерционная сила, приложенная к узлу динамической модели сооружения с номером j, при колебаниях сооружения по i-й форме определяется по формуле

$$Q^{д}_{нij} = m_j \xi_i \eta_{ij}{}^{\nu},$$

где m_j — узловая масса динамической модели;

ξ_i, ν — коэффициенты, определяемые в соответствии с указаниями пп. 6.12, 6.14 СНиП II-6-74;

η_{ij} — приведенное ускорение j-й узловой массы.

Приведенное ускорение η_{ij} (в м/с²) определяется по формуле

$$\eta_{ij} = \frac{X_{ij}\sum\limits_{k=1}^{r} X_{ik} Q^{c}_{нk} \mu_k}{\sum\limits_{k=1}^{r} X^2_{ik} m_k},$$

где μ_k — коэффициент пульсации скоростного напора для уровня k-го узла динамической модели, принимаемый по табл. 9 СНиП II-6-74; X_{ij}, X_{ik} — параметры, описанные в обязательном приложении 1.

6. Нормативное значение динамической составляющей для котлов опертого типа $q^{д}_{н}$ (в кгс/см²) при учете только первой формы собственных колебаний допускается определять по формуле п. 6.17 СНиП II-6-74.

7. Динамическая составляющая ветровой нагрузки в сооружении подвесной котел — каркас определяется только для котла.

Величина инерционной силы, приложенной к центру масс котла, при колебаниях по i-й форме определяется по формуле

$$Q^{\text{д}}_{\text{ш}ij} = (M_c + 0{,}3M_{\text{к}})\,\xi\eta_{ic}\nu,$$

где M_c и $M_{\text{к}}$ — массы котла и каркаса соответственно; остальные параметры описаны в п. 5 настоящего приложения.

Приведенное ускорение η_{ic} определяется по формуле

$$\eta_{ic} = \frac{0{,}1X_{ic}\sum\limits_{k=1}^{r} X_{ik}Q^{\text{с}}_{\text{н}k}\mu_k + 0{,}9X^2_{ic}\sum\limits_{k=1}^{r} Q^{\text{с}}_{\text{н}k}\mu_k}{\sum\limits_{k=1}^{r} X^2_{ik}m_k + X^2_{ic}M_c}.$$

где X_{ic} — параметр, описанный в обязательном приложении 1.

8. Абсолютные значения перемещений сосредоточенных масс каркаса и центра масс котла для каждой формы колебаний определяются по формулам п. 3.15 обязательного приложения 1 с заменой сейсмических нагрузок на соответствующие инерционные, вызванные ветровым воздействием.

9. Дополнительные вертикальные сосредоточенные силы $\bar{P}_{ij}$ ($j=1, 2, \ldots, n$ — номера условных подвесок), приложенные к потолочному перекрытию в точках расположения условных подвесок, определяются для i-го тона собственных колебаний сооружения по формуле

$$\bar{P}_{ij} = \frac{Q^{\text{д}}_{\text{н}ij}\varepsilon_i a_j}{\sum\limits_{j} a_j^2},$$

где ε_i — расстояние по вертикали между линией действия инерционной силы, приложенной к котлу, и его центром масс.

При вычислении этих усилий следует воспользоваться указаниями пп. 3.20 и 3.21 обязательного приложения 1.

10. Расчетные усилия в горизонтальных связях между котлом и каркасом определяются по формулам пп. 3.17 и 3.18, а горизонтальное усилие, передаваемое через подвески на потолочное перекрытие, — по формуле п. 3.19 обязательного приложения 1 с заменой в этих формулах сейсмических нагрузок на инерционные от ветрового воздействия.

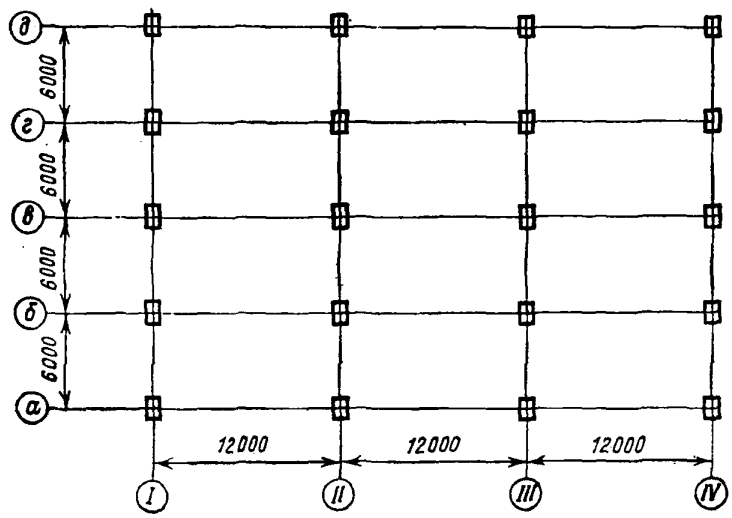
ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Справочное

ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ КАРКАСА

В качестве примера рассматривается построение расчетной схемы каркаса подвесного котла Т-образной компоновки в сейсмостойком исполнении.

План расположения колонн



Черт. 1

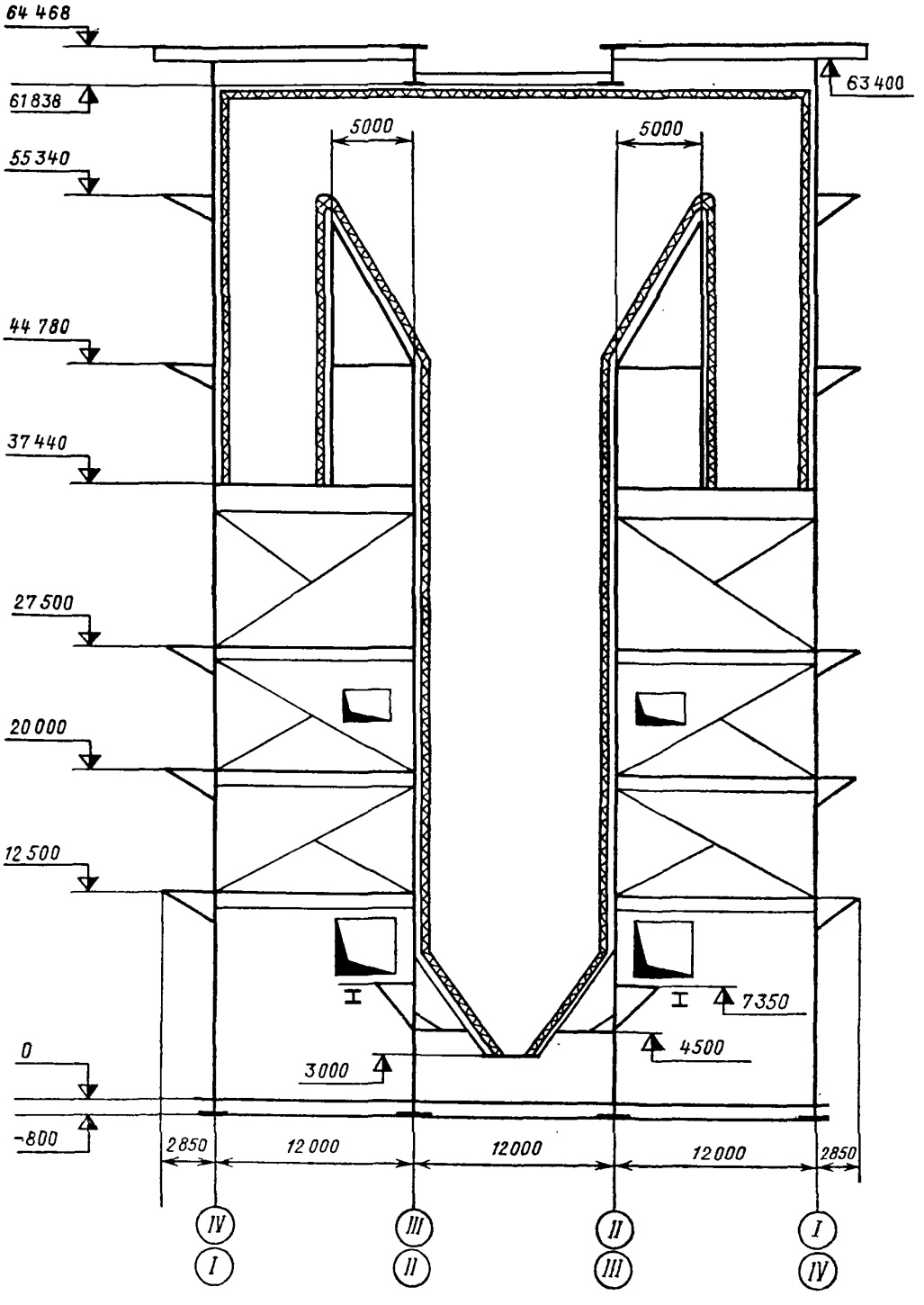
Как видно из черт. 1—5 каркас состоит из четырех несущих вертикальных рам, расположенных на осях I—IV, содержащих по пять колонн, объединенных вверху потолочным перекрытием. По высоте колонны в рамах и рамы между собой связаны системой горизонтальных и наклонных связей. Для увеличения жесткости каркаса при сейсмических воздействиях несущие рамы в шести уровнях связаны горизонтальными замкнутыми фермами.

Черт. 3. иллюстрирует переход от конструктивной схемы одной из несущих рам к расчетной на основании рекомендаций раздела 2 настоящего РТМ. При разработке расчетной схемы рамы и каркаса в целом необходимо учитывать, что горизонтальные фермы образуют жесткие диски на своих уровнях, в результате чего каркас оказывается расчлененным на ряд этажей. Это позволяет внести упрощения в расчетную схему в соответствии с рекомендациями п. 2.3 настоящего РТМ, аннулировать горизонтальные элементы, расположенные между этажами и работающие на местные нагрузки, заменить системы связей в каждом этаже на эквивалентные раскосы. В частности, для рамы, изображенной на черт. 3, указанные мероприятия проведены между отметками 37 930 и 55 340.

Нагрузки, действовавшие на аннулированные горизонтальные элементы, приведены к колоннам в виде реактивных усилий в узлах соединения.

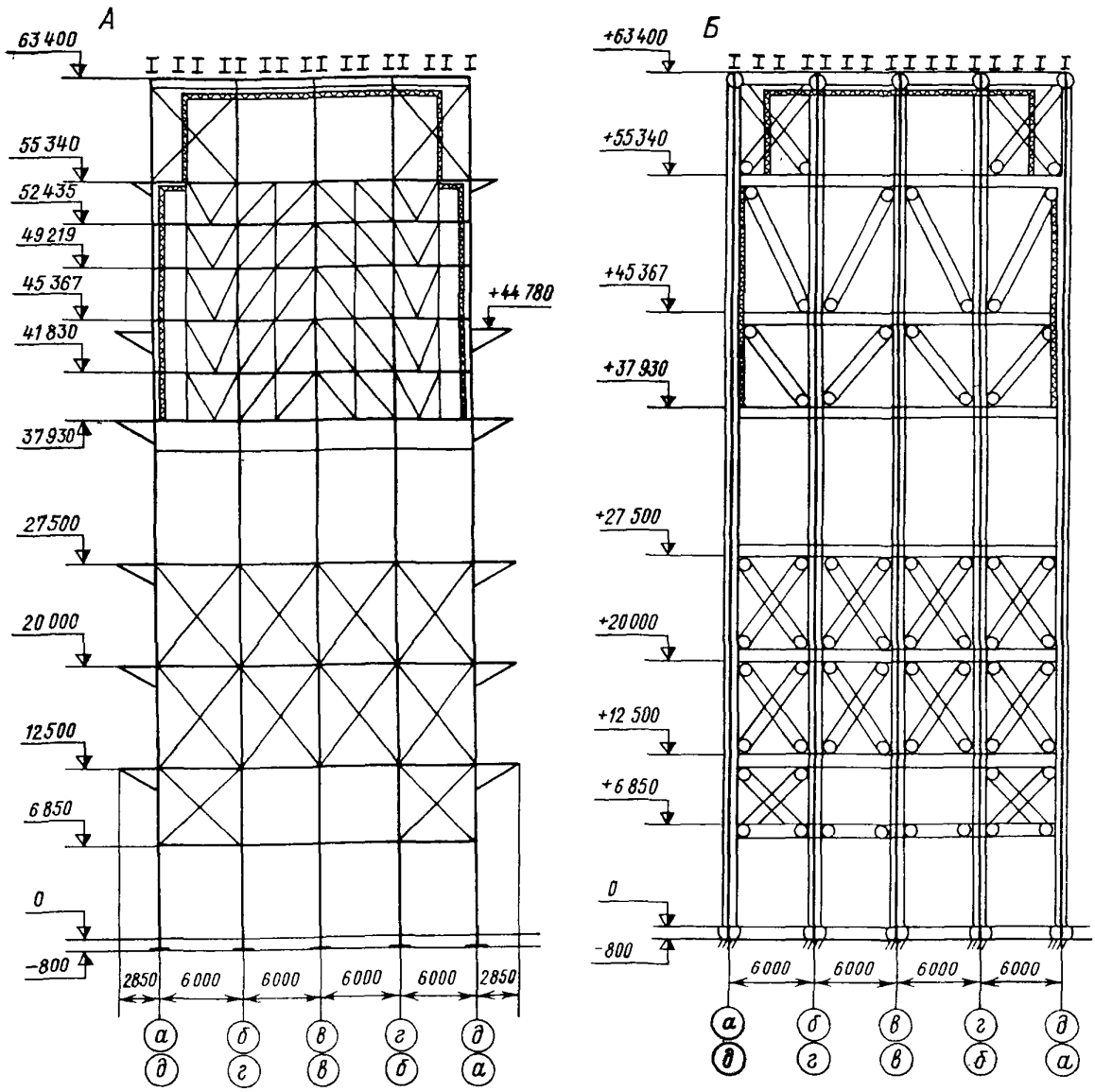
На черт. 4 изображены конструктивная и расчетная схемы фермы жесткости на отметке 20 000; ферма предназначена для перераспределения между рамами горизонтальных нагрузок от сейсмических воздействий. При переходе к расчетной схеме она заменяется эквивалентной рамой, геометрические характеристики элементов которой определяются в соответствии с рекомендациями справочного приложения 5.

