Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский и проектный институт строительных металлоконструкций им. Н.П.Мельникова

ЦНИИПСК
ИМ. МЕЛЬНИКОВА

STAKO

УТВЕРЖДАЮ:
Директор института
д т н член корр МИА
В В Ларионов
" сентября 1998г

Руководство по проектированию стальных конструкций объектов комплексов доменных печей большого объема

Р–001–98
ОЛК–2.62143

Зам директора института, к т н		Г П Кандаков
Начальник ОЭМ, д т н		В М Горицкий
Начальник ОЛК инж		О В Фризен
Ведущий инженер Патентной службы		О Г Изосимова

Москва, 1998 г.

gost.e-ecolog.ru

Аннотация

Данное "Руководство по проектированию стальных конструкций объектов комплексов доменных печей большого объема" ($\frac{Р-001-98}{ОЛК-2\ 62143}$) выполнено ЦНИИПСК им Мельникова и является переработанным изданием документа " Руководство по расчету стальных конструкций доменной печи большого объема", выполненного институтом в 1975 году

"Руководство " состоит из восьми разделов и 4-х приложений

Разделы 1,2,3, ранее разработанные к т н Миллером В Я, переработаны д т н Горицким В М и к т н Кандаковым Г П. Раздел 4 ,разработанный к т н Кандаковым Г П с участием к т н Миллера В Я и к т н Сорокина Л А остался без изменений В раздел 5 разработанный к т н Миллером В Я при участии к т н Тарасова И Б внесены отдельные изменения, связанные с изменением строительных норм и правил В раздел 6 ранее разработанный к т н Тарасовым И Б и инж Пецкой В Ф при участии к т н Миллера В Я, (где подраздел "Расчет на малоцикловую усталость кожуха воздухонагревателя" разработан на основе методики д т н Ларионова В В) внесены изменения в части условных обозначений и изменена рубрикация

Раздел 7 разработан

а) подраздел" Расчет доменных печей"-к.т н.Сорокиным Л А с участием к т н Кандакова Г П ,

б) подраздел "Расчет воздухонагревателей"- к т н Кандаковым Г П на основе "Руководства по расчету воздухонагревателей доменных печей, выполненного авторским коллективом в составе к.т н Сорокина Л А, к т н Горшкова А А., к.т н Кандакова Г П , и инж Лаута М Я,

в) подраздел "Расчет воздухопроводов горячего дутья"- к.т н Кандаковым Г.П ,

г) подраздел "Учет краевого эффекта" - к т н Горшковым А.А

В разделе изменены некоторые условные обозначения и устранены неточности первого издания

Раздел 8 разработанный к т н .Миллером В Я. при участии инж.Пецки В Ф и к т н Тарасова И Б не перерабатывался

Редакторская работа второго издания "Руководства " выполнена вед инженером Изосимовой О Г , общая компоновка материалов "Руководства " с учетом внесенных изменений проверена инж Фризеным О В

Общая редакция выполнена к т н Кандаковым Г П

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие указания.....1-1

2. Материалы и сварка.....2-1

3.Расчетные характеристики стали.....3-1

4.Расчетные характеристики материалов футеровки.....4-1

5. Основные расчетные положения.....5-1

Принятые обозначения 5-1
Характеристика нагрузок 5-2
Расчетные коэффициенты 5-13

6. Расчет стальных конструкций.....6-1

Принятые обозначения. 6-1
Прочность листовых конструкций без учета местных воздействий . . 6-2
Проверка устойчивости оболочек вращения. . . . 6-7
Прочность листовых конструкций в местах возникновения местных возмущений .. . 6-11
Температурные воздействия на листовые конструкции . 6-23
Нагружение цилиндрической оболочки локальными нагрузками 6-25
Концентрация напряжений в зоне отверстий . 6-32
Расчет на малоцикловую усталость кожуха воздухонагревателя 6-36

7. Расчет футерованных конструкций.....7-1

Принятые обозначения . 7-1
Общие данные 7-2
Расчет доменны печей. . . . 7-3
Расчет воздухонагревателей. 7-12
Расчет воздухопроводов горячего дутья . 7-21
Учет краевого эффекта . . 7-27

8. Указания по конструированию.....8-1

Общие положения . . 8-1
Собственно доменная печь 8-2
Воздухонагреватели, пылеуловители и газовозпроводы 8-3
Наклонный мост . . 8-4
Здания комплекса 8-5
Лифт 8-6
Требования к технологическим конструкциям 8-6

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 Таблицы коэффициентов и физико-механические свойства материалов футеровки
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 Расчетные формулы и графики для определения краевых напряжений
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 Расчет осесимметричных оболочек вращения
ПРИЛОЖЕНИЕ 4 Антикоррозионная защита конструкций зданий и сооружений центрального узла доменной печи

1.Общие указания.

1 1 Положения настоящего "Руководства " распространяются на проектирование стальных конструкций доменных цехов, с объемом печей 1000 м^3 и выше

1 2. Настоящее "Руководство " составлено в качестве дополнения к СНиП -II-23-81* и СНиП " Нагрузки и воздействия" для учета особенностей работы стальных конструкций комплексов доменных печей

1 3 Положения настоящего "Руководства. " распространяются на стальные конструкции следующих сооружений и зданий комплексов доменных печей

Сооружения комплекса

а) Листовые конструкции

- Кожухи доменных печей, воздухонагревателей и пылеуловителей
- Трубопроводы для транспортировки воздуха и газа
- Конвейерные галереи трубчатого поперечного сечения
- Стволы лифтов трубчатой конструкции

б) Стержневые конструкции

- Колонны печи, пылеуловителей, газопроводов и т п
- Конструкции колошниковых устройств
- Наклонные мосты и монтажные балки с решетчатыми фермами
- Конструкции, несущие шкивы.
- Лифты каркасной конструкции
- Опоры монтажных балок.
- Опоры свечей для постановки печей на тягу

в) Сплошностенчатые конструкции

- Наклонные мосты и монтажные балки со сплошностенчатыми главными балками

Здания

- Литейный двор
- Здания воздухонагревателей
- Здание колошникового подъемника
- Здание лебедок пылеуловителей.

2. Материалы и сварка

2 1 Для кожухов доменных печей применять сталь марок

а) 09Г2МФБ в нормализованном состоянии по ТУ 14-1-4473-88 в толщинах от 30 до 60 мм с гарантией качества стали по результатам испытаний образцов типа Шарпи при температуре -20°С,

б) 09Г2СЮЧ в нормализованном состоянии (с последующим отпуском) по ТУ 14-1-5065-91 в толщинах от 20 до 60 мм с гарантией качества стали по результатам испытаний образцов типа Шарпи при температуре -20°С,

в) для неохлаждаемых зон кожуха 09Г2С в нормализованном состоянии в толщинах от 10 до 60 мм при условии заказа листовой стали категории 9 (гарантия ударной вязкости на образцах типа Шарпи при температуре - 20°С) по ГОСТ 19281-89,

для охлаждаемых зон кожуха сталь 09Г2С в нормализованном состоянии в толщинах от 10 до 60 мм при условии заказа листовой стали с гарантией качества металла на образцах типа Шарпи при температуре испытания -40°С Возможна замена на сталь 9 категории по ГОСТ 19281-89 при условии содержания фосфора не более 0,020% по массе,

г) 14Г2АФ-12 класса прочности С375 и С390 или 16Г2АФ-12 С390 в нормализованном состоянии по ГОСТ 19281-89 в толщинах от 20 до 50 мм (для кожухов доменных печей объемом 4500 $м^3$ и более),

д)16Г2АФ-ЭШП электрошлакового переплава в толщинах от 30 до70 мм по ТУ-14-1-1779-76

Для сталей С 390 в толщинах от 15 до 70 мм рекомендуется дополнительно проводить оценку качества стали на образцах типа Шарпи при -20°С Уровень ударной вязкости регламентируется требованиями 5 категории качества стали по ГОСТ 19281-89

При изготовлении кожуха из стали 09Г2СЮЧ к металлу в районе леток предъявляется дополнительное требование по гарантии качества на образцах типа Шарпи при температуре -40°С