Конструктивная схема котла



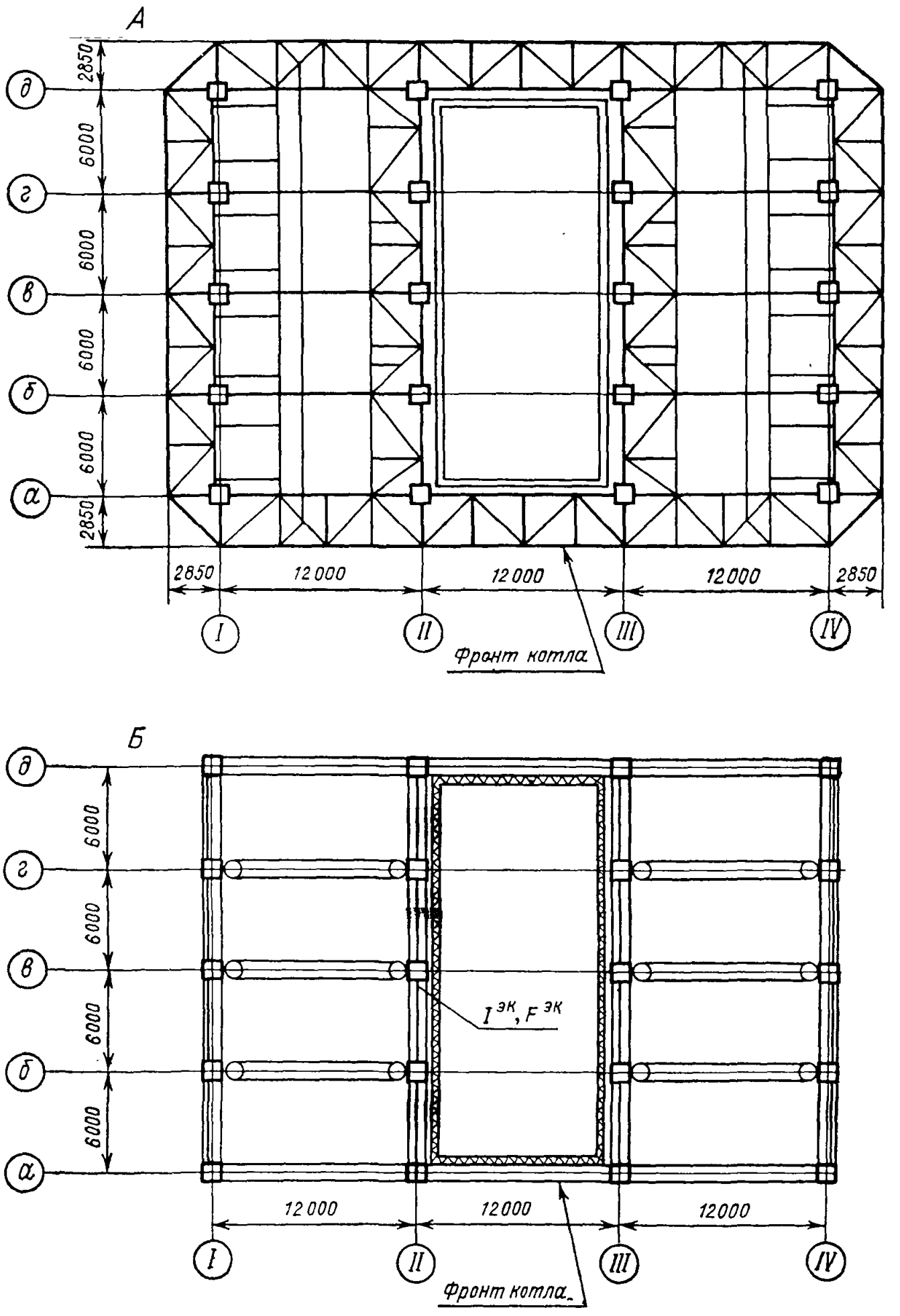
Черт. 2

Конструктивная (А) и расчетная (Б) схемы несущей рамы



Черт. 3

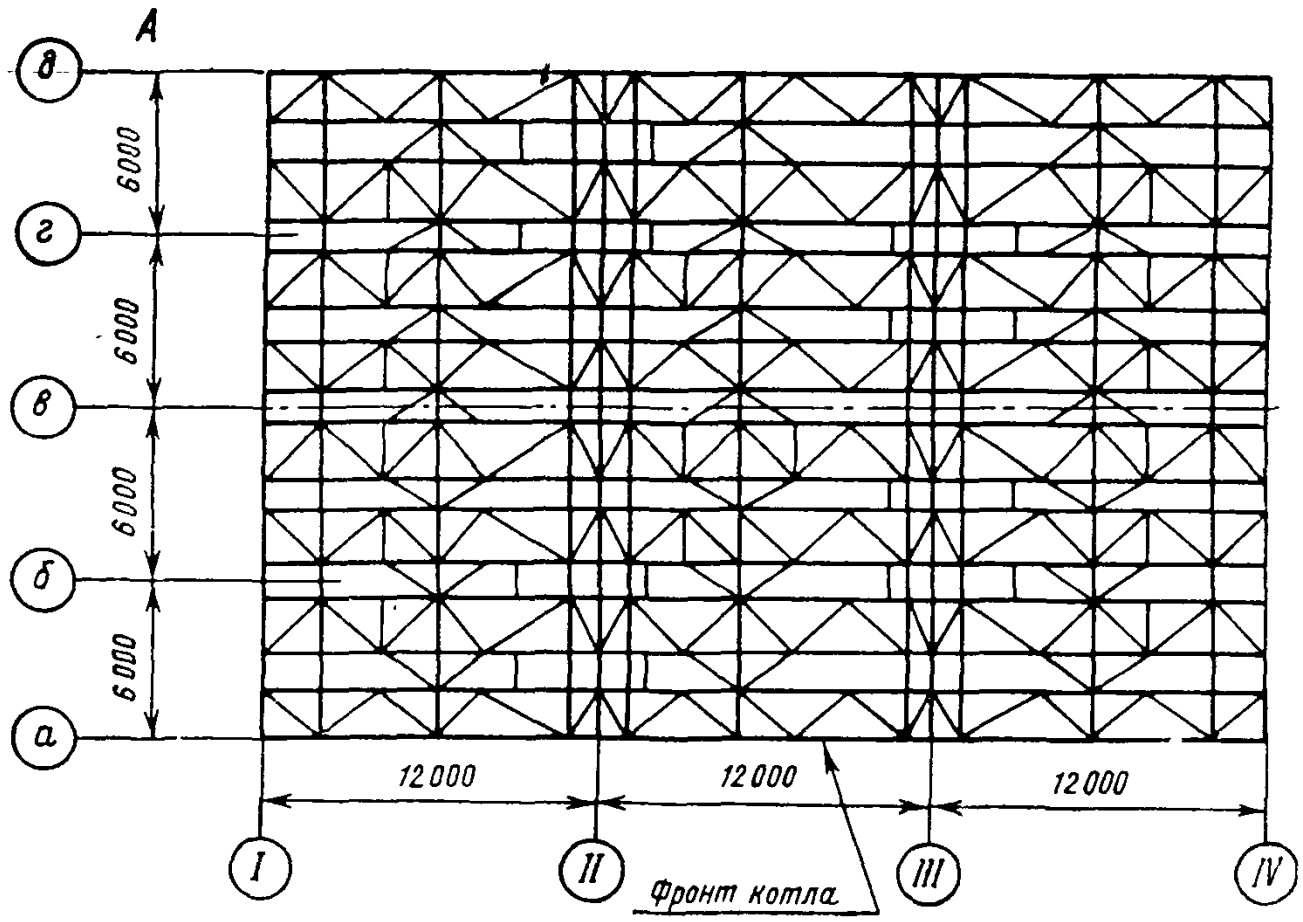
План котла на отметке +20 000 мм



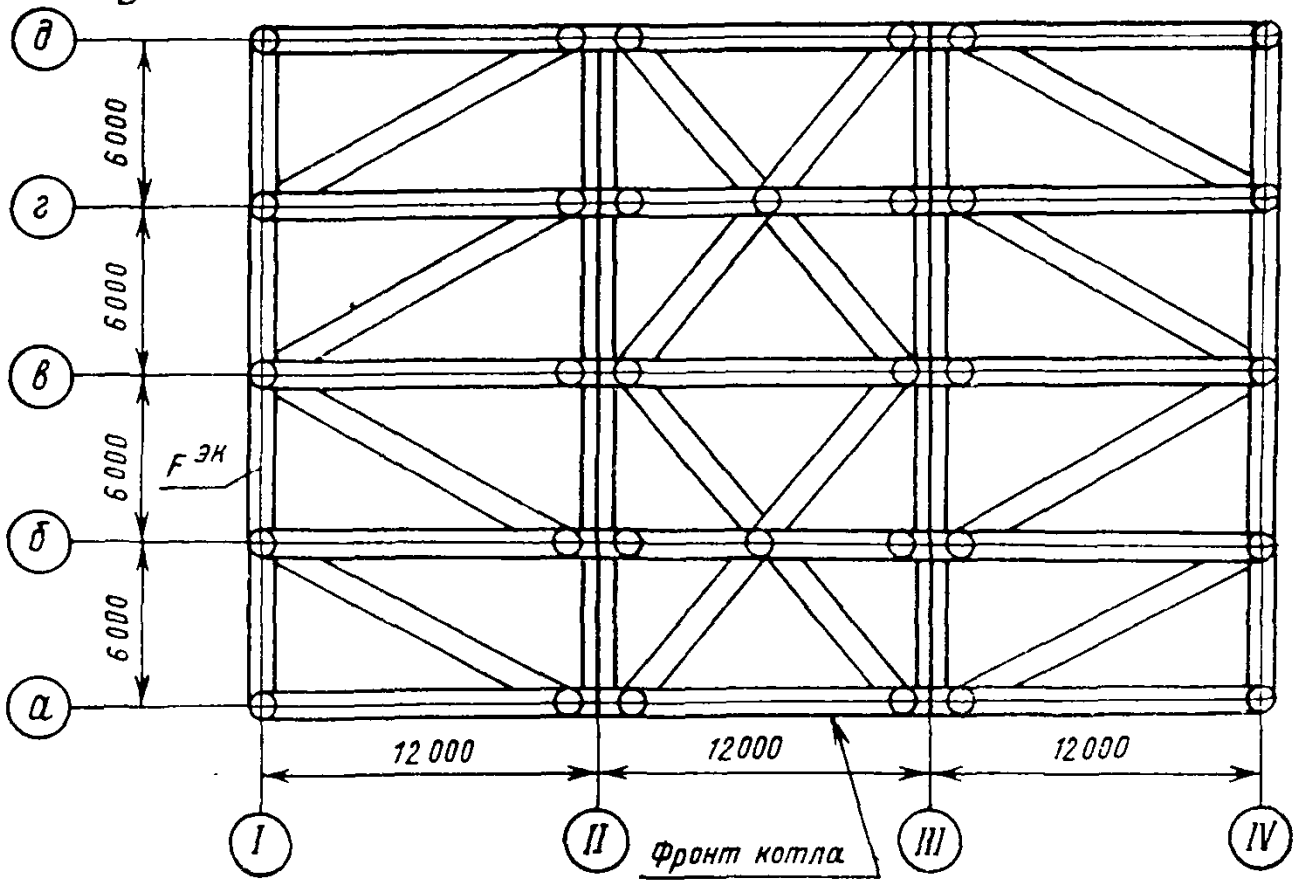
А, Б — конструктивная и расчетная схемы

Черт. 4

План котла на отметке +64 468 мм



Б



А, Б — конструктивная и расчетная схемы

Черт. 5

Конструктивная и расчетная схемы потолочного перекрытия показаны на черт. 5. В расчетной схеме сохраняются только те несущие элементы, которые опираются непосредственно на колонны каркаса. Раскосная система заменяется эквивалентами. Нагрузки с аннулированных элементов передаются на оставшиеся элементы в виде реактивных усилий в предположении, что закрепление их было жестким.

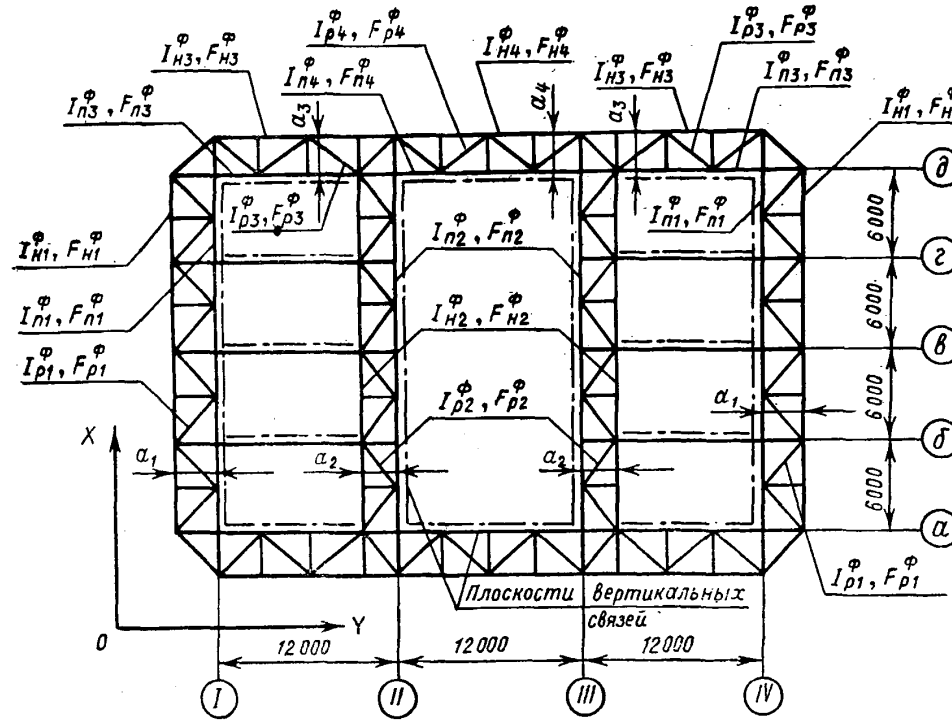
ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Справочное

ПРИМЕР РАЗРАБОТКИ ЭКВИВАЛЕНТА ФЕРМЫ ЖЕСТКОСТИ

При построении расчетной схемы нередко возникает необходимость в замене отдельных частей конструкции стержневыми эквивалентами. Некоторые приемы, используемые при этом, иллюстрируются ниже примером разработки рамно-стержневого эквивалента горизонтальной фермы жесткости каркаса, рассмотренного в приложении 1.

Схема фермы жесткости



Черт. 1

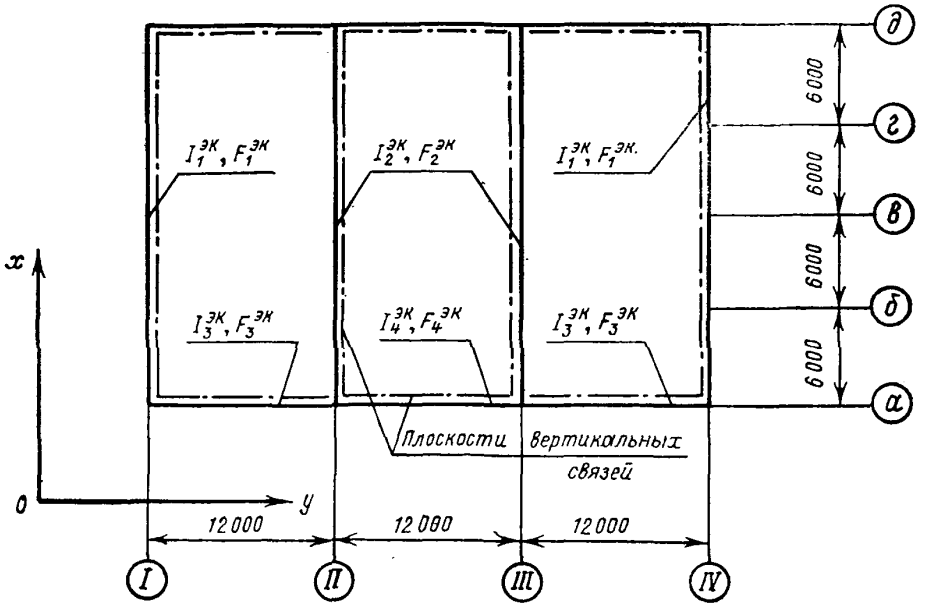
Принят следующий порядок разработки эквивалента.

1. Трехконтурная ферма жесткости (черт. 1) заменяется эквивалентом в виде трехконтурной рамы, изображенной на черт. 2, элементы которой расположены в вертикальных плоскостях, проходящих по колоннам и вертикальным связям.

2. Устанавливаются условия эквивалентности между фермой жесткости и ее эквивалентом. Ввиду пропорциональности деформаций и усилий условие эквивалентности будет заключаться в равенстве деформаций в характерных точках фермы жесткости Δ^{Φ}_{B} (черт. 3) и ее эквивалента $\Delta^{эк}_{B}$ от одинаковых по величине и месту приложения силовых воздействий S:

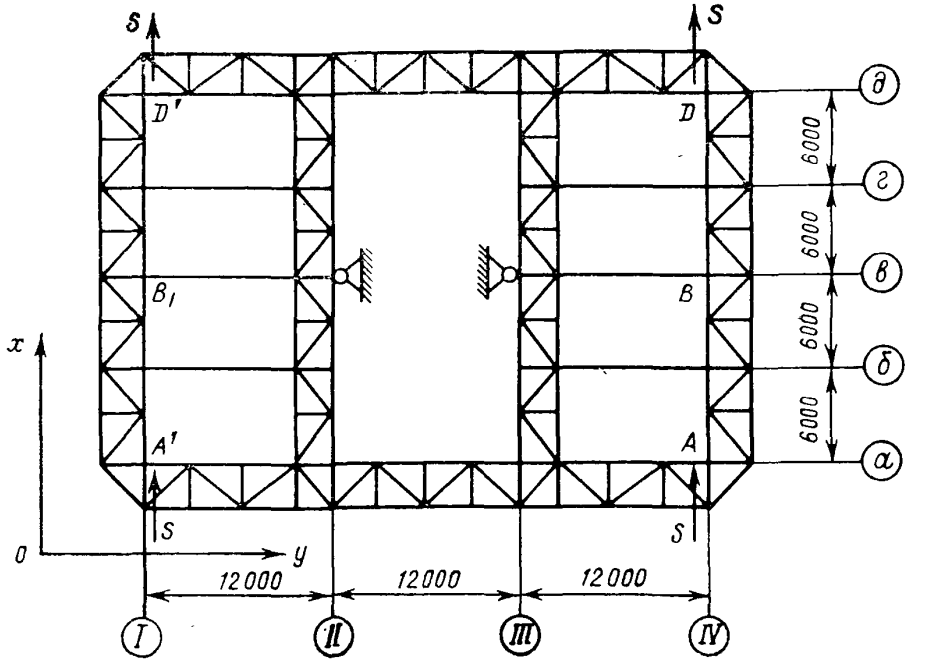
$$\Delta^{эк}_{B} = \Delta^{\Phi}_{B}.$$

Схема эквивалента



Черт. 2

Расчетная схема фермы жесткости



Черт. 3

Вследствие расположения точки B на оси жесткости каркаса это условие является основным. Дополнительные условия для точек A и D по деформациям элементов дают соотношения:

$$\Delta_A^{эк} = \Delta_A^{ф}; \quad \Delta_D^{эк} = \Delta_D^{ф};$$

$$AB^{эк} = AB^{ф}; \quad BD^{эк} = BD^{ф}.$$

3. Разрабатываются расчетные схемы фермы жесткости (черт. 3) и эквивалента (черт. 4) для установления их эквивалентности и определения требуемых характеристик эквивалента.