Для участков кожуха в районе чугунных и шлаковых леток, где возможен нагрев поверхности металла до 300°С и выше, следует применять стали 15 категории При использовании для кожухов доменных печей сталей 09Г2С, 14Г2АФ, 16Г2АФ и 09Г2СЮЧ допускается изготовление кожухов в районе леток проводить из стали 09Г2МФБ с повышенным сопротивлением тепловому охрупчиванию

2 2 Для кожухов воздухонагревателей, воздухопроводов горячего и холодного дутья, работающих под высоким давлением при переменных нагрузках и имеющих значительные температурные деформации, следует применять сталь марки 09Г2СЮЧ по ТУ 14-1-5065-91 Допускается применение стали марки 09Г2С-15 по ГОСТ 19281-89 при условии аттестации качества стали на образцах типа Шарпи по ГОСТ 9454-78 с обеспечением ударной вязкости не менее 29 Дж/$см^2$

В связи с переменными нагрузками от внутреннего давления сварка кожухов воздухонагревателей электрошлаковым способом без применения дополнительных мероприятий по измельчению зерна первичной кристаллизации не допускается Оценку качества металла сварного шва осуществлять на образцах типа Шарпи в не менее, чем двух зонах сварного шва (в срединной и приповерхностных зонах)

2 3 Для кожухов пылеуловителей, газопроводов грязного газа, включая вертикальный и нисходящий участки, применять сталь марок

а) Вст3сп5 и Вст3сп9 по ГОСТ 380-88 при толщинах от 10 до 25 мм,

б) 10Г2С1-12 по ГОСТ 19281-89 при толщинах от 10 до 40 мм,

в) 10Г2С1-9 по ГОСТ 19281-89 при толщинах от 4 мм до 10 мм,

г) 09Г2С-12 по ГОСТ 19281-89 при толщинах от 10 до 40 мм,

д) 09Г2С-9 по ГОСТ 19281-89 при толщинах от 4 до 10 мм,

е) 09Г2СЮЧ по ТУ 14-1-5065-91 в нормализованном состоянии в толщинах от 10 до 20 мм и в нормализованном и отпущенном состоянии в толщинах от 20 до 32 мм (в заказе на поставку листового проката указывать на использование при оценке качества стали образцов типа Шарпи)

2 4 Для колонн доменной печи и пылеуловителя применять сталь марок

а) Вст3сп5 по ГОСТ 380-88 при толщинах до 25 мм,

б) 09Г2С-4 по ГОСТ 19281-89 при толщинах от 10 до 160 мм,

в) 14Г2АФ-4 по ГОСТ 19281-89 при толщинах от 10 до 50 мм,

г) 16Г2АФ-9 и 14Г2АФ-9 по ГОСТ 19281-89 при толщинах от 32 до 50 мм

2 5 Марка стали для других конструкций определяется согласно СНиП II-23-81

При этом конструкции относятся к следующим группам

а) главные, поперечные и подрельсовые балки наклонного моста, подбалансирные балки колошникового устройства, подкрановые балки - I группа,

б) рамы колошникового устройства доменной печи, монтажная балка с опорами, пилоны наклонных мостов, подшкиновые устройства, конвейерные галереи шихтоподачи с опорами, элементы решеток, перечисленных конструкций, работающих на переменную нагрузку и другие конструкции под подвижную нагрузку- II группа,

в) перепусной трубопровод, труба взятия печи на тягу с опорой, цилиндрический и решетчатый стволы лифта, главные балки площадок колошникового устройства (кроме перечисленных п б), главные балки площадок печи, колошниковой площадки, рабочих площадок литейного двора, пылеуловителей и воздухонагревателей, рамы литейного двора, здания воздухонагревателей и здания колошникового подъемника, расчетные элементы решеток, обеспечивающие пространственную неизменяемость сооружений II группа;

г) вентиляционные трубопроводы, воздухопроводы охлаждения лещади, дымовые борова и пр газопроводы, работающие с давлением не более 0,1 кгс/см^2- IV группа,

д) остальные конструкции комплекса доменной печи определяются по группам согласно СНиП П-23-81 табл 50 приложения 1

2 6 Для футеровочных листов (брони) - сталь 30Г2 по ГОСТ 1577-81, сталь 35ХГ2 или сталь 30ХГС по ГОСТ 4543-71 Для вальцованной брони листы должны предварительно подвергаться термической обработке Допускается также применение литой брони, поставляемой по особым техническим условиям на изготовление доменного оборудования и вальцованной брони из стали марки ВСт4кп по ГОСТ 380-88, при этом толщина брони принимается увеличенной на 25% по сравнению с толщинами листов указанных выше марок сталей

2 7 Компенсаторы воздухонагревателей и воздухопроводов горячего и холодного дутья, работающие при высоком переменном давлении, изготавливаются из стали марки 10ХСНД по ГОСТ 19281-89, причем изделие должно обязательно пройти термообработку после изготовления Материалы и технология сварки должны обеспечивать механические показатели сварных соединений не ниже, чем в основном металле Для аттестации качества металла следует использовать образцы типа Шарпи, при этом нормирование ударной вязкости проводится для стали класса прочности 440 по ГОСТ 19281-89 Качество сварных соединений проверяется физическими методами контроля просвечиванием рентгено- или гамма-лучами и ультразвуковому методом

2 8 При изготовлении и монтаже конструкций следует широко применять механизированные способы сварки, автоматическую на заводе-изготовителе (в том числе и для укрупнения листовых конструкций) и электрошлаковую с порошковыми присадочными материалами на монтаже для сварки кожухов доменных печей Допускается применение и других видов сварки при условии, что ударная вязкость металла сварного шва и зоны термического влияния на образцах типа Шарпи при минимальной температуре эксплуатации кожуха будет не менее 29 Дж/см^2

3.Расчетные характеристики стали.

3 1 В случае двухосного напряженного состояния стали, ее расчетные сопротивления (вне зоны краевого эффекта) следует умножить на коэффициент согласно графику, помещенному на рис 3 1.

$$R_м = K_м \cdot R, \qquad (3\ 1)$$

где $K_м = \dfrac{1}{\sqrt{1-\eta+\eta^2}}$ при изменении значения η в пределах $1 \geq \eta = \dfrac{\sigma_1}{\sigma_2} \geq -1,$

σ_1 и σ_2 - соответственно меньшее и большее (по абсолютному значению) главные напряжения, равные для плоско-напряженного состояния, при отсутствии изгибных напряжений, осевым (меридиональным и кольцевым) напряжениям

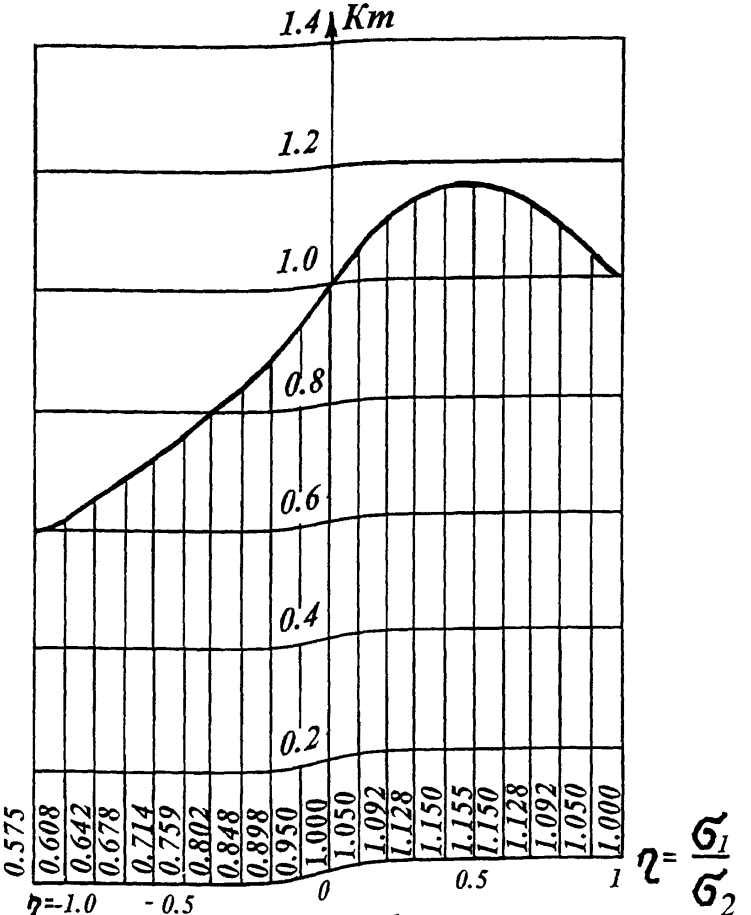


Рис.3.1

4. РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ ФУТЕРОВКИ

4 1 Проектирование футерованных кожухов сосудов и оболочек трубопроводов производится с учетом их совместной работы с футеровкой (см раздел 7)

4.2 Требуемые для расчета характеристики физико-механических свойств материалов футеровки (кладки, засыпки., набойки), термическое воздействие которых учитывается при проектировании стальных конструкций, приведено в приложении 1

Примечание: *Для расчета печей, работающих на шихте с примесью цинка, указанные в приложении 1 характеристики материалов футеровки не применимы, так как они изменяются под воздействием проникающих в кладку паров цинка*

5. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Принятые обозначения

$V_ш$ -объем , занимаемый шихтой выше уровня приложения нагрузки,

$V_{ск}$ -полезный объем скипа, равный 0,9 его геометрического объема,

G -масса скипа,

T -усилие в скиповом тросе, возникающее при подъеме скипа,

$T_н$ -усилие в скиповом тросе, развиваемое лебедкой при максимально возможной перегрузке ее электродвигателя,

$T_к^x, T_к^y$ -проекция натяжения в конусном тросе соответственно на оси x и y,

T_{max} -натяжение в конусном тросе, возникающее в момент остановки падающего конуса с шихтой, равное массе контргруза, умноженному на динамический коэффициент,

$T_н^x, T_н^y$ -проекции усилия в конусном тросе, развиваемое лебедкой при максимально возможной перегрузке ее электродвигателя, на оси x и y, причем величина $T_н$ не должна превышать величины натяжения троса, соответствующего усилию P_0 в штанге ,

T_0^x, T_0^y -проекции первоначального натяжения конусного троса $T_к$=0÷1,5 т соответственно на горизонтальную и вертикальную оси,

$P_{к1}, P_{к2}$ -давление соответственно на переднюю и заднюю оси скипа,

P_1 -усилие в штанге конуса, уравновешивающее контргрузы;

P_2 -усилие в штанге конуса от массы конуса, шихты и штанги,

P_3 -усилие в штанге конуса от массы конуса и штанги,

P_4 -усилие в штанге конуса, уравновешивающее контргруз без учета натяжения троса,

P_1' -усилие в штанге конуса, уравновешивающее балансир с контргрузом (с учетом натяжения троса)

P_0 -максимальная несущая способность штанги конуса при ее работе на сжатие,

Q -масса рычага и контргруза балансира,

$Q_б$ -масса дополнительного груза на рычаге,

$Q_к$ -масса контргруза,

$Q_с$ -масса рычага балансира,

H -сила сопротивления, приложения на уровне головки рельса,

$H_б$ -горизонтальная реакция оси балансиров,

E -неуравновешенная составляющая, действующая параллельно рельсу,

$T_{тр}$ -модуль упругости троса в т/м^2,

$F_{тр}$ -площадь сечения троса в м^2

$R_в$ -вертикальная реакция оси балансиров,

γ -масса единицы объема материала,

K_c -динамический коэффициент,

g -ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/сек^2

$f_{ст}$ -*статическая деформация троса под воздействием подвешенного к нему контргруза*,

$\upsilon_в$ -послеударная скорость контргруза в м/сек,

"O","O^*" -основное сочетание нагрузок (см СНиП "Нагрузки и воздействия")

"O_c"-особое сочетание нагрузок

Характеристика нагрузок

5 1 Расчет конструкции производится по предельным состояниям в соответствии с действующими нормами проектирования стальных конструкций и дополнительными требованиями, учитывающими особенности работы сооружений комплекса Учитывая специфичность ряда нагрузок и воздействий комплекса, проводится их классификация согласно СНиП "Нагрузки и воздействия"

К временным длительным нагрузкам относятся масса стационарного оборудования (включая обычные динамические воздействия и торможение), массы атмосферных осадков и отложений (пыль, конденсат и т д), давление обычной интенсивности от газов, жидкостей и сыпучих материалов, влияние эксплуатационной температуры при нормальной работе сооружения с учетом температуры замыкания конструкций при монтаже

К кратковременным относятся нерегулярно возникающие временные нагрузки (повышенное воздействие временных нагрузок на рабочих площадках при ремонтах, возможное кратковременное увеличение динамических нагрузок, возникающих при нормальной работе оборудования, динамические нагрузки, возникающие при пуске оборудования с длительным циклом действия), отклонения в давлении сыпучих материалов, жидкостей. газов и т д , временные нагрузки, возникающие при строительстве или ремонте сооружений и при их испытании, нерегулярные отклонения эксплуатационной температуры

К особым относятся нерегулярно возникающие нагрузки, имеющие аварийный характер или возникающие при нарушении режимов работы (застревание и обрыв скипов, аварийное динамическое воздействие конусов и балансиров и другие аварии оборудования), временные случайные нагрузки, возникающие при монтаже, давления сыпучих материалов, жидкостей и газов, возникающие при нарушении нормального режима эксплуатации (прекращение удаления пыли из пылеуловителей, значительное отложение конденсата в газопроводах, засорение водоотводников, обвалы, взрывы) температурные нагрузки, возникающие в результате разрушения футеровки, холодильников и т д , сейсмические нагрузки

При определении расчетных напряжений следует учитывать одновременно воздействие только одной особой нагрузки В остальном при определении нагрузок и их сочетаний следует руководствоваться положениями СНиП "Нагрузки и воздействия" При расчете воздухонагревателей и других сооружений, подверженных переменному воздействию внутреннего давления, следует учитывать продолжительность эксплуатации сооружений и частоту изменения количества циклов в сутки согласно заданию технологической организации

5 2 Величины нагрузок. Величины нагрузок принимаются, как правило, по техническим заданиям технологических организаций Ниже приводятся данные по отдельным видам нагрузок, которые принимаются в проектировании при отсутствии специальных указаний

а) масса оборудования - согласно заданиям технологической проектной организации (временная длительная),

б) нормативные нагрузки для газовоздухопроводов

В газопроводах грязного газа нагрузка от отложений пыли внутри трубопроводов (условно включая массы наружного обледенения) в пределах углов наклона трубопровода к горизонту от 0^0 до 20^0 принимается по таблице 5 1, а при угле наклона 40^0 и более -в размере 10% от максимальной нагрузки Величина нагрузки при промежуточных значениях угла наклона обычно принимается по интерполяции В случае возможности отложения цинкита величина нагрузки принимается по соответствующему заданию

Таблица 5 1

Наименование конструкции	Заполнение(кратковременная нагрузка в % от площади поперечного сечения газопровода)	Примечание
1	2	3
Горизонтальный газоотвод грязного газа (одна труба)	40	При расчете собственно трубы и опор под нее
Две и более трубы		
для большей трубы	40	При расчете общих опор
для остальных труб	24	То же

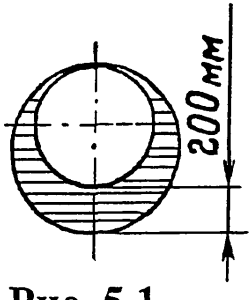


Рис. 5.1

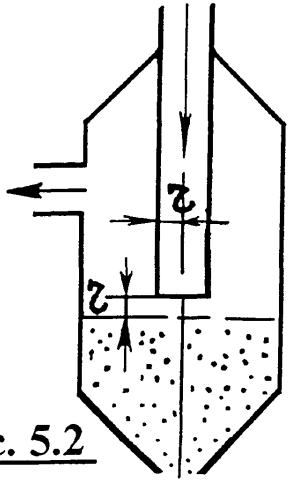


Рис. 5.2

Для газопроводов получистого газа нагрузка от всех отложений принимается в половинном размере сравнительно с нагрузками для соответствующих газопроводов грязного газа, но с тем, чтобы эта нагрузка была бы не менее, чем для газопровода чистого газа соответствующего диаметра по таблице 5 2