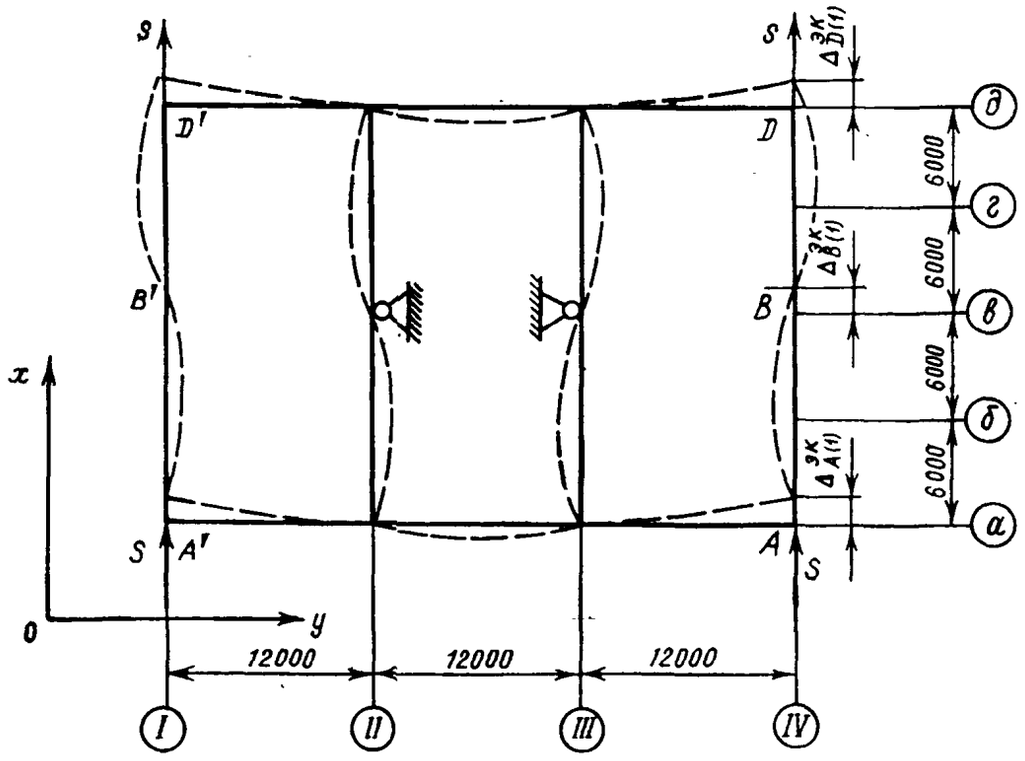
Используем заданные характеристики сечений фермы жесткости (черт. 1):

$I^{ф}_{п1}, I^{ф}_{п2}, \ldots, F^{ф}_{п1}, F^{ф}_{п2}, \ldots$ — моменты инерций и площади сечений поясов основного контура;

$I^{ф}_{н1}, I^{ф}_{н2}, \ldots, F^{ф}_{н1}, F^{ф}_{н2}, \ldots$ — моменты инерций и площади сечений поясов наружного контура;

$I^{ф}_{р1}, I^{ф}_{р2}, \ldots, F^{ф}_{р1}, F^{ф}_{р2}, \ldots$ — моменты инерций и площади сечений раскосов.

Расчетная схема эквивалента



Черт. 4

В качестве первого приближения рекомендуется принимать следующие значения моментов инерций $I^{эк}_{j(1)}$ и площадей сечений $F^{эк}_{j(1)}$ элементов эквивалента (черт. 2):

$$I^{эк}_{1(1)} = F^{ф}_{н1}a_1^2; \quad I^{эк}_{2(1)} = F^{ф}_{н2}a_2^2; \ldots$$

$$F^{эк}_{1(1)} = F^{ф}_{п1}; \quad F^{эк}_{2(1)} = F^{ф}_{п2}; \ldots$$

4. В результате выполнения сравнительных расчетов по расчетным схемам черт. 3 и 4 определяются коэффициенты приведения:

$$k_I^{пр} = \frac{\Delta^{эк}_{B(1)}}{\Delta^{ф}_{B}} \text{ (как правило } k_I^{пр} < 1{,}0);$$

$$k_F^{пр} = \frac{AB^{эк}_{(1)}}{AB^{ф}} \text{ (как правило } k_F^{пр} \approx 1{,}0).$$

5. Уточняются характеристики элементов эквивалента:

$$I_1^{эк} = k_I^{пр} I^{эк}_{1(1)}; \quad I_2^{эк} = k_I^{пр} I^{эк}_{2(1)};$$

$$F_1^{эк} = k_F^{пр} F^{эк}_{1(1)}; \quad F_2^{эк} = k_F^{пр} F^{эк}_{2(1)}.$$

6. Производится проверка эквивалента путем выполнения расчета по расчетной схеме (черт. 4) с введением характеристик по п. 5 и проверкой условия эквивалентности по п. 2 настоящего приложения.

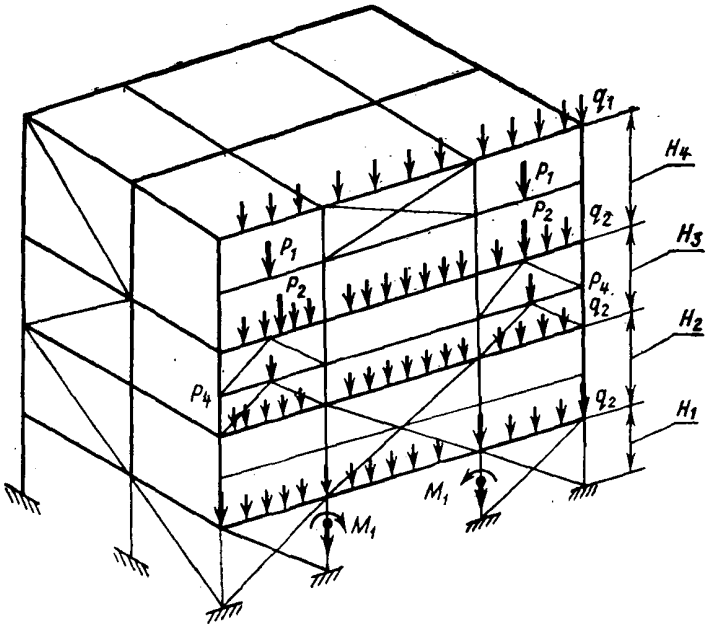
В случае расхождения условий эквивалентности больше чем на 10% следует вторично уточнить характеристики элементов эквивалента и повторить проверку условия эквивалентности.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Справочное

ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

На черт. 1 изображена пространственная расчетная схема каркаса котла (нагрузки для удобства показаны только на одной раме).



Черт. 1

В соответствии с указаниями раздела 3 настоящего РТМ динамическая модель любого типа может быть получена последовательными преобразованиями: пространственная расчетная схема — пространственная динамическая модель — плоская динамическая модель — консольная динамическая модель. Величина сосредоточенной узловой массы пространственной модели m_k определяется по формуле

$$m_k = \sum_j \frac{G_j}{g} k_{\text{п}},$$

где G_j — суммарная весовая нагрузка, действующая в узлах расчетной схемы;

$k_{\text{п}}$ — коэффициент приведения этой нагрузки к узлам динамической модели ($k_{\text{п}} \leqslant 1$);

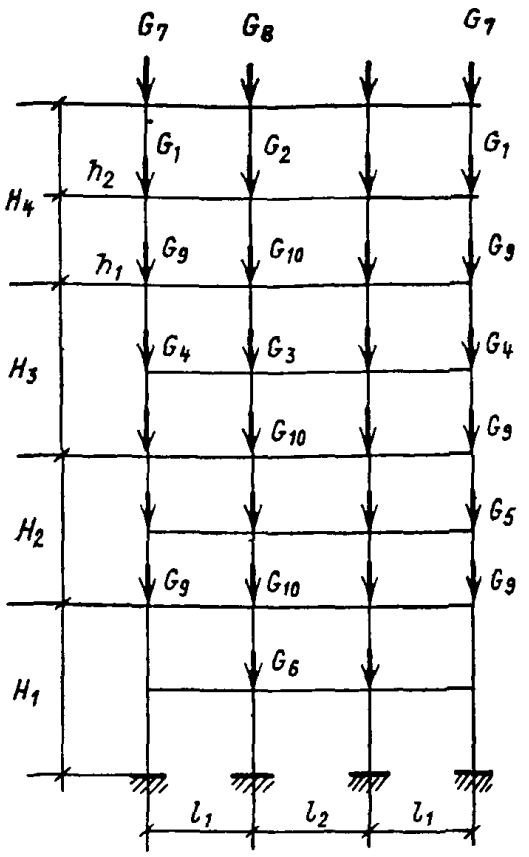
g — ускорение свободного падения.

Нагрузка G_j в каждом узле складывается из собственно узловой нагрузки и реактивных усилий со стороны нагруженных элементов:

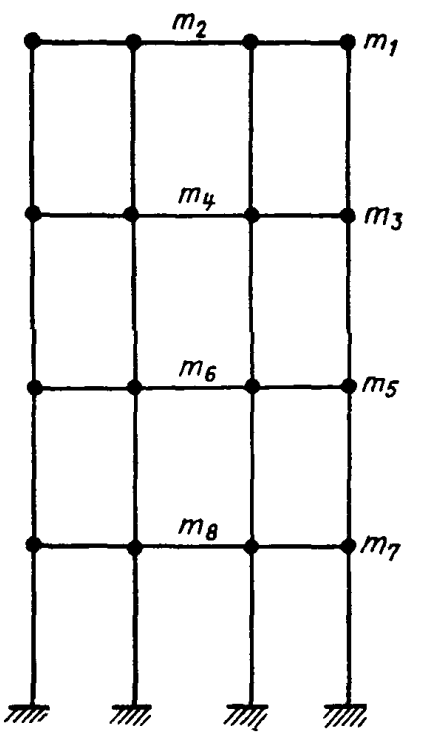
$$R_j = \frac{q_j l_j}{2}; \quad R_{j\text{лев}} = \frac{P_j (l_j - c_j)}{l_j}; \quad R_{j\text{прав}} = \frac{P_j c_j}{l_j}.$$

Здесь l_j — длина j-го элемента; c_j — расстояние от левого конца элемента до точки приложения нагрузки.

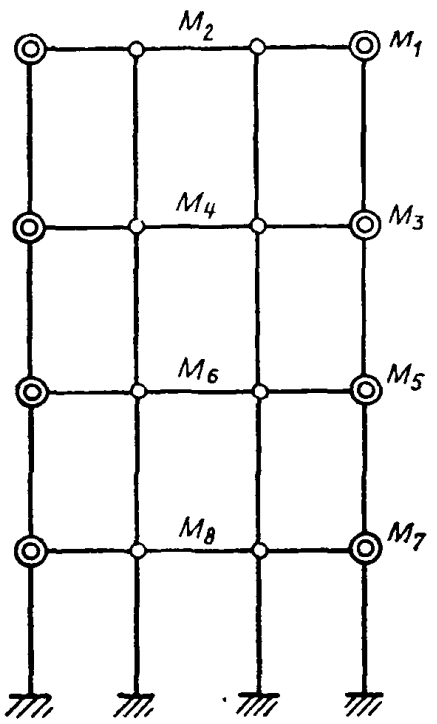
Значение каждого усилия, входящего в нагрузку G_j, перед суммированием должно быть умножено на коэффициент сочетания в соответствии с ОСТ 108.031.107—78.



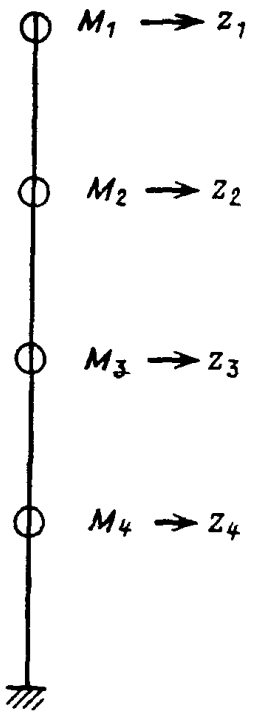
Черт. 2



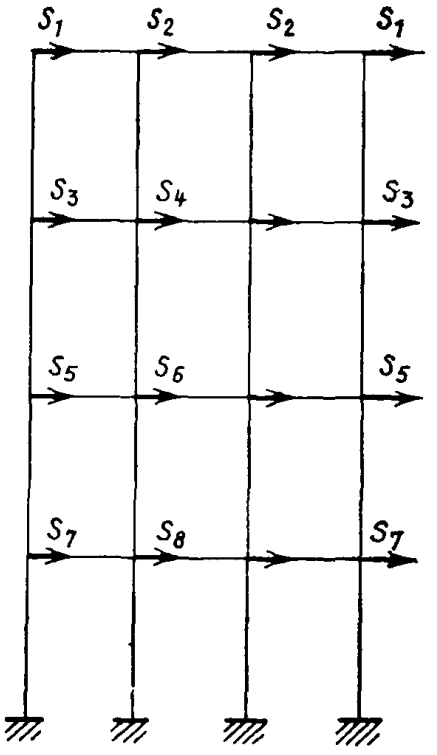
Черт. 3



Черт. 4



Черт. 5



Черт. 6

Коэффициент приведения определяется по формуле

$$k_{\text{п}} = \frac{h_i}{H_{\text{э}}},$$

где $H_{\text{э}}$ — высота этажа; h_i — расстояние от точки приложения нагрузки до отметки этажа, противоположной той, на уровне которой располагается искомая масса; при учете собственного веса металлоконструкций каркаса допускается принимать $k_{\text{п}} = 0{,}5$.

Используя указанные формулы, определяем узловые нагрузки и массы. Например (см. также для схем, изображенных на черт. 1—3)

$$G_1 = \frac{P_1}{2}; \quad G_{10} = \frac{q_2 (l_1 + l_2)\, 0{,}9}{2} + \frac{P_2}{2}; \quad G_7 = \frac{q_1 l_1 \cdot 0{,}9}{2} \text{ и т. д.}$$

$$m_1^{(1)} = \frac{G_7 + \dfrac{G_1 h_1}{H_4}}{g}; \quad m_3^{(1)} = \frac{G_9 + G_1 \dfrac{h_2}{H_4}}{g} \text{ и т. д.,}$$

где индекс в скобках — номер рамы.

Аналогичные преобразования производятся и в остальных рамах, в результате чего формируется пространственная динамическая модель, узловые массы которой лежат на междуэтажных уровнях.