Таблица 5 2

Горизонтальный газопровод чистого газа (диаметр труб в мм)	Заполнение (кратковременная нагрузка в % от площади поперечного сечения газопровода	Примечание	Горизонтальный газопровод чистого газа (диаметр труб в мм)	Заполнение (кратковременная нагрузка в % от площади поперечного сечения газопровода	Примечание
1	2	3	1	2	3
1 Одна труба			2200	15 5	При расчете собственно труб и опор под нее
500 и менее	70	При расчете собственно труб и опор под нее	2400	14	
600	62		2600	12 5	
700	55		2800	12	
800	46		3000	11	
900	40		3200	10 5	
1000	35		3500	10	
1100	31		Две трубы и более	Для большей трубы заполнение принимается по предыд пункту таблицы, для остальных в половинном размере	При расчете общих опор
1200	28				
1300	25				
1400	23				
1500	21				
1600	20				
1800	18				
2000	17				

В газопроводах чистого газа нагрузка от отложений конденсата внутри труб (условно включая и массу наружного обледенения) в пределах углов наклона трубопровода к горизонту от 0^0 до 10^0 принимается максимальной по таблице 5 2, а при угле наклона 40^0 и более - в размере 10% от максимальной При промежуточных значениях угла наклона нагрузка исчисляется по интерполяции

При этом для отдельных приподнятых участков газопровода, из которых обеспечено стекание конденсата, нагрузку можно принимать в половинном размере, а для отдельных пониженных участков, в которые возможен сток, нагрузка увеличивается на 40%

Величины нагрузок в таблице 5 2 приведены для случая, когда расстояние от точки, соответствующей верхнему уровню трубы, до ближайшего водоотвода не превышает 100 м и при уклоне газопровода не < 0 005

Нагрузка от наружного обледенения для воздухопроводов горячего и холодного дутья не учитывается, для вентиляционного воздухопровода ее величина принимается по рис 5 1 (кратковременная)

В случае укладки на одних опорах нескольких трубопроводов различного назначения, суммарная нагрузка на опоры от них принимается для более тяжелой - максимальной, для остальных - минимальной

в) Нормативные массы материалов и заполнений принимаются по таблице 5 3

Таблица 5 3

Материалы	Масса единицы объема материала в кг/м^3
1	2
Асбестовый картон	800–1200
Асбест распущенный	340
Асбестовермикулит	300
Бетон огнеупорный	1600-1900
Динас	1950
Динасовый легковес	1200
Кирпич огнеупорный в кладке	
шамотный класса А	2100
шамотный класса В	1900
шамот легковес	800-1100
мулитовый МКО-72	2500
ВГО-50 и 62	2400
трепельный	600-700
магнезитовый	2500-2900
доломитовый	2600-2700
Каолиновый легковес	1300
Каолин	2300
Керамзит	500-900
Керамзитобетон	800-1400
Каолиновые маты	150-300
Кокс	500
Коксовая мелочь	700
Порошок доломитовый	550
Пыль колошниковая	2000
Руда железная	
сырая	2500-3500
агломерат	1600
Трепельная засыпка	500
Торкрет масса	1600-1700
Чугун жидкий	7200
в чушках	6000
Шамот колотый	1600
Шихта в доменной печи	1100
Шлак доменный жидкий	1800-2000
То же, насыпью	1600
Скопления конденсатов в газопроводах	1000
Наледь на газопроводах	900

г) Нормативные нагрузки на площадки и лестницы по таблице 5 4

Таблица 5 4

Нормативные нагрузки на площадки и лестницы (вне мест непосредственного расположения оборудования

№№ п п	Конструкции	Нормативные нагрузки в кгс/м2	
		временная длительная	кратковремен ная
1	2	3	4
1	Рабочие площадки доменных печей и литейных дворов, площадка в уровне подошвы воздухонагревателей	1000	3000
2	Рабочие площадки (чистый пол) зданий колошникового подъемника, воздухонагревателей, пылеуловителей, рабочая площадка самого пылеуловителя, колошниковая площадка, площадка балансиров и площадки воздухонагревателей, на которых возможно складирование кирпича при ремонтах	400	1000
3	Переходные площадки и лестницы	200	300
4	Площадки для обслуживания оборудования и пешеходные мостики	300	400

д) Нормативное внутреннее избыточное давление принимается по техническому заданию на проектирование, причем для доменной печи давление между фурмами и колошником принимается меняющимся по прямолинейному закону

Расчетные давления при испытании на плотность принимаются равными нормативному, кроме доменной печи и газопровода грязного газа от печи до пылеуловителя, для которых величина давления устанавливается особо в зависимости от их конструкции, а при испытании на прочность - по таблице 5 5

Таблица 5 5

Расчетные внутренние избыточные давления при испытании на прочность

№№ п п	Конструкции	Расчетные внутренние давления при испытании (кратковременная)
1	2	3
1	Воздухопровод холодного дутья в пределах доменного цеха, воздухонагреватель, воздухопровод горячего дутья	$1.25P_1$
2	Пылеуловитель, газопровод грязного газа за пылеуловителем (в пределах доменного цеха), газопровод получистого или чистого газа от газоочистки до ввода в подкупольное пространство (в пределах доменного цеха)	$1.25P_2$
3	Газопровод чистого газа (в пределах доменного цеха)	$1.25P_3$

Примечания 1 Нормативное избыточное внутреннее давление принимается P_1 *- в воздушном тракте,* P_2 *- под колошником,* P_3 *- перед листовой задвижкой*

2 Доменная печь и газопровод грязного газа от печи до пылеуловителя на прочность внутренним давлением не испытывается Оно заменяется физическим контролем качества швов, просвечиванием, ультразвуковым методом и т д

е) Нормативные нагрузки от отложения пыли - по таблице 5 6 и 5 7 , при этом нагрузка от пыли на ребристый настил не учитывается Нагрузка от пыли на наружной поверхности трубопроводов, расположенных в радиусе 100 м вокруг доменной печи, исчисляется, исходя из угла естественного откоса пыли, равного 35^0 , но не более 50 кгс/м^2 (средняя) и только как кратковременная или особая Для наклонных (более 25^0) поверхностей нагрузка принимается по интерполяции, считая, что при угле наклона 45^0 к горизонту, нагрузка от пыли равна нулю

Таблица 5 6

Нормативные нагрузки от отложений пыли на внешние сплошные покрытия (при углах наклона к горизонту от 0 до 25^0)

№№ п п	Конструкции	Нормативные нагрузки в кгс/м^2 для расчетных сочетаний	
		временная длительная	кратковременная
1	2	3	4
1	Колошниковая площадка	-	500
2	Прочие площадки колошника	-	200
3	Все покрытия и площадки в радиусе 100 м от доменной печи	-	50

Нормативные нагрузки от отложений пыли в пылеуловителях Таблица 5 7

№№ п п	Конструкции	Нормативные нагрузки в % заполнения пылью объема, показанного на рис 5 2 для расчетных сочетаний		
		временная длительная	кратковременная	особая
1	Первичный пылеуловитель	50	75	100
2	Вторичный пылеуловитель	25	38	50

Нормативные температуры металла трубопроводов и оболочек Таблица 5 8

№№ п п	Конструкции	Нормативные температуры металла для сочетания нагрузок в ^{0}C		
		временная длительная	кратковременная	особая
1	Доменная печь*	100	120	150
2	Воздухонагреватели *	100	120	150
3	Воздухопровод горячего дутья *	140	180	200
4	Пылеуловители	80	100	120
5	Газопровод грязного газа до пылеуловителя, футерованный	80	120	150
6	То же, за пылеуловителями футерованный	50	75	100
7	То же, не футерованный	200	250	300
8	Газопроводы чистого и получистого газа, не футерованные	В зависимости от климатических условий		
9	Воздухопровод холодного дутья, не футерованный	140	170	200

и) Ветровая нагрузка - согласно СНиП При расчете отдельных сооружений, имеющих малые поперечные размеры по сравнению с высотой, для которых ветровая нагрузка имеет решающее значение (каркас лифта, свечи и т.д) , полученная по СНиП величина окрестного напора ветра для сооружений с периодом колебаний > 0 25 сек должна определяться с учетом динамического воздействия пульсации скоростного напора, вызываемой порывами ветра

к) Нормативные нагрузки от шихты - по таблице 5 9

Таблица 5 9

Нормативные нагрузки от шихты на колонны горна * и другие конструкции, и непосредственно воспринимающие эту нагрузку

№№ пп	Сочетание нагрузок	Нормативные нагрузки
1	При нормальной работе - временная длительная	$0\,5\gamma V_ш$
2	При зависании - кратковременная	$\gamma V_ш$
3	При осадке - особая	$\gamma K_д V_ш = 2\gamma V_ш$

$K_д$=2 - динамический коэффициент по таблице 5 10

* В самонесущих безмораторных печах нагрузка от шихты на колонны горна не учитывается

5 3 Нагрузка от скипа на наклонный мост определяется геометрическим разложением равнодействующей силы тяжести, действующей на скип, по направлению тягового троса (вдоль рельс при обрыве и застревании) и направлению нормальному к рельсу или верхней направляющей ,

для сочетания нагрузок "О" (подъем груженого скипа)

$$G + 0.7 \cdot \gamma \cdot V_{ck} = \overline{T} + \overline{P}_{k1} + \overline{P}_{k2} \qquad (5\,1)$$

для сочетания нагрузок "О*" (подъем перегруженного скипа)

$$G + \gamma \cdot V_{ck} = \overline{P}_{k1} + \overline{P}_{k2} + H \quad , \qquad (5\,2)$$

для сочетания нагрузок "Ос" (застревание скипа при подъеме)

$$G + \gamma \cdot V_{ck} = \overline{P}_{k1} + \overline{P}_{k2} + H \quad , \qquad (5\,3)$$

или обрыв перегруженного скипа

$$G + \gamma \cdot V_{ck} = \overline{P}_{k1} + \overline{P}_{k2} + E \quad , \qquad (5\,4)$$

Кроме того для каждого сочетания нагрузок учитывается нагрузка от опускающегося порожнего скипа

$$G = \overline{T} + \overline{P}_{k1} + \overline{P}_{k2} \quad , \qquad (5\,5)$$

В формулах (5 1 - 5 5) усилия обозначены в векторной форме

5 4 Нагрузка от балансиров Опорная реакция балансиров равная равнодействующей весов балансиров, штанги, конуса, шихты на конусе и натяжению тросов

а) При свободном опускании конусов (рис 5 3а)

для сочетания нагрузок "О" и "О*"

Конус закрыт

$$R_{\delta} = P_1 + Q_d + T_k^y \,, \quad H_{\delta} = T_k^x \tag{5 6}$$

конус полузакрыт (начало открывания)

$$R_{\delta} = P_2 + Q_d + T_k^y, \quad H_{\delta} = T_k^x \tag{5 7}$$

конус открыт

$$R_{\delta} = P_3 + Q_d + T_k^y, \quad H_{\delta} = T_k^x; \tag{5 8}$$

для сочетания нагрузок "Ос"
ликвидация слабины троса, после отставания конуса от работы лебедки

$$R_{\delta} = P_2 \cdot K_{\partial} + Q_d + T_{\max}^y; \quad H_{\delta} = T_{\max}^y \tag{5 9}$$

Здесь K_o - динамический коэффициент, учитывающий воздействие падающего конуса с шихтой и определяемый по формуле (5 16)

б) При принудительном опускании конусов (рис 5 3б)
для сочетания нагрузок "О" и "О*"
конус закрыт

$$R_{\delta} = Q + P_1' + T_o^y, \quad H_{\delta} = T_o^x \tag{5 10}$$

конус полузакрыт (начало открывания)

$$R_{\delta} = Q + P_2' + T_k^y, \quad H_{\delta} = T_k^x \tag{5 11}$$

конус открыт

$$R_{\delta} = Q + P_3 + T_k^y, \quad H_{\delta} = T_k^x, \tag{5 12}$$

для сочетания нагрузок "Ос"
конус застрял

$$R_{\delta} = Q + P_o + T_h^x, \quad H_{\delta} = T_h^x, \tag{5 13}$$

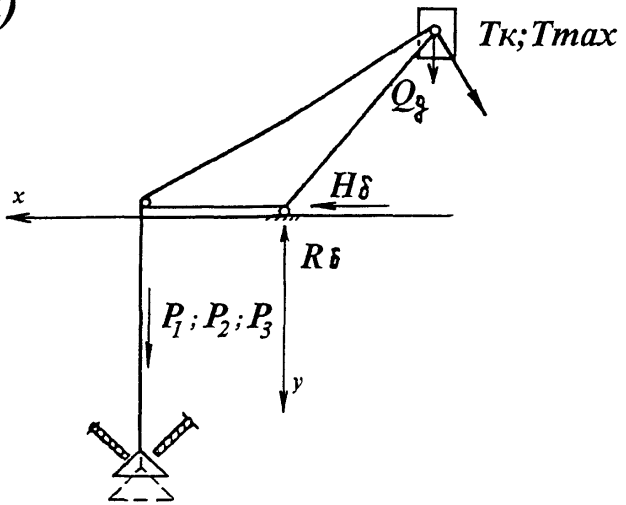
ликвидация слабины троса после отставания конуса от работы лебедки при ударе конуса о чашу

$$R_{\delta} = Q \cdot K_{\partial} + P_4 \cdot K_{\partial}, \quad H_{\delta} = 0, \tag{5 14}$$

где K_o - коэффициент, учитывающий динамическое воздействие падения балансира с контргрузом, определяемый по формуле (5 18)

Опорные конструкции, воспринимающие усилия от направляющего устройства (узлы закрепления штанги),рассчитываются на действующую в любом направлении в плоскости направляющего устройства силу, равную 4% от усилия в штанге

а)



б)

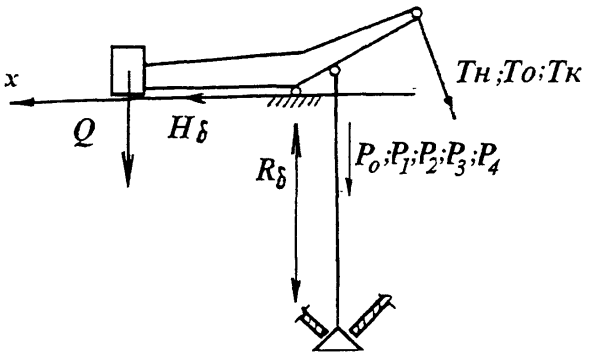


Рис.5.3

5 5 Расчет копра доменной печи Динамическое воздействие падения конуса или контргруза балансиров вследствие образования слабины конусов тросов, вызванной несинхронной работой механизмов, учитывается только на конструкцию колошникового копра ,включая опорный узел и производится по способу, разработанному в институте "ЦНИИпроектстальконструкция". Методика расчетов не учитывает амортизаторов, при установке которых расчетные формулы должны быть изменены При определении напряжений в колоннах рамы копра от динамической нагрузки коэффициенты продольного изгиба внецентренно сжатых элементов не учитываются

а) Нагрузка на копер при свободном опускании конусов Расчетное усилие на ось балансира большого конуса (рис 5.4а) определяется по формулам

$$R_{\delta} = \left(1+\frac{b}{a}\right)\left(Q_k \cdot K_{\partial} + Q_d\right), \quad H_{\delta} = Q_k \cdot K_{\partial} \cdot \sin\alpha \qquad (5\ 15)$$

где

α - угол между направлением троса и вертикалью в градусах,

a - плечо конуса в м ,

b - плечо контргруза в м ,

c - плечо у центра тяжести балансиров в м ,

$$K_{\partial} = 1 + \sqrt{1 + \frac{\upsilon_b^2}{g \cdot f_{cm}}}, \qquad (5\ 16)$$

где $$f_{cm} = \frac{Q_k \cdot l}{E_{mp} \cdot F_{mp}},$$ в м (l - по рис 5 4а)

$$\upsilon_b = \frac{2\beta \cdot \frac{b}{a}}{\beta + \frac{b}{a}} \cdot \upsilon_a,$$

при $$\beta = \frac{a^2 \cdot P_2 + b^2 \cdot Q_d + Jg}{a \cdot b \cdot Q_k}, \upsilon_a = \sqrt{2 \cdot g_n \cdot h_0},$$