Допуская, что сейсмическое воздействие направлено вдоль стен котла, используем для определения сейсмических нагрузок плоскую динамическую модель (черт. 4).

$$M_1 = m_1^{(1)} + m_1^{(2)} + m_1^{(3)}; \quad \mathbf{M}_1 = 2M_1 + 2M_2; \quad S_1 = \frac{M_1}{\mathbf{M}_1} Z_1 \text{ и т. д.}$$

$$M_4 = m_4^{(1)} + m_4^{(3)} \text{ и т. д.} \quad \mathbf{M}_3 = 2 (M_5 + M_6) \text{ и т. д.}$$

В пространственной модели $S_1^{(1)} = \frac{m^{(1)}}{M_1} S_1$ и т. д.

Объединяя массы каждого уровня и располагая их на одной оси, получаем консольную динамическую модель (черт. 5).

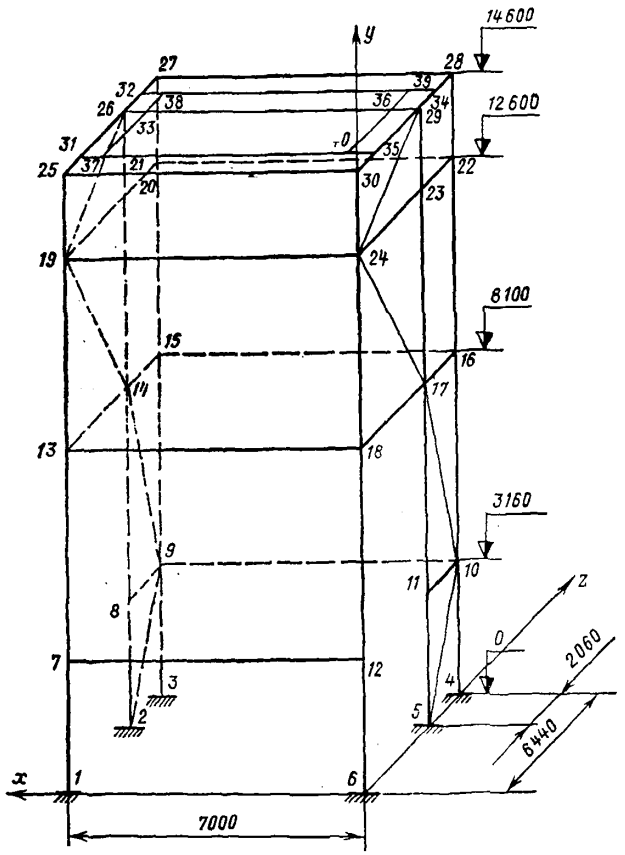
Определив сейсмические нагрузки Z_i, распределим их сначала между массами на каждом уровне плоской модели (черт. 6), а затем по узлам пространственной модели. При необходимости эти нагрузки можно привести к узлам расчетной схемы, расположенным на этажах между уровнями.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Справочное

ПРИМЕР РАСЧЕТА КАРКАСА КОТЛА ПО ПРОГРАММЕ «КОНСТРУКЦИЯ»

В качестве примера рассмотрим расчет на прочность каркаса котла КВ-ГМ-50-150С подвесного типа.



На чертеже изображена расчетная схема каркаса котла. При переходе к расчетной схеме были сделаны некоторые упрощения в исходной конструкции, как-то: отброшены элементы площадок обслуживания, вспомогательные балки с малым моментом инерции, а также элементы, не влияющие на прочность каркаса.

Исходные данные для расчета подготавливаются в соответствии с инструкцией к программе и располагаются в строках нескольких документов.

Рассмотрим конкретный вид каждого документа.

Документ 1.1 «Заголовок задачи»:

Расчет каркаса котла КВ-ГМ-50-150С на статическое воздействие

Документ 1.2 «Базовая информация»:

40 6 2 17 2 6 0 0 1

Из содержания строки следует, что расчетная схема содержит 40 узлов с шестью степенями свободы в каждом, расчет производится на два вида нагружения — постоянную и сейсмическую нагрузку в направлении оси z (индексы 1, 7). Сосредоточенная нагрузка приложена в двух узлах, шесть узлов имеют жесткое закрепление, решение системы уравнений производится с одинарной точностью; расчет конструкции выполняется в режиме поверочного расчета. Все остальные параметры базовой информации — нулевые и, следовательно, их можно не записывать. Нулевые значения параметров, записанные в середине строки, означают, что другие виды закрепления не рассматриваются.

Документ 1.3 «Управляющая информация печати»:

1—6

Предполагается печатать все разделы исходной документации. При повторных расчетах той же конструкции те разделы, содержание которых не меняется, можно опускать при печати.

Последней в разделе должна следовать строка:

1 [*Конец раздела*]

Текст в скобках — произвольный.

Раздел 2. Документ 2 «Координаты узлов УС»:

R	*1*	*2*	*700*		*0*	*0*	*700*		*0*	*644*	*1*
	3	*4*	*700*		*0*	*950*	*0*		*0*	*950*	*1*
	5	*6*	*0*		*0*	*644*	*0*		*0*	*0*	
	2	*6*	*1*	*316*	*1*	*494*		*1*	*450*	*1*	*200*
	31	*32*	*700*		*1460*		*56*		*700*	*1460*	*589*
	33	*34*	*641*		*1460*		*440*		*0*	*1460*	*589*
	35	*36*	*0*		*1460*		*56*		*59*	*1460*	*440*
	37	*38*	*641*		*1460*		*56*		*641*	*1460*	*589*
	39	*40*	*59*		*1460*		*589*		*59*	*1460*	*56*

Так как каркас имеет регулярную структуру и в нумерации его узлов просматривается четкая закономерность, то для формирования сетки можно применить повторители.

Как видно из содержания документа, для формирования сетки узлов в вертикальных рамах использован групповой повторитель, построенный на базе узлов основания. Нумерация узлов в потолочном перекрытии не имеет четких закономерностей, и использование повторителей там неэффективно.

Документ заканчивается строкой:

1 *Конец координат*

Раздел 3. Документ 3 «Узловые нагрузки УС»:

25	*7*	*Ø*	*Ø*	*15*
30	*7*	*Ø*	*Ø*	*15*

1 *конец узловых нагрузок*

Узловые нагрузки соответствуют действию инерционных сейсмических сил, вычисленных предварительно. Первое число каждой строки — № узла, второе — индекс нагрузки, третье — величина нагрузки в направлении оси.

Раздел 4. Документ 4. «Условия закрепления»:

111111 *0* *1* *2* *3* *4* *5* *6*

Все опорные узлы расчетной схемы имеют жесткое закрепление.

Раздел 5. Документ 5 не составляется, так как в документе 1, 2 не указаны параметры воздействий.

Раздел 6. Документ 6.1 «Базовая информация»:

71 *6* *4* *6*

Каркас содержит 71 элемент с шестью степенями свободы в узле. Используются сечения четырех типоразмеров, 6 элементов будут загружены сосредоточенными силами в пролете.

Документ 6.2 «Типоразмеры элементов»:

1	*33*	*0.7*	*14*	*1.12*
2	*40*	*1.20*	*40*	*1.2*
3	*45*	*0.9*	*16*	*1.72*
4	*55*	*1.1*	*18*	*1.65*

Строки первая, третья и четвертая документа содержат размеры сечения стандартных двутавров № 33, 45 и 55. Сечение второго типоразмера — широкополочный двутавр.

Документ 6.3 «Нагрузки, сосредоточенные в пролете элемента»:

38	39	1	2	156	350	544
38	39	—6.4	—6.4		—6.4	
36	39	1	2	460	565	
36	39	—6.7	—6.7			
36	40	1	3	121	248	375
36	40	—5.1	—5.1	—5.1		
35	36	—6.2	—6.2	—6.2		
37	40	13	156	350	544	
37	40	—8.3	—8.3	—8.3		
35	37	13	121	248	375	
35	37	—5.1	—5.1	—5.1		
35	38	12	460	365		
35	38	—6.7	—6.7			

1 конец пролетных нагрузок

Каждый из указанных элементов загружен только постоянной нагрузкой. Координаты точек приложения нагрузок даны в глобальной системе координат.

Документ 6.4 «Распределенные нагрузки в пролете элемента» и документ 6.5 «Податливости в узлах элементов» не заполняются, так как соответствующие параметры в документе 6.1 равны ∅.

Документ 6.6 «Описание элементов»:

R				1			7		3		1		0		90
		5		1			1								
&		3		6			6								
R		8		9			1		4						
		2		1			1								
		7		12			1		4						
		3		6			6								
R		13		14			1		4						
	3	1		1											
&	1	6		6											
R	5	10		1			3								
	1	4	4	1	5	5	1	10	10						
R		2		9			1		3						
	1	8		8			1		7	7	1		2	2	
T	3	1	25	31	31	26	26	32	32	27	28	27	28	34	
T	3	1	29	34	35	29	30	35							
T	4	1	37	31	33	26	38		32	39	38	36	39	40	36
T	4	1	36	3	29	36	34	39		35	40	40	37	37	33
1							Конец описания								

Так как система нумерации узлов рам каркаса подчинена определенной закономерности, при формировании строк документа использованы повторители:

для формирования информации о вертикальных элементах расчетной схемы используется двумерный повторитель, затем следуют два одномерных повторителя для описания части ригелей и далее — двумерный повторитель для описания двух ярусов ригелей;

для описания связей используются одномерные повторители с переменным шагом, а в потолочном перекрытии описание элементов группируется по типам с использованием строки *T*.

Результаты работы программы — выходная информация — располагаются на бумажной ленте АЦПУ. Выходная информация состоит из двух разделов — листинга исходных данных и листинга результатов расчета.

Первый раздел содержит «отредактированные» документы исходной информации. Фрагменты ее располагаются ниже

РАСЧЕТ КАРКАСА КОТЛА КВГМ-50-150П ...ТИКА И СЕЙСМИКА

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАДАЧИ

ЧИСЛО УЗЛОВ КОНСТРУКЦИИ	40							
ЧИСЛО ТИПОВ ЗАГРУЖЕНИЯ	2							
ЧИСЛО УЗЛОВ С ЖЕСТКИМ ЗАКРЕПЛЕНИЕМ	6							
ЧИСЛО УЗЛОВ С УПРУГИМ ЗАКРЕПЛЕНИЕМ	0							
ЧИСЛО УЗЛОВ С ПРОИЗВОЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАКРЕПЛЕНИЕМ	0							
ЧИСЛО СОСРЕДОТОЧЕННЫХ МАСС В УЗЛАХ КОНСТРУКЦИИ	0							
ЧИСЛО КОМБИНАЦИЙ ЗАГРУЖЕНИЯ	2							
НОМЕРА КОМБИНАЦИЙ ПО ОСТ	1	5	0	0	0	0	0	0
КОЛИЧЕСТВО ПОВТОРЕНИЙ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ	0							

КООРДИНАТЫ УЗЛОВ

N УЗЛ	X	Y	Z	N УЗЛ	X	Y	Z	N УЗЛ	X	Y	Z	N УЗЛ	X	Y	Z
1	700.00	0.0	0.0	2	700.00	0.0	440.00	3	700.00	0.0	645.00	4	0.0	0.0	645.00
5	0.0	0.0	440.00	6	0.0	0.0	0.0	7	700.00	316.00	0.0	8	700.00	316.00	440.00
9	700.00	316.00	645.00	10	0.0	316.00	645.00	11	0.0	316.00	440.00	12	0.0	316.00	0.0
13	700.00	810.00	0.0	14	700.00	810.00	440.00	15	700.00	810.00	645.00	16	0.0	810.00	645.00
17	0.0	810.00	440.00	18	0.0	810.00	0.0	19	700.00	1260.00	0.0	20	700.00	1260.00	440.00
21	700.00	1260.00	645.00	22	0.0	1260.00	645.00	23	0.0	1260.00	440.00	24	0.0	1260.00	0.0
25	700.00	1460.00	0.0	26	700.00	1460.00	440.00	27	700.00	1460.00	645.00	28	0.0	1460.00	645.00
29	0.0	1460.00	440.00	30	0.0	1460.00	0.0	31	700.00	1460.00	56.00	32	700.00	1460.00	589.00
33	641.00	1460.00	440.00	34	0.0	1460.00	589.00	35	0.0	1460.00	56.00	36	59.00	1460.00	440.00
37	641.00	1460.00	56.00	38	641.00	1460.00	589.00	39	59.00	1460.00	589.00	40	59.00	1460.00	56.00

СОСРЕДОТОЧЕННЫЕ НАГРУЗКИ

N УЗЛА	ВАР. НАГР.	PX	PY	PZ			
32	7	0.	0.	15000.	0.	0.	0.
25	7	0.	0.	15000.	0.	0.	0.
3	1	0.	0.	0.	0.	0.	0.

ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ I-ГО ТИПА

НАПРАВЛЕНИЯ,В КОТОРЫХ ЗАДАНЫ ГРАНИЧНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ			НОМЕРА УЗЛОВ											
ЛИНЕЙНЫЕ	УГЛОВЫЕ	(ЖЕСТКОСТЬ) (ПОДАТЛИВОСТЬ) (УГОЛ)												
XYZ	XYZ													
111	111	0.0	1	1	2	3	4	5	6	0	0	0	0	0

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДЗАДАЧИ

ЧИСЛО ЭЛЕМЕНТОВ..... 78
ЧИСЛО СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ ЭЛЕМЕНТА..... 6
ЧИСЛО ТИПОРАЗМЕРОВ ЭЛЕМЕНТОВ..... 4
ЧИСЛО ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТА..... 8
ЧИСЛО ЭЛЕМЕНТОВ С РАСПРЕД. НАГРУЗКОЙ..... 8
ЧИСЛО ЭЛЕМЕНТОВ С СОСРЕД. НАГРУЗКОЙ..... 7

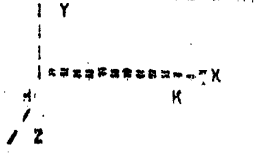
ТИПОРАЗМЕРЫ ЭЛЕМЕНТОВ

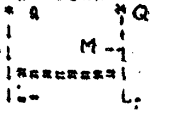
	ВЫСОТА СТЕНКИ	ТОЛЩИНА СТЕНКИ	ШИРИНА ПОЛКИ	ТОЛЩИНА ПОЛКИ	РАССТОЯНИЕ A	РАССТОЯНИЕ A1	РАЗМЕРЫ В СМ	
1	33.00	0.70	14.00	1.12	0.0	0.0	0.0	0.0
2	40.00	1.20	40.00	1.20	0.0	0.0	0.0	0.0
3	45.00	0.90	16.00	1.72	0.0	0.0	0.0	0.0
4	55.00	1.10	18.00	1.65	0.0	0.0	0.0	0.0

НАГРУЗКИ, СОСРЕДОТОЧЕННЫЕ В ПРОЛЕТЕ ЭЛЕМЕНТА

N УЗЛОВ		ТИП	НАПРАВЛ	КООРДИНАТЫ В (СМ)/ НАГРУЗКИ В (КГ)		
35	39	1	Y	3447	350.	156.
38	39			6400.0 6400.0	6400.0	
36	39	1	Y	4637	565.	
35	39			6700.0 6700.0		
36	40	1	Y	3757	248.	121.
35	40			5100.0 5100.0	5100.0	
33	36	1	Y	3447	350.	156.
33	36			6200.0 6200.0	0.0	
37	40	1	Y	3447	350.	156.
37	40			8300.0 8300.0	8300.0	
33	37	1	Y	3757	248.	121.
33	37			5100.0 5100.0	5100.0	
33	38	1	Y	4637	565.	
33	38			6700.0 6700.0		

НИЖЕ ОБОЗНАЧЕНО: JX,JY,JZ-МОМЕНТЫ ИНЕРЦИИ,WX,WY,WZ-МОМЕНТЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ,САННА-УГОЛ ПОВОРОТА СЕЧЕНИЯ ВОКРУГ ОСИ X
H-ВЫСОТА ПРОФИЛЯ,B-ШИРИНА,DP-ТОЛЩИНА ПОЛКИ,DC-ТОЛЩИНА СТЕНКИ, F-ПЛОЩАДЬ СЕЧЕНИЯ , TP- НОМЕР ТИПОРАЗМЕРА, TN-ТИП СЕЧЕНИЯ
A-АВТАВР,Ш-ШВЕЛЛЕР,Д2 И Ш2 - ДВОЙНИЕ Д И Ш, Р-РАСПРЕДЕЛЕННАЯ НАГРУЗКА, С-СОСРЕДОТОЧЕННАЯ В ПРОЛЕТЕ,НГ-НАГРУЗКА





ЭЛЕМЕНТ

N	N-РА	УЗЛОВ	ТР	ТТ	НГ	GAMMA	Т-РА	F	JZ	JY	WZ	WY	WX	H	B	DP	DC	A	ВЕС	АЛН
1	1	7	2	Д		90.0	0.0	141.1	41457.8	12946.5	2872.9	323.7	56.4	40.0	40.0	1.2	1.2	0.0	8.3.2	
2	2	8	2	Д		90.0	0.0	141.1	41457.8	12946.5	2872.9	323.7	56.4	40.0	40.0	1.2	1.2	0.0	8.3.2	
3	3	9	2	Д		90.0	0.0	141.1	41457.8	12946.5	2872.9	323.7	56.4	40.0	40.0	1.2	1.2	0.0	8.3.2	
4	4	10	2	Д		90.0	0.0	141.1	41457.8	12946.5	2872.9	323.7	56.4	40.0	40.0	1.2	1.2	0.0	8.3.2	
5	5	11	2	Д		90.0	0.0	141.1	41457.8	12946.5	2872.9	323.7	56.4	40.0	40.0	1.2	1.2	0.0	8.3.2	
19	28	21	1	Ш2		0.0	0.0	105.8	19338.2	6209.6	1172.0	443.5	29.7	33.0	14.0	1.1	0.7	0.0	8.7.3	
20	16	21	1	Ш2		0.0	0.0	105.8	19338.2	6209.6	1172.0	443.5	29.7	33.0	14.0	1.1	0.7	0.0	8.8.3	
21	16	9	1	Ш2		0.0	0.0	105.8	19338.2	6209.6	1172.0	443.5	29.7	33.0	14.0	1.1	0.7	0.0	8.8.6	
22	4	9	1	Ш2		0.0	0.0	105.8	19338.2	6209.6	1172.0	443.5	29.7	33.0	14.0	1.1	0.7	0.0	8.7.7	
23	30	19	1	Ш2		0.0	0.0	105.8	19338.2	6209.6	1172.0	443.5	29.7	33.0	14.0	1.1	0.7	0.0	8.7.3	
24	18	19	1	Ш2		0.0	0.0	105.8	19338.2	6209.6	1172.0	443.5	29.7	33.0	14.0	1.1	0.7	0.0	8.8.3	
69	39	38	4	Д	С	0.0	0.0	116.3	54947.1	1725.8	1998.1	95.9	46.6	55.0	18.0	1.6	1.1	0.0	8.5.0	
70	36	39	4	Д	С	0.0	0.0	116.3	54947.1	1725.8	1998.1	95.9	46.6	55.0	18.0	1.6	1.1	0.0	8.1.5	
71	40	36	4	Д	С	0.0	0.0	116.3	54947.1	1725.8	1998.1	95.9	46.6	55.0	18.0	1.6	1.1	0.0	8.3.0	
72	36	33	4	Д	С	0.0	0.0	116.3	54947.1	1725.8	1998.1	95.9	46.6	55.0	18.0	1.6	1.1	0.0	8.5.0	
73	29	36	4	Д		0.0	0.0	116.3	54947.1	1725.8	1998.1	95.9	46.6	55.0	18.0	1.6	1.1	0.0	8.0.6	

Выходная информация содержит величины перемещений в узлах конструкции, величины усилий и абсолютные значения напряжений в узлах каждого элемента. Ниже располагаются фрагменты листинга.

ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В УЗЛАХ

СЛУЧАЙ НАГРУЖЕНИЯ 1

N УЗЛА	ЛИНЕЙНЫЕ X	Y	Z	УГЛОВЫЕ X	Y	Z
1	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000	-0.0000
3	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000
5	-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000
7	0.0101	-0.0252	-0.0258	-0.0001	0.0001	0.0001
9	0.0068	-0.0189	0.0226	-0.0000	-0.0003	0.0000
11	-0.0612	-0.0269	0.0160	-0.0000	0.0002	0.0004
13	-0.0124	-0.0525	0.0953	-0.0001	0.0008	-0.0000
15	-0.0075	-0.0452	-0.0942	-0.0002	-0.0026	0.0000
17	-0.3728	-0.0581	-0.0815	-0.0001	-0.0002	0.0009
19	0.0086	-0.0958	-0.1199	-0.0000	0.0027	0.0001
21	0.0053	-0.0679	-0.0986	0.0000	-0.0007	0.0001
25	-0.5377	-0.1295	-0.0934	-0.0000	0.0014	-0.0012
26	0.0039	-0.1073	-0.0944	0.0005	-0.0021	0.0001
27	0.0019	-0.0762	-0.1058	-0.0003	0.0001	0.0000
29	-0.0165	-0.1285	-0.0936	-0.0001	-0.0004	-0.0043
31	0.0011	-0.1443	-0.0954	0.0006	-0.0030	0.0063
33	-0.0211	-0.4128	-0.0915	-0.0005	0.0008	0.0045
35	0.0003	-0.1392	-0.0871	0.0006	-0.0008	-0.0063
37	0.0012	-0.5129	-0.0921	0.0003	0.0001	0.0061
39	-0.0062	-0.3564	-0.0881	-0.0001	-0.0021	-0.0043

N УЗЛА	ЛИНЕЙНЫЕ X	Y	Z	УГЛОВЫЕ X	Y	Z
2	0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
4	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
6	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
8	0.0711	-0.0295	-0.0246	-0.0001	0.0002	-0.0004
10	0.0050	-0.0178	0.0183	-0.0000	0.0005	0.0001
12	0.0088	-0.0240	-0.0227	-0.0001	-0.0000	-0.0000
14	0.4108	-0.0747	-0.0958	-0.0001	0.0004	-0.0009
16	-0.0104	-0.0429	-0.0802	-0.0002	0.0008	-0.0001
18	-0.0135	-0.0606	-0.0811	-0.0001	-0.0003	-0.0001
20	0.5378	-0.1192	-0.1037	-0.0000	-0.0019	0.0013
22	0.0023	-0.0638	-0.0887	0.0000	0.0026	0.0000
24	0.0037	-0.0917	-0.1080	-0.0000	-0.0012	-0.0000
26	-0.0215	-0.1397	-0.1030	-0.0001	0.0005	0.0046
28	0.0033	-0.0717	-0.0959	-0.0003	0.0003	-0.0001
30	0.0058	-0.1040	-0.0861	0.0005	-0.0002	-0.0001
32	-0.0052	-0.1011	-0.1049	-0.0005	0.0001	0.0045
34	-0.0063	-0.0942	-0.0951	-0.0004	0.0000	-0.0045
36	-0.0167	-0.3846	-0.0876	-0.0004	0.0001	-0.0042
38	-0.0053	-0.3642	-0.0918	-0.0003	0.0002	0.0043
40	0.0008	-0.5078	-0.0874	0.0002	-0.0000	-0.0061

СЛУЧАЙ НАГРУЖЕНИЯ 7

N УЗЛА	ЛИНЕЙНЫЕ X	Y	Z	УГЛОВЫЕ X	Y	Z	N УЗЛА	ЛИНЕЙНЫЕ X	Y	Z	УГЛОВЫЕ X	Y	Z
1	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
3	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	4	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000
7	-0.0102	0.0249	0.1457	0.0008	0.0000	-0.0000	8	0.0058	0.0087	0.1498	0.0000	0.0000	-0.0200
9	0.0227	-0.0540	0.1548	0.0008	0.0000	-0.0001	10	0.0215	-0.0539	0.1486	0.0007	0.0001	-0.0000
11	0.0040	0.0101	0.1477	0.0007	0.0001	-0.0000	12	-0.0092	0.0251	0.1424	0.0000	-0.0000	-0.0000
13	0.0162	0.0539	0.5460	0.0005	-0.0000	-0.0000	14	0.0211	0.0223	0.5561	0.0005	0.0001	-0.0000
15	0.0225	-0.0549	0.5486	0.0005	-0.0000	0.0000	16	0.0222	-0.0550	0.5367	0.0006	0.0001	0.0000
17	0.0112	0.0223	0.5384	0.0005	0.0000	0.0000	18	0.0178	0.0644	0.5345	0.0005	0.0001	-0.0000
19	-0.0041	0.0986	0.7199	0.0004	0.0000	0.0000	20	0.0225	0.0119	0.7253	0.0003	0.0000	0.0000
21	0.0210	-0.0546	0.7260	0.0003	-0.0000	-0.0000	22	0.0217	-0.0547	0.7159	0.0003	0.0000	-0.0000
23	0.0106	0.0119	0.7152	0.0003	0.0000	-0.0000	24	-0.0034	0.0994	0.7095	0.0004	0.0001	0.0000
25	-0.0028	0.0991	0.0212	0.0005	0.0001	-0.0000	26	0.0158	0.0074	0.7931	0.0003	0.0001	0.0000
27	0.0221	-0.0544	0.7933	0.0003	-0.0000	-0.0000	28	0.0217	-0.0546	0.7833	0.0003	0.0000	0.0000
29	0.0165	0.0074	0.7831	0.0003	-0.0000	-0.0000	30	-0.0041	0.0999	0.8113	0.0005	-0.0000	-0.0000
31	-0.0025	0.0771	0.8175	0.0003	-0.0002	-0.0000	32	0.0210	-0.0361	0.7934	0.0003	0.0001	-0.0000
33	0.0159	0.0045	0.8006	0.0002	0.0001	0.0000	34	0.0208	-0.0362	0.7833	0.0003	-0.0000	0.0000
35	-0.0011	0.0777	0.8075	0.0003	0.0002	0.0000	36	0.0165	0.0045	0.7873	0.0002	-0.0001	-0.0000
37	-0.0022	0.0781	0.8016	0.0002	-0.0003	-0.0000	38	0.0210	-0.0335	0.8003	0.0003	0.0001	-0.0000
39	0.0208	-0.0336	0.7870	0.0003	-0.0010	0.0000	40	-0.0012	0.0787	0.7884	0.0002	0.0003	0.0000

УЗЛОВЫЕ СИЛЫ

НОМЕРА УЗЛ.	СИЛА NX	СИЛА QY	СИЛА QZ	МОМЕНТ MX	МОМЕНТ MY	МОМЕНТ MZ	SIGX	SIGY	SIGZ	TAU	SIGEQ
НАПРЯЖЕНИЯ В НОРМЕ:											
СОЧТ 1 1	23642.	125.	-272.	-19.	34194.	58222.	167.53	165.65	28.89	3.14	381.33
СОЧТ 1 7	-23642.	-125.	272.	19.	51826.	-18759.	167.53	169.12	9.85	3.14	336.76
H= 40.0 B= 40.0 DP= 1.2 DO= 1.2 A1= 0.0 G1= 356.8 F= 141.1 WY= 323.7 WZ= 2072.9 JZ= 41457.8 JY= 12946.5											
ТИПОРАЗМЕР ИСХОДНОГО СЕЧЕНИЯ= 2 ДВУТАВР КОЛОННА											
1	23642.	125.	-272.	-19.	34194.	58222.	ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 1				
7	-23642.	-125.	272.	19.	51826.	-18759.	ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 1				
1	-23351.	-660.	112.	-15.	-17370.	-323675.	ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 7				
7	23351.	660.	-112.	15.	-18062.	114993.	ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 7				
НАПРЯЖЕНИЯ В НОРМЕ:											
СОЧТ 5 9	35967.	-79.	169.	-89.	-56210.	-48017.	340.81	126.73	48.97	5.33	587.82
СОЧТ 5 14	-35967.	79.	-169.	89.	-34078.	5940.	340.81	76.81	5.87	5.33	422.82
H= 33.0 B= 18.5 DP= 1.1 DO= 0.7 A1= 0.0 G1= 452.6 F= 105.8 WY= 443.5 WZ= 1172.0 JZ= 19538.2 JY= 6289.6											
ТИПОРАЗМЕР ИСХОДНОГО СЕЧЕНИЯ= 1 ШВЕЛЛЕР2 СВЯЗЬ											
9	2566.	-286.	197.	-98.	-66230.	-80625.	ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 1				
14	-2566.	286.	-197.	98.	-39342.	-72483.	ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 1				
9	33658.	179.	-9.	-0.	3397.	24546.	ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 7				
14	-33658.	-179.	9.	0.	1338.	71102.	ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 7				

НАПРЯЖЕНИЯ В НОРМЕ:

СОЧТ 5 10	-446.	-3.	-4.	-4.	2675.						
СОЧТ 5 9	446.	3.	4.	4.	66.	1152.	8.43	66.16	1.97	8.37	76.56
						-3039.	8.43	1.64	5.19	8.37	15.27

H= 33,0 B= 14,0 DP= 1.1 DC= 0.7 A1= 0.0 C1= 296.2 F= 52.9 WY= 40.4 WZ= 506.0 JZ= 9669.1 JY= 566.0

ТИПОРАЗМЕР ИСХОДНОГО СЕЧЕНИЯ= 1 ДВУТАВР РИГЕЛЬ

10	-288.	25.	-2.	0.	2014.	
9	288.	-25.	2.	-0.	-704.	10611. ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 1
10	-194.	-25.	-2.	-4.	862.	6608. ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 1
9	194.	25.	2.	4.	700.	-8399. ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 7
						-6986. ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 7

НАПРЯЖЕНИЯ В НОРМЕ:

СОЧТ 5 10	35893.	55.	-116.	84.	41846.						
СОЧТ 5 17	-35893.	-55.	116.	-84.	20058.	-5391.	339.31	94.34	4.60	4.45	436.34
						35073.	339.31	45.22	29.93	4.45	414.55

H= 33,0 B= 18,5 DP= 1.1 DC= 0.7 A1= 0.0 C1= 452.6 F= 105.8 WY= 443.6 WZ= 1172.0 JZ= 19538.2 JY= 6209.6

ТИПОРАЗМЕР ИСХОДНОГО СЕЧЕНИЯ= 1 ШВЕЛЛЕР2 СВЯЗЬ

10	3396.	-208.	-116.	85.	43190.	
17	-3396.	208.	116.	-85.	19865.	-63108. ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 1
10	32836.	243.	-10.	8.	2974.	-48340. ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 1
17	-32836.	-243.	10.	-8.	2180.	51407. ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 7
						78579. ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 7

НАПРЯЖЕНИЯ В СЕРЕДИНЕ ПРОЛЕТА = -1480.89

НАПРЯЖЕНИЯ В НОРМЕ:

СОЧТ 1 39	-383.	73.	-6.	33.	-362.	-1696068.	3.29	3.77	840.85	1.38	855.92
СОЧТ 1 38	383.	-73.	6.	-33.	3742.	1738618.	3.29	39.02	878.15	1.38	912.47

H= 55,0 B= 18,0 DP= 1.6 DC= 1.1 A1= 0.0 C1= 541.4 F= 116.3 WY= 95.9 WZ= 1790.1 JZ= 84947.1 JY= 1725.8

ТИПОРАЗМЕР ИСХОДНОГО СЕЧЕНИЯ= 4 ДВУТАВР ПОТОЛОК

39	-383.	73.	-6.	33.	-362.	-1696068. ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 1
38	383.	-73.	6.	-33.	3742.	1738618. ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 1
39	-75.	-0.	-6.	0.	934.	16030. ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 7
38	75.	0.	6.	-0.	2601.	-16134. ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 7

НАПРЯЖЕНИЯ В НОРМЕ:

СОЧТ 5 35	15289.	-1952.	20.	-440.	344.	-493558.	165.38	4.33	356.25	33.09	530.11
СОЧТ 5 29	-15289.	1952.	-20.	440.	-7990.	-256007.	165.38	100.73	184.79	33.09	455.73

H= 45,0 B= 16,0 DP= 1.7 DC= 0.9 A1= 0.0 C1= 284.0 F= 92.4 WY= 79.3 WZ= 1385.4 JZ= 31172.0 JY= 1269.2

ТИПОРАЗМЕР ИСХОДНОГО СЕЧЕНИЯ= 3 ДВУТАВР ХРБ.БЛК.

35	3297.	-1477.	33.	-507.		
29	-3297.	1477.	-33.	507.	-3630.	-402762. ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 1
35	12322.	-623.	-10.	17.	-9045.	-164223. ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 1
29	-12322.	623.	10.	-17.	3611.	-131072. ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 7
					151.	-108206. ВАРИАНТ НАГРУЖЕНИЯ NO 7

Основным содержанием последнего документа являются величины узловых сил и напряжений в каждом элементе. Информация, относящаяся к элементу, заключена между горизонтальными пунктирными линиями.