Здесь g_n - ускорение силы тяжести при несвободном падении равное $\varepsilon \cdot g$, где

ε - коэффициент замедления системы, равный

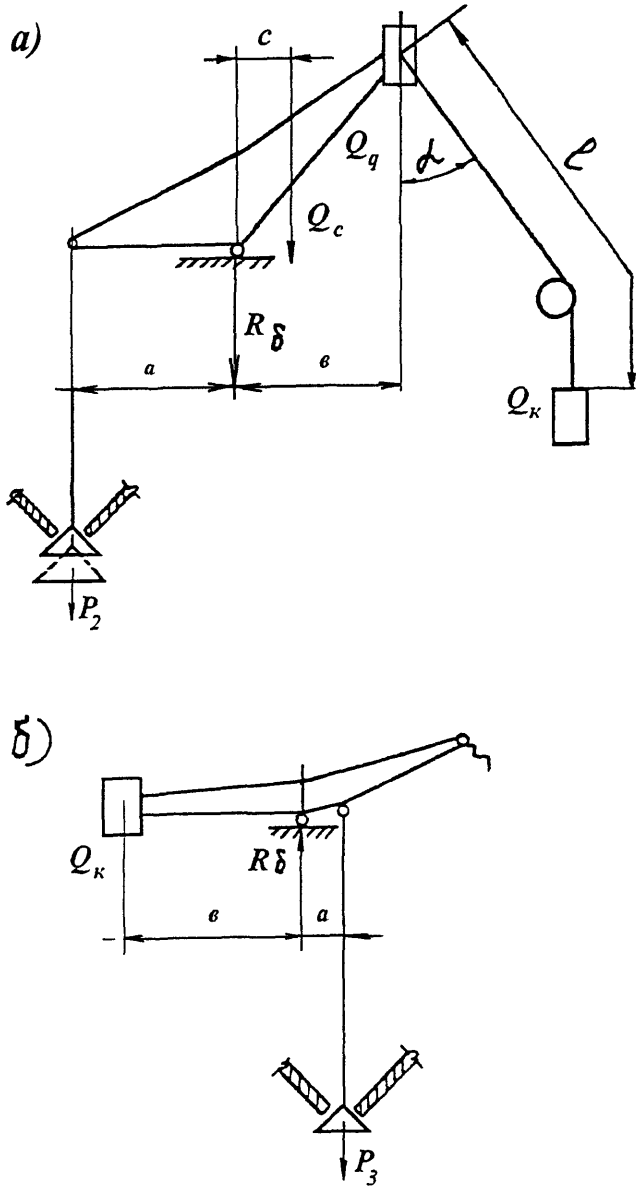


Рис.5.4

$$\varepsilon = \frac{a^2 \cdot P_2 - a \cdot b \cdot Q_d - a \cdot c \cdot Q_c}{a^2 \cdot P_2 + b^2 \cdot Q_d + J \cdot g},$$

J - момент инерции массы рычага балансира относительно оси его вращения в т м сек^2, подсчитываемый приближенно как для бруса постоянного сечения ,

h_o - высота замедленного падения , определяемая в зависимости от скорости срабатывания выключателя слабины троса в м (при отсутствии специального задания слабина троса обычно принимается равной 0.5 м)

б) Нагрузка на копер при принудительном опускании конусов Падение останавливается при ударе конуса о чашу (рис 5 46) Расчетное усилие на ось балансира большого конуса равно·

$$R_б = K_д \cdot \frac{(b+a)}{a} \cdot Q_к, \qquad H_б = 0, \tag{5 17}$$

где

$$K_д = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h_b \cdot \varepsilon}{\sum f_{cm}}} \tag{5 18}$$

Здесь ε коэффициент замедления системы, равный

$$\varepsilon = \frac{b^2 \cdot Q_к - a \cdot b \cdot P_з}{b^2 \cdot Q_к + a^2 \cdot P_з},$$

h_b - высота замедления падения контргруза в м, определяемая расстоянием между конусом и чашей в момент остановки конуса при закручивании (если отсутствует специальное задание, обычно принимается равной 0 12 м) ,

$\sum f_{cm}$ - суммарное статическое вертикальное перемещение контргруза (под действием собственного веса) за счет деформации штанги и опорных конструкций (балок) копра в м

Расчетные коэффициенты

5 6 Коэффициенты динамичности Значения динамического коэффициента для различных конструкций доменной печи и видов нагрузки приведены в таблице 5 10

Коэффициенты динамичности Таблица 5 10

№№	Вид нагрузки	Сочетание нагрузок	Значение	Конструкции, на которые распространяется коэффициент
1	2	3	4	5
1	Воздействие шихты при осадках (учитывается масса только шихты. расположенной выше уровня рассматриваемой конструкции)	Ос	2	Колонны горна и кожуха печи (см примечание к таблице 5 9)
2	Воздействие шихты при разгрузке в скип или из скипа (учитывается масса шихты в объеме скипа)	О	1 8	Балки. поддерживающие опускание желоба и приемную воронку, а также пути скипа
3	Неуравновешенная часть массы контргруза конусных балансиров			Подбалансирные балки (непосредственно несущие нагрузки)
	а) в момент закрывания конуса	О	2	
	б) при ликвидации слабины конусных тросов	Ос	Определяется расчетом (согласно формулам 5 16.5 18)	Конструкции колошникового устройства (подбалансирные балки. рамы и связи копра).балки несущие конусные лебедки или пневматические цилиндры и другие конструкции. воспринимающие нагрузку. а также тросы. испытывающие эти усилия
4	Усилие в тросе конусных шкивов (кроме случая ликвидации слабины -см выше)			
	а) при принудительном опускании конуса	О	1 1	Подшкивные балки
	б) при свободном опускании конуса	О	1.5	То же
5	Нагрузка от лебедки для маневрирования конусами (кроме случая ликвидации слабины - см выше)	О	1 1	Балки, непосредственно несущие нагрузку от лебедки
6	Нагрузка от цилиндров для маневрирования конусами (кроме случая ликвидации слабины - см Выше)	О	1 5	То же, от цилиндров
7	Нагрузка от скиповой лебедки	О	1 1	То же. от лебедки
8	Нагрузка от электрических кранов и подвижного состава (в том числе от скипов). кроме тележки монтажной балки	О. О*	1 1	
9	Нагрузка от газовых горелок	О. О*	1 1	То же

5 7 Коэффициенты надежности по нагрузке Значения коэффициентов для различных видов нагрузки даны в таблице 5 11

Коэффициенты надежности по нагрузке n Таблица 5 11

№№ п п	Вид нагрузки	Значения
1	Постоянные нагрузки (кроме массы термоизоляционных плит и засыпок	1 1
2	Постоянные нагрузки от массы термоизоляционных плит и засыпок	1 2
3	Постоянные нагрузки при расчете анкеров и других элементов, где постоянная нагрузка уменьшает силовое воздействие	0 9
4	Давление и масса сыпучих материалов (в том числе и пыли на покрытиях)	1 2
5	Внутреннее давление газов (включая вакуум), кроме случаев испытания на прочность	1 15
6	То же при испытании на прочность	1 0
7	Нагрузка от массы оборудования и нагрузки на площадках	1 2
8	Нагрузки, возникающие в результате работы оборудования (усилия в тросах лебедки и т д)	1 2
9	Гидростатическое давление	1 1
10	Нагрузка от подвижного состава	1 2
11	Ветровые нагрузки	согласно СНиП
12	Нагрузки от снега	согласно СНиП
13	Нагрузки в трубах от отложений пыли, конденсата и т.д	1 1
14	Температурный распор кладки и холодильников	*
15	Воздействие температурного расширения металлоконструкций	1 2
16	Нагрузка на колонны горна (учет неравномерности распределения нагрузки между колоннами)	1 1

* См Ниже расчет футерованных конструкций, раздел 7

5 8 Коэффициенты условия работы Значения коэффициентов условий работы для различных элементов конструкций доменной печи приведены в таблице 5 12

Коэффициенты условия работы m Таблица 5 12

№ пп	Элементы конструкций	Значения
1	Для кожухов доменных печей, воздухонагревателей, пылеуловителей, а также трубопроводов	
	а) при расчете на прочность	
	с учетом концентрации местных упругих напряжений в зонах краевого эффекта и локальных нагрузок	1 25(1 0)
	без концентрации местных упругих напряжений	0 85(0 75)
	б) при расчете на устойчивость	0 65
2	Для колонн, опор и рам	1 0
3	Для сжатых элементов ферм наклонного моста	0 9
	для элементов, рассчитанных на аварийные нагрузки	
	а) удар большого конуса при его отставании от работы лебедки	1 0
	б) предельное заполнение пылеуловителя пылью	1 0
4	Для плоских анкеров воздухонагревателей	0 9
5	Для прочих элементов конструкций	По действующим нормам проектирования стальных конструкций

Примечание В скобках указаны коэффициенты для кожухов воздухонагревателей

5.9 Предельные деформации (прогибы). Величина прогибов ,как правило, подсчитывается от сочетания нагрузок "О*", кроме строк 1 и 3 таблицы 5.13, для которых прогиб подсчитывается от сочетания нагрузок "О*", причем в п 1 для консоли прогиб определяется в точке крайнего положения монтажной тележки Прогибы определяются от нормативной нагрузки без коэффициента динамичности

Таблица 5 13

Предельные деформации (прогибы) от временных нормативных нагрузок

№ п п	Элементы конструкций	Величина прогиба в долях пролета или удвоенного вылета консоли
1	2	3
1	Балки монтажной тележки колошника	
	а) несамоходная	1/500
	б) самоходная	1/750
2	Главные балки или фермы наклонного моста скипового подъемника	1/800
3	Каркас лифта	1/400
4	Переходные площадки и лестницы, мостики под сантехнические и электрокабельные трассы	

6. РАСЧЕТ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Принятые обозначения

σ_1, σ_2 - нормальные напряжения соответственно меридиональные и кольцевые,

σ_x, σ_y - нормальные напряжения по двум взаимно перпендикулярным направлениям ,

σ_T - предел текучести ,

σ_{kp} - нормальные напряжения, соответствующие критическому состоянию ,

τ - касательные напряжения ,

τ_{kp} - касательные напряжения, соответствующие критическому состоянию ,

R - расчетное сопротивление растяжению и сжатию , принимаемые в соответствии с указаниями СНиП,

P - расчетное давление на единицу поверхности оболочки ,

P_{kp} - критическое давление на единицу поверхности оболочки ,

$\overline{Q}$ - проекция на ось оболочки полного расчетного давления жидкости , газа или сыпучего материала на часть оболочки abc (см.рис 6.2) ,

N_1 - нормальная продольная сила (меридиальная) ,

N_2 - кольцевая нормальная сила ,

M_{kp} - крутящий момент ,

M - изгибающий момент ,

M_1 - продольный изгибающий момент, действующий вдоль образующей оболочки вращения (мередиальный) ,

M_2 - кольцевой изгиающий момент, действующий в кольцевом (окружном) направлении ,

S - длина образующей конуса , отсчитываемой от вершины конуса ,

Φ - независимая осевая сила ,

q_b - расчетный скоростной напор ветра без аэродинамического коэффициента (принимается по СНиП) ,

q - нагрузка на 1 пог м конструкции ,

m - коэффициент условия работы ,

δ - толщина стенки оболочки ,

ν - коэффициент Пуассона ,

L - длина пролета оболочки ,

r_1, r_2 - радиусы кривизны в главных направлениях и срединной поверхности оболочки (для цилиндрической оболочки $r_2=\infty$, $r_1=r$, для сферической оболочки $r_1=r_2=r$, для конической оболочки $r_1=\frac{r}{\cos\beta}\cdot r_2=\infty$ см рис 6 2),

r_k - радиус кольцевого ребра (штангоута),

I_p - момент инерции ребра ,

l_p - расстояние между кольцевыми ребрами ,

F_k - площадь поперечного сечения кольцевого ребра оболочки ,

α - коэффициент линейного расширения ,

γ - вес единицы объема материала ,

T_1 - температура на внутренней поверхности оболочки ,

T_2 - температура на наружной поверхности оболочки ,

$\Delta T = T_2 - T_1$ - температурный перепад по толщине оболочки ,

$T_0 = \frac{T_1 + T_2}{2}$ - средняя температура стенки оболочки ,

T_k - температура кольцевого ребра ,

ρ - радиус элементарной площадки, в окресности точки приложения сосредоточенной силы (как правило ,принимается половина ширины элемента, передающего усилие на оболочку) ,

η - безразмерный параметр ,

K_m - коэффициент учитывающий влияние плоско-напряженного состояния ,

l - высота пояса сферической вставки ,

$D = \frac{E\cdot\delta^3}{12\left(1-\nu^2\right)}$ - цилиндрическая жесткость ,

θ - угол поворота ,

w - радиальное перемещение ,

d - диаметр отверстия ,

E - модуль упругости ,

Прочность листовых конструкций без учета местных воздействий

6 1 Проверка прочности оболочек вращения

$$\sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x\cdot\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\cdot\tau_{xy}^2} \le m\cdot R , \qquad (6\ 1)$$

при этом должны соблюдаться условия $\sigma_x \le mR$, $\sigma_y \le mR$

Если задача осесимметричная, то $\sigma_x = \sigma_1 \le mR\cdot K_m$, $\sigma_y = \sigma_2 \le mR\cdot K_m$

и вместо (6 1) имеем $\sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\cdot\sigma_2 + \sigma_2^2} \le mR$ (6 2)

Значение K_m определяется в соответствии с п 3 1

6 2 Напряжение в тонкостенных безмоментных оболочках вращения, находящихся под давлением жидкости , газа или сыпучего материала (рис 6 2)

$$\frac{\sigma_1}{r_1}+\frac{\sigma_2}{r_2}=\frac{P}{\delta} \quad ,\sigma_1=\frac{Q}{2\pi r\cdot\delta\cdot\cos\beta} \ ,$$

6 3 Напряжения и проверка прочности в замкнутых тонкостенных оболочках вращения,находящихся под внутренним равномерным давлением

Круговая цилиндрическая оболочка

$$\sigma_1=\frac{P\cdot r}{2\delta}\le m\cdot R\cdot K_m, \quad \sigma_2=\frac{P\cdot r}{\delta}\le m\cdot R\cdot K_m \qquad (6\ 3)$$

Круговая коническая оболочка (рис 6 1)

$$\sigma_1=\frac{P\cdot r}{2\delta\cdot\cos\beta}\le mRK_m,\ \sigma_2=\frac{P\cdot r}{\delta\cdot\cos\beta}\le mRK_m, \qquad (6\ 4)$$

Сферическая оболочка

$$\sigma_1=\sigma_2=\frac{P\cdot r}{2\delta}\le mR, \qquad (6\ 5)$$

Торовая оболочка

$$\sigma_1=\frac{P\cdot r}{2\delta}\cdot\left(1+\frac{r_0}{r_{min}}\right)\le mRK_m, \quad \sigma_2=\frac{P\cdot r}{2\delta}\le mRK_m \qquad (6\ 6)$$

Эллиптическая цилиндрическая оболочка

$$\sigma_{2max}=\frac{P\cdot r^2_{max}}{\delta\cdot r_{min}}\le mRK_m \qquad (6\ 7)$$

r_{min}, r_{max} - меньшая и большая полуоси элипса поперечного сечения

$$\sigma_1=\frac{3}{8}\cdot\frac{PL^2}{\delta\cdot r_{min}}\cdot\varepsilon^2\le mRK_m \qquad (6\ 8')$$

$$\sigma_1=-\frac{3}{8}\cdot\frac{P\cdot r_{max}\cdot L^2}{\delta\cdot r^2_{min}}\cdot\varepsilon^2\le mRK_m \qquad (6\ 8'')$$

Соотношение (6 8′) получено для конца малой полуоси элипса, а (6 8″) - для конца большой полуоси

$$\varepsilon^2=1-\frac{r^2_{min}}{r^2_{max}} \qquad (а)$$

6 4 Максимальные меридиальные напряжения в середине пролета замкнутой цилиндрической оболочки с жесткими опорными кольцами при воздействии ветрового напора, постоянного по длине,согласно СНиП

$$\sigma_1 = -\frac{4q_B \cdot L^2}{\delta \cdot r \cdot \pi^3}\left[0.33 + \frac{b_2}{0.2275 + \frac{0.0308}{h}} + \frac{b_3}{0.1 + \frac{0.493}{h}}\right] \quad (6.9)$$