Информация начинается с сообщения «Напряжения в норме», которое в данном варианте расчета означает, что подбор размеров сечений не производился.

Следующие две строки содержат усилия и напряжения, вычисленные в начале элемента (первая строка) и в конце (вторая строка) для «наихудшего» сочетания нагрузок. В начале строки указывается номер сочетания, затем номер узла. Далее — величины продольной и поперечных сил в двух направлениях, моментов относительно трех осей. Затем следуют величины напряжений — от продольной силы, от моментов относительно осей y и z и осредненное по площади сечения суммарное значение касательного напряжения от поперечных сил и крутящего момента.

Последним в строке стоит значение расчетного напряжения, вычисленного по четвертой теории прочности.

Следующие две строки содержат все геометрические характеристики элемента, а также номер типоразмера, тип сечения и функциональное назначение элемента.

Вслед за ними располагается несколько пар строк — по числу учитываемых в расчете нагрузок (в данном случае — 2).

В каждой строке содержатся величины узловых усилий (номер узла указан в начале строки) элемента для нагрузки с определенным индексом.

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Справочное

ПРИМЕРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

ПРИМЕР 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК ОТ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НОРМАТИВНЫМ МЕТОДОМ

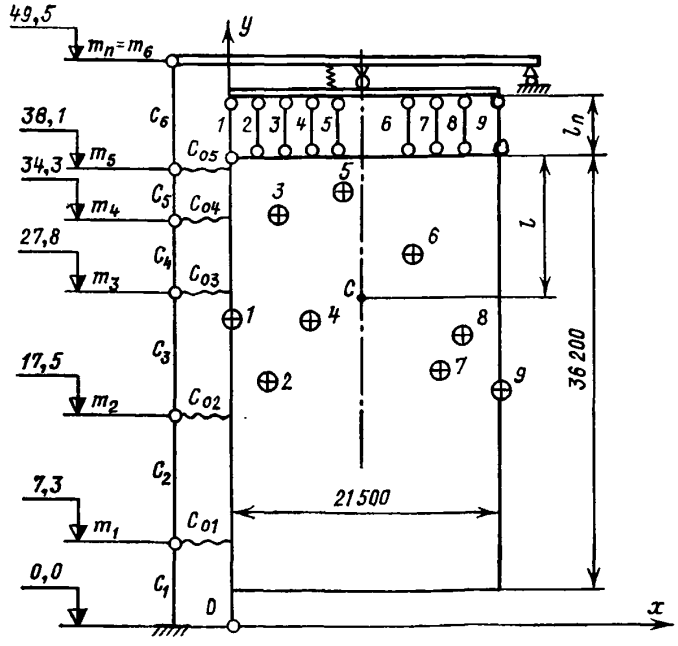
В примере определения сейсмических нагрузок на каркас котла подвесной конструкции рассмотрена иллюстративная модель, составленная на основе конструктивных данных котла ТГМП-344, при наличии горизонтальных связей между котлом и каркасом (вариант 2) и без них (вариант 1). В примере принято сейсмическое воздействие интенсивностью 8 баллов вдоль боковой стены каркаса.

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

1.1. Динамическая модель сооружения представлена на черт. 1.

1.2. Значения сосредоточенных масс консольной модели каркаса:

$m_1=m_2=m_3=m_4=m_5=35{,}68$ тс·с²/м; $m_6=m_n=44{,}85$ тс·с²/м.



Черт. 1

1.3. Поэтажные жесткости каркаса:

$C_1=2{,}04\cdot10^6$ тс/м; $C_2=1{,}88\ 10^5$ тс/м; $C_3=6{,}86\cdot10^4$ тс/м;

$C_4=6{,}88\cdot10^4$ тс/м; $C_5=9{,}47\cdot10^4$ тс/м; $C_6=1{,}89\cdot10^4$ тс/м.

1.4. Жесткости горизонтальных связей, установленных на уровнях расположения сосредоточенных масс каркаса,

$$C_{01}=C_{02}=C_{03}=C_{04}=C_{05}=5000\ \text{тс/м};\quad \sum_e C_{0e}=25\,000\ \text{тс/м}.$$

Для расчета варианта без связей будем считать, что

$$C_{01}=C_{02}=C_{03}=C_{04}=C_{05}=0; \quad \sum_e C_{0e}=0.$$

1.5. Расстояния от уровня расположения связи до верха подвешенной конструкции котла l_e:

$l_1=33{,}6$ м; $l_2=23{,}4$ м; $l_3=13{,}1$ м; $l_4=6{,}6$ м; $l_5=2{,}8$ м.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ СООРУЖЕНИЯ

2.1. Динамическую модель каркаса можно упростить в соответствии с п. 3.13 настоящего РТМ, так как жесткость каркаса в местах присоединения связей более чем в 5 раз превосходит жесткость соответствующей горизонтальной связи.

2.2. Из статического расчета каркаса определяются перемещения его узлов от единичной горизонтальной силы, приложенной в уровне потолочного перекрытия:

$y_1=0{,}068\cdot10^{-5}$ м/тс; $y_2=0{,}807\cdot10^{-5}$ м/тс;

$y_3=2{,}762\cdot10^{-5}$ м/тс; $y_4=4{,}49\cdot10^{-5}$ м/тс;

$y_5=5{,}472\cdot10^{-5}$ м/тс; $y_6=8{,}77\cdot10^{-5}$ м/тс.

2.3. Величины относительных горизонтальных перемещений узлов модели каркаса определяются по формуле $\bar{y}_к=y_к/y_п$:

$$\bar{y}_1=\frac{y_1}{y_6}=\frac{0{,}068\cdot10^{-5}}{8{,}77\cdot10^{-5}}=0{,}00777; \quad \bar{y}_2=0{,}092; \quad \bar{y}_3=0{,}315;$$

$$\bar{y}_4=0{,}512; \quad \bar{y}_5=0{,}624; \quad \bar{y}_6=1.$$

2.4. Величина

$$M_k=\sum_k m_k\bar{y}_k^2;$$

$$M_k=35{,}68(0{,}00777^2+0{,}092^2+0{,}315^2+0{,}512^2+0{,}624^2)+44{,}85=71{,}9344 \text{ тс}\cdot\text{с}^2/\text{м}.$$

2.5. Частота собственных колебаний каркаса:

$$\omega_k=\sqrt{\frac{1}{y_п M_k}}=\frac{1}{8{,}77\cdot10^{-5}\cdot71{,}9344}=12{,}59 \text{ 1/с}.$$

2.6. Значения и координаты подвешенных масс котла приведены в табл. 1.

Таблица 1

№ пп. (см. черт. 1)	Обозначение массы	Величина массы, тс·с²/м	x_s, м	y_s, м	Вес q_s, тс
1	$\bar{m}_1$	41,79	0	26,0	410
2	$\bar{m}_2$	33,64	4,1	22,3	330
3	$\bar{m}_3$	60,14	5,2	35,0	590
4	$\bar{m}_4$	81,55	8,3	26,0	800
5	$\bar{m}_5$	22,43	10,5	36,4	220
6	$\bar{m}_6$	91,74	15,3	32,0	900
7	$\bar{m}_7$	31,6	17,5	23,0	310
8	$\bar{m}_8$	91,74	19,0	25,0	900
9	$\bar{m}_9$	40,77	21,5	22,0	400

Масса и вес подвешенной конструкции:

$$M_c=\sum_{s=1}^{9}\bar{m}_s=495{,}45 \text{ тс}\cdot\text{с}^2/\text{м}; \quad Q=\sum_{s=1}^{9}q_s=4860 \text{ тс}.$$

2.7. Координаты центра тяжести:

$x_c=11{,}99$ м; $y_c=27{,}72$ м; $l=13{,}2$ м.

2.8. Момент инерции подвешенной конструкции определяется по формулам разделов 3—4 приложения 1. Вычисления сведены в табл. 2.

Таблица 2

S	$\Delta X_s = X_s - X_c$	ΔX_s^2	$\Delta y_s = y_s - y_c$	Δy_s^2	$\Delta x_s^2 + \Delta y_s^2$	$q_s\left(\Delta X_s^2 + \Delta y_s^2\right)$
1	−11,99	143,76	−1,72	2,96	146,72	60 155,2
2	−7,89	62,25	−5,42	29,38	91,63	30 237,9
3	−6,79	46,10	7,28	53,0	99,1	58 469
4	−3,69	13,62	−1,72	2,96	16,58	13 264
5	−1,49	2,22	8,68	75,34	77,56	17 063,2
6	3,31	10,96	4,28	18,32	29,28	26 352
7	5,51	30,36	−4,72	22,28	52,64	16 318,4
8	7,01	49,14	−2,72	7,4	56,54	50 886
9	9,51	90,44	−5,72	32,72	123,16	49 264

$$\theta_1 = \sum_s q_s\left(\Delta X_s^2 + \Delta y_s^2\right) = 322\,009{,}7 \text{ тс}\cdot\text{м}^2;$$

$$\theta = \frac{\theta_1}{g} = 32\,824{,}6 \text{ тс}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2.$$

2.9. Количество условных подвесок и места их расположения в динамической модели сооружения каркас — котел были выбраны в соответствии с распределением по оси x приведенных масс котла. Результаты вычисления суммарной реакции пружин условных подвесок C_φ при единичном угле поворота приведены в табл. 3.

Таблица 3

№ подвески	$C_{\varphi j}$, тс/м	a_j, м	a_j^2, м²	$C_{\varphi j} a_j^2$, тс·м
1	19 000	11,99	143,76	2 731 440
2	33 600	7,89	62,25	2 091 600
3	60 000	6,79	46,10	2 766 000
4	90 000	3,69	13,62	1 225 800
5	25 000	1,49	2,22	55 500
6	125 000	3,31	10,96	1 370 000
7	35 000	5,51	30,36	1 062 600
8	100 000	7,01	49,14	4 914 000
9	4200	9,51	90,44	3 798 480

Суммарная реакция пружин условных подвесок:

$$C_\varphi = \sum_j C_{\varphi j} a_j^2 = 20015420 \text{ тс}\cdot\text{м}; \quad \sum_j a_j^2 = 448{,}85 \text{ м}^2.$$

Нумерация условных подвесок идет слева направо. Длина условных подвесок $l_п = 8{,}6$ м.

2.10. Для каждого варианта расчета вычисляем коэффициенты, входящие в характеристическое уравнение системы п. 3.12 обязательного приложения 1.

Характеристическое уравнение имеет вид

$$\begin{vmatrix} a_{11} - M_c\omega_i^2 & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} - \theta\omega_i^2 & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} - M_k\omega_i^2 \end{vmatrix} = 0$$

или

$$\omega_i^6 - A\omega_i^4 + B\omega_i^2 - C = 0,$$

где

$$A = (a_{11}M_k\theta + a_{22}M_kM_c + a_{33}M_c\theta) : (M_kM_c\theta);$$

$$B = \left[(a_{11}a_{22} - a_{12}^2)M_k + (a_{11}a_{33} - a_{13}^2)\theta + (a_{22}a_{33} - a_{23}^2)M_c\right] : (M_kM_c\theta);$$

$$C = (a_{11}a_{22}a_{33} + a_{12}a_{23}a_{31} + a_{13}a_{21}a_{32} - a_{11}a_{23}^2 - a_{22}a_{13}^2 - a_{33}a_{12}^2) : (M_kM_c\theta).$$

Вычисления сведены в табл. 4.

Таблица 4

Коэффициент	Формула	Вариант 1	Вариант 2
a_{11}	$\frac{Q}{l_п} + \sum_e C_{0e} = 565{,}12 + \sum C_{0e}$	565,12	25 565,12
a_{22}	$Ql(1 + l/l_п) + C_\varphi + \sum C_{0e}(l - l_e)^2 = 4860 \cdot 13{,}2\left(1 + \frac{13{,}2}{8{,}6}\right) + 20015420 + C_{0e} \cdot 671{,}93$	20 178 037	23 537 687
a_{33}	$\frac{Q}{l_п} + \sum C_{0e}\bar{y}_e + \omega_k^2 M_k = 565{,}12 + C_{0e} \cdot 2{,}55067 + 11397{,}29$	11 962,41	24 715,76
$a_{12} = a_{21}$	$-\left[\frac{Ql}{l_п} + \sum_e C_{0e}(l - l_e)\right] = -\frac{4860 \cdot 13{,}2}{8{,}6} + C_{0e} \cdot 13{,}5$	—7459,535	60 040,46
$a_{13} = a_{31}$	$-\left(\frac{Q}{l_п} + \sum_e C_{0e}\bar{y}_e\right) = -565{,}12 - C_{0e} \cdot 2{,}55067$	—565,12	—8318,47
$a_{23} = a_{32}$	$\frac{Ql}{l_п} + \sum_e C_{0e}(l - l_e)\bar{y}_e = \frac{4860 \cdot 13{,}2}{8{,}6} + C_{0e} \cdot 8{,}801$	7459,535	51 466,38

В этих формулах

$$\frac{Q}{l_п} = \frac{4860}{8{,}6} = 565{,}12 \text{ тс·м};$$

$$\sum_e C_{0e}(l - l_e)^2 = C_{0e}[(13{,}2 - 33{,}6)^2 + (13{,}2 - 23{,}4)^2 + (13{,}2 - 13{,}1)^2 +$$

$$+ (13{,}2 - 6{,}6)^2 + (13{,}2 - 2{,}8)^2] = C_{0e} \cdot 671{,}93 \text{ тс·м};$$

$$\sum_e C_{0e}\bar{y}_e = C_{0e}(0{,}00777 + 0{,}092 + 0{,}315 + 0{,}512 + 0{,}624 + 1) = C_{0e} \cdot 2{,}55067;$$

$$\omega_k^2 M_k = 12{,}59^2 \cdot 71{,}9344 = 11397{,}29;$$

$$\sum C_{0e}(l - l_e) = C_{0e} \sum_e (l - l_e) = -C_{0e} \cdot 13{,}5 \text{ (при } C_{0e} = \text{const});$$

$$\sum C_{0e}(l - l_e)\bar{y}_e = C_{0e} \sum_e (l - l_e)\bar{y}_e = C_{0e} \cdot 8{,}801 \text{ (при } C_{0e} = \text{const}).$$

2.11. Определяем коэффициенты A, B, C характеристического уравнения. Вычисления сведены в табл. 5.

Таблица 5

Коэффициент	Формула	Вариант 1	Вариант 2
A	$(a_{11}M_k\theta + a_{22}M_kM_c + a_{33}M_c\theta) : (M_kM_c\theta)$	782,16	1112,28
B	$\left[\left(a_{11}a_{22} - a_{12}^2\right)M_k + \left(a_{11}a_{33} - a_{13}^2\right)\theta + \left(a_{22}a_{33} - a_{23}^2\right)M_c\right] : (M_kM_c\theta)$	103 086,02	297 839,59
C	$\left(a_{11}a_{22}a_{33} + 2a_{12}a_{13}a_{23} - a_{11}a_{23}^2 - a_{22}a_{13}^2 - a_{33}a_{12}^2\right) : (M_kM_c\theta)$	110 564,87	11 144 263,29

2.12. Составляем характеристическое уравнение:
для варианта 1

$$\omega_i^6 - 782{,}16\omega_i^4 + 103\,086{,}02\omega_i^2 - 110\,564{,}87 = 0;$$

для варианта 2

$$\omega_i^6 - 1112{,}28\omega_i^4 + 297\,839{,}59\omega_i^2 - 11\,144\,263{,}29 = 0.$$

2.13. Из решения характеристического уравнения для каждого варианта определяем частоту ω_i и период $T_i = 2\pi/\omega_i$ собственных колебаний сооружения каркас — котел по трем главным формам. Результаты вычислений сведены в табл. 6.

Таблица 6

Форма колебаний	Обозначение	Вариант	
		1	2
I	ω_1^2, 1/с²	1,081146	44,5235363
	ω_1, 1/с	1,04	6,67
	T_1, с	6,04	0,94
II	ω_2^2, 1/с²	166,3081379	347,5267364
	ω_2, 1/с	12,89	18,64
	T_2, с	0,49	0,34
III	ω_3^2, 1/с²	614,7703498	720,229336
	ω_3, 1/с	25,39	26,84
	T_3, с	0,25	0,23

Примечание. При решении характеристического уравнения с помощью микрокалькуляторов следует удерживать максимально возможное число знаков при определении ω_i^2, так как от этого зависит точность решения при определении собственных форм колебаний.

2.14. Для нахождения собственных форм колебаний (X_{in}, X_{ic}, φ_i) в каждом варианте для каждого значения ω_i составляется система уравнений (см. п. 3.12 обязательного приложения 1).

Для варианта 1 система уравнений имеет вид

$$(565{,}12-495{,}41\omega_i^2)X_{ic}-7459{,}535\varphi_i-565{,}12X_{in}=0;$$

$$-7459{,}535X_{ic}+(20\,178\,037-32\,825\omega_i^2)\varphi_i+7459{,}535X_{in}=0;$$

$$-565{,}12X_{ic}+7459{,}535\varphi_i+(11\,962{,}4-71{,}93\omega_i^2)X_{in}=0.$$

Значения коэффициентов системы при ω_i^2 приведены в табл. 7.

Таблица 7

Форма колебаний	ω_i^2	$565{,}12-495{,}41\omega_i^2$	$20\,178\,037{,}86-32\,825\omega_i^2$	$11\,962{,}41-71{,}93\varphi_i^2$
I	1,081146	29,50946	20 142 549,24255	11 884,6431682
II	166,3081379	—81 825,594597	14 718 973,233432	—0,134359
III	614,7703498	—303 998,258994	—1798,872185	—32 258,021261

Для варианта 2 система уравнений имеет вид

$$(25\,565{,}12-495{,}41\omega_i^2)X_{ic}+60\,040{,}46\varphi_i-8318{,}47X_{in}=0;$$

$$60\,040{,}46X_{ic}+(23\,537\,687{,}86-32\,825\omega_i^2)\varphi_i+51\,466{,}38X_{in}=0;$$

$$-8318{,}47X_{ic}+51\,466{,}38\varphi_i+(24\,715{,}76-71{,}93\omega_i^2)X_{in}=0.$$

Значения коэффициентов, содержащих ω_i^2, приведены в табл. 8.

Таблица 8

Форма колебаний	ω_i^2	$25\,565{,}12-495{,}41\omega_i^2$	$23\,537\,687{,}86-32\,825\omega_i^2$	$24\,715{,}76-71{,}93\omega_i^2$
I	44,5235363	3507,7148816	22 076 202,7809525	21 513,18203394
II	347,5267364	—146 603,1004799	12 130 122,73767	—281,83814925
III	720,229336	—331 243,69534776	—103 840,0942	—27 090,33613848

Значения $\overline{X}_{ic}$ и $\overline{\varphi}_i$ приведены в табл. 9.

Из первого и третьего уравнения каждой из систем для каждой формы колебаний определяем $\overline{X}_{ic}$ и $\overline{\varphi}_i$, полагая, что

$$\overline{X}_{ic}=\frac{X_{ic}}{X_{in}};\quad \overline{\varphi}_i=\frac{\varphi_i}{X_{in}}.$$

Таблица 9

Коэффициенты	Вариант 1			Вариант 2		
	Форма колебаний					
	I	II	III	I	II	III
$\overline{X}_{ic}$	22,27	—0,0069	—0,1078	2,529	—0,0584	0,0724
$\overline{\varphi}_i$	0,0078	—0,0005	4,3162	—0,0092	—0,0039	0,538

2.15. Значения перемещений сосредоточенных масс каркаса с учетом подвешенного котла определяются по формуле

$$X_{ik} = X_{in}\overline{y}_k.$$

Относительные значения перемещений:

$$\overline{X}_{ik} = \frac{X_{ik}}{X_{in}} = \overline{y}_k.$$

2.16. Определяем коэффициент динамичности (результаты вычислений приведены в табл. 10), учитывая влияние грунта в зависимости от периода колебаний (см. п. 3.11 обязательного приложения 1).

Таблица 10

Коэффициенты	Вариант 1			Вариант 2		
	Форма колебаний					
	I	II	III	I	II	III
Период T_i, с	6,04	0,49	0,25	0,94	0,34	0,23
Коэффициент грунта	1,5	1,1	1	1,5	1	1
Коэффициент динамичности β_i:						
расчетный	0,248	2,24	4	1,596	2,94	4,34
принимаемый	0,8	2,24	3,0	1,596	2,94	3,0

2.17. Определяем коэффициенты η_{ik} по формулам п. 3.12.
Неизменяемые члены формулы для η_i имеют значение:

$$\sum_k m_k \overline{X}_{ik} = 35{,}68\,(0{,}00777 + 0{,}092 + 0{,}315 + 0{,}512 + 0{,}624) + 44{,}85 = 100{,}178; \quad \sum_k m_k \overline{X}_{ik}^2 = 71{,}93.$$

Тогда для варианта 1 имеем:
при $i=1$ (I форма колебаний)

$$\eta_1 = \frac{100{,}178 + 495{,}41 \cdot 22{,}27}{71{,}93 + 495{,}41 \cdot 22{,}27^2 + 32825 \cdot 0{,}0078^2} = 0{,}0453;$$

при $i=2$ (II форма колебаний)

$$\eta_2 = \frac{100{,}178 - 495{,}41 \cdot 0{,}0069}{71{,}93 + 495{,}41 \cdot 0{,}0069^2 + 32825 \cdot 0{,}0005^2} = 1{,}3446;$$

при $i=3$ (III форма колебаний)

$$\eta_3 = \frac{100{,}178 - 495{,}41 \cdot 0{,}1078}{71{,}93 + 495{,}41 \cdot 0{,}1078^2 + 32825 \cdot 4{,}3162^2} = 0{,}000076.$$

Вычисляем коэффициенты η_{ic} и η_{ik}. Результаты вычислений приведены в табл. 11.

Таблица 11

i	η_i	η_{ic}	η_{ik}	k					
				1	2	3	4	5	6
1	0,0453	1,008831	η_{1k}	0,000352	0,004168	0,014276	0,02318	0,028268	0,0453
2	1,3446	0,009277	η_{2k}	0,010458	0,123719	0,423763	0,68804	0,839055	1,3446
3	0,000076	$-8{,}193 \cdot 10^{-6}$	η_{3k}	$5{,}9 \cdot 10^{-7}$	$6{,}99 \cdot 10^{-6}$	$239 \cdot 10^{-5}$	$3{,}89 \cdot 10^{-5}$	$4{,}74 \cdot 10^{-5}$	$7{,}6 \cdot 10^{-4}$

2.18. Аналогично вычисляются коэффициенты η_{ik} для варианта 2. Результаты вычислений приведены в табл. 12.

Таблица 12

i	η_i	η_{ic}	η_{ik}	k					
				1	2	3	4	5	6
1	0,417159	1,055078	η_{1k}	0,003244	0,038383	0,131474	0,213463	0,260315	0,417159
2	0,96124	—0,056136	η_{2k}	0,007476	0,088445	0,302943	0,491872	0,599831	0,96124
3	0,014202	0,001028	η_{3k}	0,00011	0,001307	0,004476	0,007267	0,008862	0,014202

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА СООРУЖЕНИЕ

3.1. Горизонтальная сейсмическая нагрузка, приложенная в местах расположения сосредоточенных масс каркаса, определяется по формуле

$$S_{ik} = m_k g A \beta_i \eta_{ik} k_1 k_2 k_\psi k_\text{д} = 0{,}25 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}2 \cdot 1 \cdot 9{,}81 m_k \beta_i \eta_{ik} = 0{,}5886 m_k \beta_i \eta_{ik}.$$

Здесь $k_\psi = 1$ (так как каркас рамно-связевой); $A = 0{,}2$ (так как рассматривается сейсмическое воздействие 8 баллов).

3.2. Горизонтальная сейсмическая нагрузка, приложенная к центру масс подвешенного котла, определяется по формуле

$$S_{ic} = QA\beta_i \eta_{ic} k_1 k_2 k_\psi k_\text{д} = 0{,}25 \cdot 1{,}2 \cdot 4860 \cdot 0{,}2 \cdot 1 \beta_i \eta_{ic} = 291{,}6 \beta_i \eta_{ic}.$$

Результаты вычислений сейсмических нагрузок приведены в табл. 13.

Таблица 13

Вариант	Форма колебаний	S_{ic}, тс	S_{ik}, тс	k					
				1	2	3	4	5	6
1	I	235,1992	S_{1k}	0,0056	0,0704	0,2392	0,3896	0,476	0,958
	II	—6,064	S_{2k}	0,493	5,8328	19,978	32,438	39,338	79,684
	III	—0,0072	S_{3k}	0	0	0,0016	0,0024	0,003	0,06
2	I	490,931	S_{1k}	0,108	1,286	4,406	7,154	8,723	17,572
	II	—48,126	S_{2k}	0,462	5,461	18,705	30,37	37,035	74,222
	III	0,899	S_{3k}	0,007	0,082	0,282	0,458	0,5584	1,125

3.3. Абсолютные значения линейных перемещений сосредоточенных масс каркаса и центра масс котла X_{ik} и X_{ic} и угол поворота котла вокруг его центра масс φ_i вычисляют по формулам пп. 3.15 и 3.16 приложения 1. Результаты вычислений сведены в табл. 14.

Таблица 14

Вариант	Форма колебаний	X_{ik}, м	k						X_{ic}, м	φ_i
			1	2	3	4	5	6		
1	I	X_{1k}	0	0,0018	0,0062	0,0098	0,0123	0,0198	0,439	0,00013
	II	X_{2k}	0	0,0009	0,0034	0,0054	0,0066	0,01	—0,00008	—0,0000044
	III	X_{3k}	0	0	0	0	0	0	0	0
2	I	X_{1k}	0	0,0008	0,00272	0,00448	0,00544	0,0088	0,02224	—0,00008
	II	X_{2k}	0	0,000448	0,00152	0,00248	0,00296	0,0048	—0,00024	0
	III	X_{3k}	0	0	0	0	0	0	0	0

3.4. Значения вертикальных сосредоточенных сил от каждой условной подвески (п. 3.20 приложения 1) приведены в табл. 15.

Таблица 15

Вариант	Форма колебаний	P_{ij}, тс	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	I	P_{1j}	29,1592	77,3032	52,1472	42,5088	15,8344	52,96	24,6848	89,728	51,1256
	II	P_{2j}	—1,0024	—2,6576	—1,7928	—1,4608	—0,164	—1,8208	—0,8488	—3,084	—1,7576
	III	P_{3j}	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	I	P_{1j}	—18,2248	—48,3144	—32,592	—26,568	—2,98	—33,1	—15,428	—56,08	—31,9536
	II	P_{2j}	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	III	P_{3j}	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.5. Определяем расчетные усилия в горизонтальных связях P_{ie} между котлом и каркасом. Для этого сначала вычисляем значения перемещений точек котла в местах закрепления горизонтальных связей Y_{ie} (п. 3.18 приложения 1). Результаты вычислений приведены в табл. 16.

Таблица 16

Вариант	Форма колебаний	Y_{ie}, м	e				
			1	2	3	4	5
2	I	Y_{1e}	0,0204	0,02128	0,02224	0,0228	0,02312
	II	Y_{2e}	—0,00024	—0,00024	—0,00024	—0,00024	—0,00024
	III	Y_{3e}	0	0	0	0	0

Затем находим деформацию горизонтальных связей

$$\Delta_{le} = Y_{le} - X_{le},$$

где $X_{ie} = X_{ik}$ при $e = k$, равном 1, 2, 3, 4, 5. Вычисления сведены в табл. 17.

Таблица 17

Вариант	Форма колебаний	Δ_{le}, м	e				
			1	2	3	4	5
2	I	Δ_{1e}	0,02032	0,02048	0,01944	0,01832	0,01768
	II	Δ_{2e}	—0,00024	—0,00072	—0,00184	—0,00272	—0,00328
	III	Δ_{3e}	0	0	0	0	0

Результаты определения искомых усилий $P_{ie} = C_{0e}\Delta_{ie}$ приведены в табл. 18.

Таблица 18

Вариант	Форма колебаний	P_{ie}, тс	e				
			1	2	3	4	5
2	I	P_{1e}	101,6184	102,5776	97,3328	91,5552	88,444
	II	P_{2e}	—1,3328	—3,5552	—9,1112	—13,7776	—16,444
	III	P_{3e}	0	0	0	0	0

3.6. Определяем горизонтальное усилие S_{ib}, передаваемое через подвески в уровень потолочного перекрытия

$$S_{ib} = \frac{Q}{l_n}(Y_{ib} - X_{in}); \quad l_n = 8{,}6 \text{ м},$$

определяя предварительно перемещение верха котла $Y_{ib} = X_{ic} - l\varphi_i$; $l = 13{,}2$ м. Результаты расчета сведены в табл. 19.

Таблица 19

Величина	Вариант 1			Вариант 2		
	Форма колебаний					
	I	II	III	I	II	III
Y_{ib}, м	0,4376	0	0	0,02336	—0,00024	0
S_{ib}, тс	236,0296	—6,0264	0	8,2352	—2,9112	0

ПРИМЕР 2. РАСЧЕТ КАРКАСА КОТЛА ПОДВЕСНОГО ТИПА ЛИНЕЙНО-СПЕКТРАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

1. В качестве примера приводится расчет каркаса подвесного котла ТГМП-344 без горизонтальных связей между корпусом котла и каркасом.

2. Горизонтальное сейсмическое воздействие задано спектром ответа восьмибалльного землетрясения в Бухаресте ($\ddot{\psi}$=216 см/с²), приведенного на черт. 2. Направление сейсмического воздействия принимается вдоль боковой стены котла.

3. Расчетная динамическая модель представлена на черт. 3. В соответствии с рекомендациями РТМ массы сведены в узлы 2, 3, 4, 10 и 9 расчетной модели. Значения масс даны в табл. 20.

Таблица 20

Номер массы	Номер узла	Величина приведенной массы, кгс²/см
1	2	200
2	3	212
3	4	212
4	10	212
5	9	448,5

4. Инерционные характеристики корпуса котла (узел приведения 52 — центр тяжести котла):

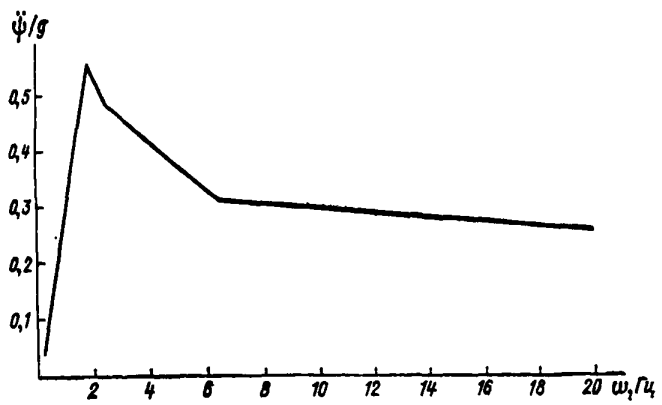
масса M_6=4954 кгс²/см;

массовый момент инерции $M_7=0{,}33\cdot10^{10}$ кгс²·см.

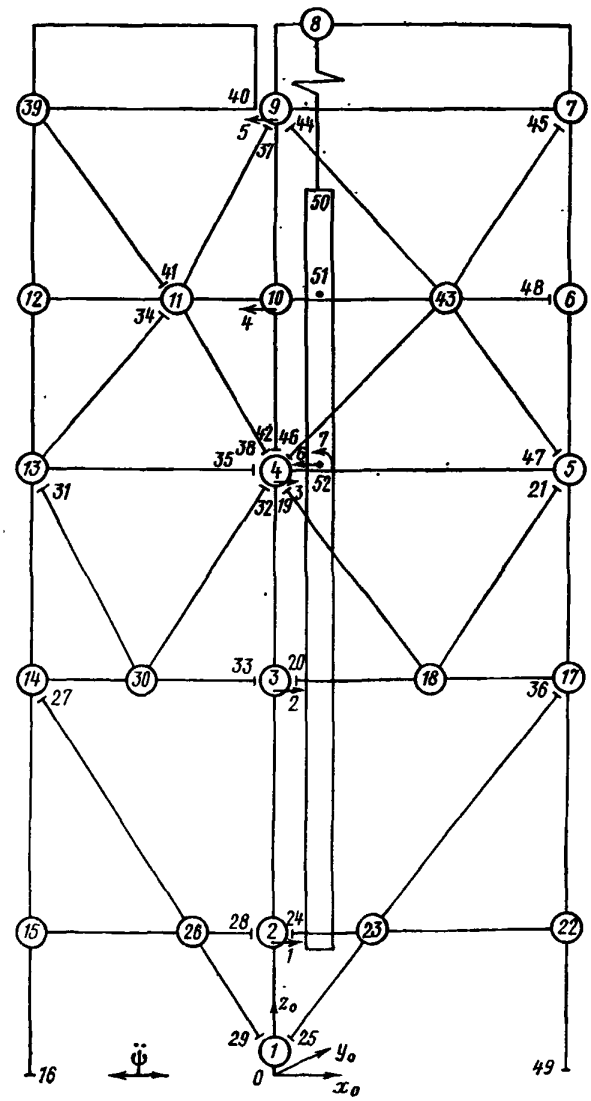
5. С учетом геометрических и жесткостных характеристик подвесок и на основании рекомендаций РТМ были определены реакции пружин условных подвесок при единичных смещениях в направлении x и угле поворота относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести котла,

C_x=5649,7 кгс/см;

$C_\varphi=2\cdot10^{12}$ кгс·см.



Черт. 2



Черт. 3

6. Расчет сооружения производился по программе STADIAS.

7. В результате расчета были получены следующие значения собственных частот сооружения:

$$P_1=0{,}16 \text{ Гц}; \; P_2=1{,}95 \text{ Гц}; \; P_3=2{,}6 \text{ Гц};$$

$$P_4=6{,}6 \text{ Гц}; \; P_5=7{,}7 \text{ Гц}; \; P_6=10{,}8 \text{ Гц}; \; P_7=14{,}8 \text{ Гц}.$$

8. Результаты вычислений сейсмических нагрузок, соответствующих обобщенным координатам (см. черт. 3), приведены в табл. 21. (Величины нагрузок даны в т и тм).

Таблица 21

Номер формы колебаний	Номер обобщенной координаты						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0,023	0,171	0,260	0,315	0,832	218,4	3,98
2	8,0	54,8	80,3	98,5	248,3	—16,2	—3114
3	1,3	7,3	11,4	10,7	27,0	—2,7	2776
4	22,2	32,8	21,6	9,5	—40,7	—0,148	—57
5	33,2	—7,6	—9,8	—6,4	13,4	—0,03	10,6

9. Результаты вычислений перемещений (в см и рад) сосредоточенных масс каркаса и котла приведены в табл. 22.

Таблица 22

Номер формы колебаний	Номер обобщенной координаты						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0,11	0,74	1,12	1,36	1,7	40,5	0,00011
2	0,27	1,72	2,52	3,1	3,7	—0,02	—0,00063
3	0,025	0,13	0,2	0,19	0,23	—0,002	0,00032
4	0,064	0,09	0,06	0,026	—0,052	0,0	—0,000001
5	0,071	—0,015	—0,02	—0,013	0,013	0,0	0,0000014

10. Горизонтальная нагрузка на каркас от котла, передаваемая через подвески $S_г=219$ т.

11. В результате расчета были получены следующие напряжения в элементах конструкции каркаса от действия заданного сейсмического воздействия:

в раскосных связях первого и второго этажа максимальные растягивающие напряжения 765 кгс/см²;

в раскосных связях остальных этажей растягивающие напряжения не превышали 665 кгс/см²;

в ригелях $\sigma_{изг}^{max}=765$ кгс/см² при $\sigma_{сж}=65$ кгс/см² и $\sigma_{изг}=50$ кгс/см² при $\sigma_{сж}=600$ кгс/см²;

в колоннах $\sigma_{изг}=230$ кгс/см².

ПРИМЕР 3. РАСЧЕТ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА (МДА)

1. Данный пример иллюстрирует расчет по МДА, в котором учитываются нелинейные характеристики элементов.

2. Целью расчета является определение сейсмических сил, действующих на каркас при раскреплении котла упруго-пластическими амортизаторами.

3. Расчет производится на горизонтальное сейсмическое воздействие. В качестве расчетного воздействия задана акселерограмма землетрясения в Эль-Центро, приведенная к интенсивности 8 баллов.

4. Исходные данные:

Масса подвешенной части . . . . . $13{,}5\cdot10^6$ кгс

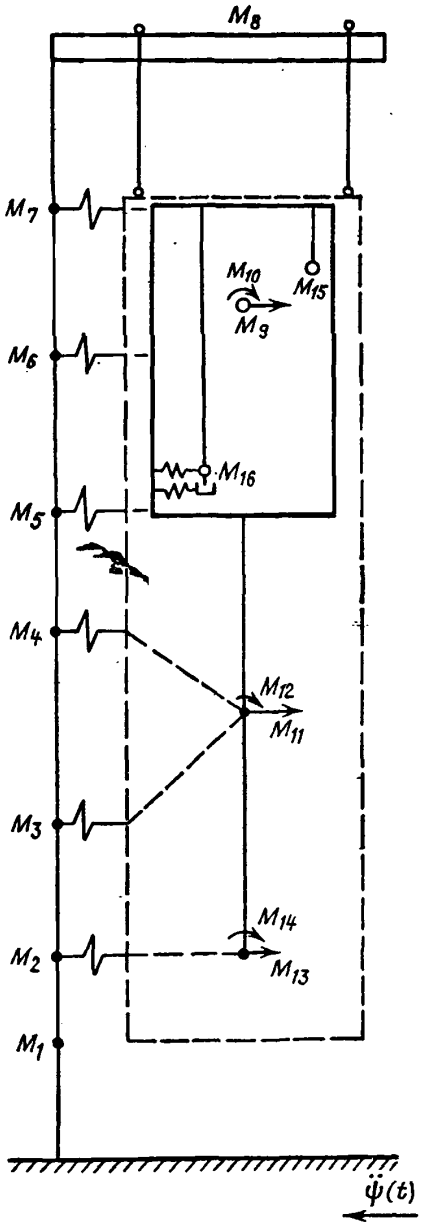
Момент инерции котла относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести . . . . . $2{,}74\cdot10^{12}$ кгс/см²

Длина подвесок . . . . . 14 м

Декремент колебаний элементов каркаса 0,125

Максимальная реакция упруго-пластического амортизатора 45 тс (жесткость 30 000 кгс/см и предельная упругая деформация 1,5 см).

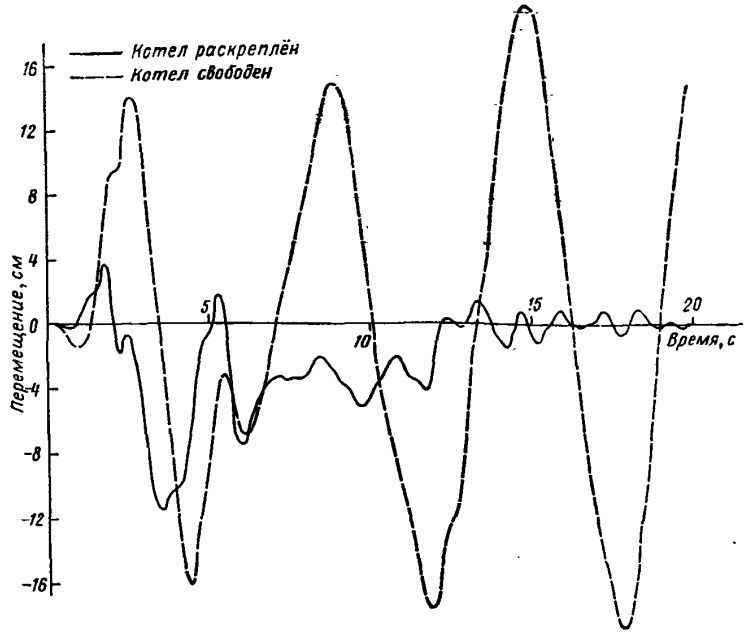
5. Рассматривается плоская динамическая модель (рис. 4). Приведенные массовые и жесткостные характеристики каркаса указаны в табл. 23.



Черт. 4

Таблица 23

Номер этажа	Отметка, м	Масса, кгс	Жесткость, кгс/см
1	10	$401 \cdot 10^4$	$47 \cdot 10^6$
2	17	$390 \cdot 10^4$	$127 \cdot 10^6$
3	28	$535 \cdot 10^4$	$34 \cdot 10^6$
4	44	$680 \cdot 10^4$	$12 \cdot 10^6$
5	54	$321 \cdot 10^4$	$55 \cdot 10^6$
6	67	$234 \cdot 10^4$	$16 \cdot 10^6$
7	80	$209 \cdot 10^4$	$14 \cdot 10^6$
8	92	$584 \cdot 10^4$	$25 \cdot 10^6$



Черт. 5

Амортизаторы располагаются по одному на каждой стене котла на отметке раскрепления, при этом нагрузка на каждый ярус при максимальной упругой деформации амортизатора 90 000 кг в одном направлении.

При выборе динамической модели не учитывается жесткость трубопроводов и газоходов, массы фундамента, упругие диссипативные свойства грунта.

6. Расчет проводился по программе «СЕЙСМ-180» (НПО ЦКТИ). На черт. 5 показано изменение характера колебаний котла при расчете по акселерограмме землетрясения Эль-Центро для случая свободно подвешенного и раскрепленного котла.

В табл. 24 приведены значения максимальной деформации этажей и нагрузки от котла на каркас для двух вариантов расчета.

Таблица 24

Номер этажа	Свободный котел		Раскрепленный котел	
	деформация, мм	нагрузка, т	деформация, мм	нагрузка, т
1	3,8	—	3,1	—
2	9,1	—	7,4	90
3	9,4	—	7,5	90
4	3,1	—	2,4	90
5	17,1	—	13,5	90
6	6,8	—	5,2	90
7	1,9	—	1,5	90
8	5,5	260	4,2	174

7. Анализ полученных результатов показывает, что использование упруго-пластических амортизаторов снижает амплитуду колебаний котла, а также исключает возможность раскачки корпуса (см. черт. 5).

Из табл. 24 видно также, что при раскреплении котла уменьшается деформация этажей каркаса, однако при этом приблизительно в 2,6 раза возрастают сейсмические нагрузки на элементы котла (ускорение свободно подвешенного котла 20 см/с^2, раскрепленного котла 52 см/с^2).

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКУМЕНТОВ, НА КОТОРЫЕ ДАНЫ ССЫЛКИ В ТЕКСТЕ РТМ

Обозначение документа	Наименование документа	Номер пункта РТМ
ОСТ 108.031.107—78	Котлы паровые стационарные. Стальные конструкции. Нормы нагрузок на каркасы	1.1; 1.2; 1.8; приложение 6
СНиП II-23-81	Нормы проектирования. Стальные конструкции	4.1; 4.2; 4.3; 4.4; 4.12; 4.13; 4.15; приложение 2, п. 1.6
СНиП II-7-81	Нормы проектирования. Строительство в сейсмических районах	4.2; 4.5; 4.9; приложение 1, пп. 3.8; 3.11; 3.12
СНиП II-6-74	Нормы проектирования. Нагрузки и воздействия	Приложение 3, пп. 1; 5
	Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра	Приложение 3, п. 2, таблица

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения 1
2. Расчетная схема 2
3. Динамическая модель сооружения каркас — котел 3
4. Проверка несущей способности каркаса и его элементов 3
Приложение 1. Определение сейсмических нагрузок 6
Приложение 2. Методы поверочного расчета сейсмостойкости каркасов . . . 12
Приложение 3. Рекомендации по определению ветровых нагрузок на каркасы котлов 15
Приложение 4. Пример построения расчетной схемы каркаса 17
Приложение 5. Пример разработки эквивалента фермы жесткости 23
Приложение 6. Пример построения динамической модели 27
Приложение 7. Пример расчета каркаса котла по программе «Конструкция» . . 30
Приложение 8. Примеры определения сейсмических нагрузок 39

Редактор *Г. Д. Семенова.*

Технический редактор *Н. П. Белянина.* Корректор *А. Н. Крупенева.*

Сдано в набор 21.03.84. Подписано к печ. 16.10.84. Формат бум. 60×90 1/8.
Объем 6 1/2 печ. л. Тираж 200. Заказ 235. Цена 1 р. 30 к.

Редакционно-издательский отдел НПО ЦКТИ.
194021, Ленинград, Политехническая ул., д. 24.

Группа Г21

ИЗМЕНЕНИЕ № I

РТМ 108.031.09-83

КАРКАСЫ СТАЛЬНЫЕ ПАРОВЫХ СТАЦИОНАРНЫХ КОТЛОВ. НОРМЫ РАСЧЕТА

Утверждено и введено в действие указанием Министерства тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения от 28.12.87 № ВА-002-1/5843

Дата введения 01.07.88

На первой странице руководящего технического материала заменить срок окончания действия 01.07.88 на 01.07.93.

Пункт 4.3 изложить в новой редакции:

"4.3.Марки стали для металлоконструкций,расчетные характеристики материалов и соединений следует принимать по СНиП II-23-81".

Пункт 4.4 изложить в новой редакции:

"4.4.По степени ответственности и условиям эксплуатации стальные конструкции паровых стационарных котлов распределяются по группам классификации СНиП II-23-81:

Группа 2:несущие элементы каркаса и потолочного перекрытия,ответственные расчетные элементы,фасонки ферм;

Группа 3:другие расчетные элементы,в том числе пояса жесткости, элементы обшивки и бункера;

Группа 4:помосты,настилы,лестницы,кронштейны и ограждения площадок,второстепенные и нерасчетные элементы".

Пункт 4.I6 изложить в новой редакции:

"4.I6.Перемещения каркаса котла от нормативных нагрузок не должны превышать по колоннам в горизонтальном направлении на высоте от обреза фундамента и поэтажно значений:

для котлов производительностью до 800 т/ч и высотой каркаса менее 50 м - H/400;

для всех остальных котлов - H/500;

(H - высота от обреза фундамента или высота этажа).

При сейсмических воздействиях значения допустимых перемещений каркаса могут быть увеличены в горизонтальном направлении соответственно до H/300 и H/400".

Пункт 4.I7.После слов "в горизонтальном направлении от" заменить слово "расчетных" на "нормативных".

Пункт 4.I8.Первый абзац изложить в новой редакции:

"Относительные прогибы элементов каркаса котла от нормативных нагрузок не должны превышать:".

Приложение I.Пункт 3.I0.Последнее уравнение системы заменить:

$$C_{\varphi 1}X_1 + \ldots + C_{\varphi n}X + C_{\varphi c}X_c + (C_{\varphi\varphi} - \theta\omega^2)\varphi = 0$$

на

$$C_{\varphi 1}X_1 + \ldots + C_{\varphi n}X_n + C_{\varphi c}X_c + (C_{\varphi\varphi} - \theta\omega^2)X_\varphi = 0.$$

Формулу коэффициента C_{cc} заменить: $C_{cc} = Q/(l_n + \sum_{e=1}^{n} C_{oe})$

на $C_{cc} = \frac{Q}{l_n} + \sum_{e=1}^{n} C_{oe}$.

Формулу коэффициента $C_{\varphi\varphi}$ заменить:

$$C_{\varphi\varphi} = Q\frac{l}{l_n}(l + l_n) + C_\varphi + \sum_{e=1}^{4} C_{oe}(l_n - l)^2$$

на

$$C_{\varphi\varphi} = Q\frac{l}{l_n}(l + l_n) + C_\varphi + \sum_{e=1}^{4} C_{oe}(l_e - l)^2.$$

Пункт 4.3 изложить в новой редакции:

"4.3.Частоту колебаний подвешенной конструкции допускается определять по формуле

$$\omega = \sqrt{\frac{C}{M_k + m_n}},$$

где C - суммарная жесткость пружин условных подвесок:

$$C = \sum_j C_{\varphi j}$$

Приложение 8.Пункт 2.5.

Выражение для определения ω_k заменить новым:

$$\omega_k = \sqrt{\frac{1}{y_n \cdot M_k}} = \sqrt{\frac{1}{8.77 \cdot 10^{-5} \cdot 71.9344}} = 12.59\ \%$$

Ротапринт. НПО ЦКТИ. Тираж 200. Заказ 380 1988 г.

gost.e-ecolog.ru