где $h = \frac{r^6}{\delta^2 \cdot L^4}$, b_2, b_3 принимаются по таблице 6 1

таблица 6 1

l_i / r	b_2	b_3	Примечание
1	2	3	4
50	1,4	0,5	За l_k принимается длина всего сооружения, на которое действует ветровой напор (при однопролетном сооружении $l_k = L$)
14	1,25	0,4	
2	1,0	0,4	

6 5 Меридиональные напряжения в цилиндрической оболочке с жесткими опорными кольцами (см рис 6 4) , частично заполненной жидкостью (конденсатом), определяется по формулам

$$\sigma_1 = \sigma_{1\delta} + \sum_2^n \sigma_n \quad (6.10),$$

где $\sigma_{1\delta} = \frac{q_x \cdot (L - x)}{2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \delta} \cdot \cos\beta \quad (a)$ - нормальные напряжения, как в простой балке,

$$\sum_2^n \sigma_n = \frac{8 \cdot \gamma \cdot L^2}{\delta} \cdot \sum_2^n \frac{n^2 \cdot \omega_n}{\pi^4 + \frac{n^4 \cdot (n^2 - 1) \cdot \delta^2 \cdot L^4}{12 \cdot r^6}} \cdot \sin\frac{\pi \cdot x}{L} \cdot \cos n \cdot \beta \quad (b).$$

нормальные напряжения, возникающие в результате деформации контура оболочки (n=2, 3, 4 n)

$$\omega_n = \frac{\sin(n+1) \cdot \alpha}{2 \cdot (n+1)} + \frac{\sin(n-1) \cdot \alpha}{2 \cdot (n-1)} - \frac{\sin\alpha \; n \cdot \cos\alpha}{n} \quad (6\ 11)$$

Для получения максимальных значений необходимо принимать $\beta = 0, \quad x = L/2.$ в этом случае $\cos\beta = 1.0; \quad \sin\frac{\pi \cdot x}{L} = 1.0$

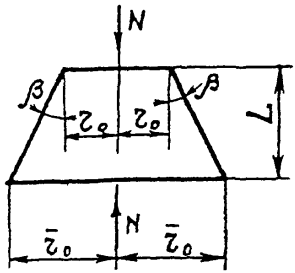


Рис. 6.1

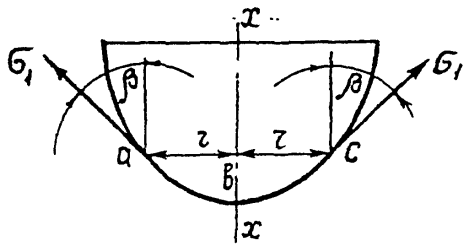


Рис. 6.2

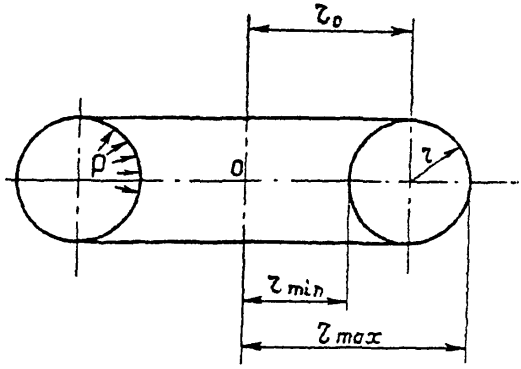


Рис. 6.3

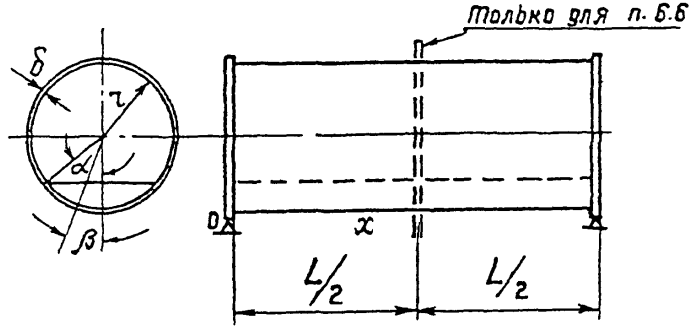


Рис. 6.4

6 6 Меридиональные напряжения в цилиндрической круговой оболочке с жесткими опорными ребрами, усиленной в среднем сечении жестким кольцевым ребром (см рис 6 4) при частичном заполнении жидкостью (конденсатом)

Меридиональные напряжения определяются по формуле (6 10) п 6 5 В этом случае соотношения (a) и (b) запишутся

$$\sigma_{1\delta} = \frac{q \cdot \left(L^2 - 4 \cdot x^2\right)}{8 \cdot \pi \cdot r \cdot \delta} \cdot \cos\beta \quad (a)$$

$$\sum_2^n \sigma_n = 2.2 \cdot \frac{\gamma \cdot r^3}{\delta^2} \cdot \sum_2^n \frac{\varpi_n}{(n^2-1)} \{A_n \cdot \left[\Phi_1(\xi) + \Phi_3(\xi)\right] + + B_n \cdot \left[\Phi_2(\xi) - \Phi_4(\xi)\right\} \cdot \cos n \cdot \beta \quad (b)\right]$$

Значения ϖ_n определяются по формуле (6 11) и соответственно

$$A_n = \frac{\Phi_4^2 - \Phi_2 \cdot (1 - \Phi_2)}{\Phi_2 \cdot (\Phi_1 - \Phi_2) + \Phi_4 \cdot (\Phi_1 + \Phi_3)}$$

$$B_n = \frac{\Phi_4 \cdot (\Phi_1 - \Phi_3) + (1 - \Phi_2) \cdot (\Phi_1 + \Phi_3)}{\Phi_2 \cdot (\Phi_1 - \Phi_2) + \Phi_4 \cdot (\Phi_1 + \Phi_3)} \quad (6\ 12)$$

В соотношениях (6 12) через $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4$ обозначены значения соответствующих функций при значении аргумента $\xi = K_n \cdot L/2$, где

$$K_n = \sqrt[4]{\frac{\varepsilon^2 \cdot n^4 \cdot (n^2-1)^2}{48 \cdot r^6}}$$

Функции

$$\Phi_1(\xi) = s \cdot h \cdot (K_n \cdot x) \cdot \cos(K_n \cdot x)$$
$$\Phi_2(\xi) = c \cdot h \cdot (K_n \cdot x) \cdot \cos(K_n \cdot x)$$
$$\Phi_3(\xi) = c \cdot h \cdot (K_n \cdot x) \cdot \sin(K_n \cdot x)$$
$$\Phi_4(\xi) = s \cdot h \cdot (K_n \cdot x) \cdot \sin(K_n \cdot x) \quad (6\ 13)$$

Задаваясь последовательно значениями $n = 2,3,4....,$ вычисляют величины $K_n, \Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4$, соответственно коэффициенты A_n, B_n, ω_n ,после чего определяют $\sum_{n=2}^{n} \sigma_n$ Максимальные значения имеют место при $\beta = 0$

Проверка устойчивости оболочек вращения

6 7 Замкнутая круговая цилиндрическая оболочка,равномерно сжатая параллельно образующим

$$\sigma_1 \le m \cdot \sigma_{kp} \qquad (6\ 14)$$

σ_{kp} - принимается равным меньшей из величин $\psi^{\cdot} \cdot R$ и $\dfrac{C \cdot E \cdot \delta}{r}$

$\psi^{\cdot}, C$ - коэффициенты, применяемые по табл 6.2

В случае внецентренного сжатия параллельно образующим или чистого изгиба в диаметральной плоскости напряжение σ_{kp1} увеличивается в 1+0 1$\cdot\left(1-\dfrac{\sigma_1^{\cdot}}{\sigma_1}\right)$ раз, где σ_1' - наименьшее напряжение (растягивающее напряжение считается отрицательным) Указанный метод расчета разрешается применять при изгибе с поперечной силой, если касательные напряжения в месте наибольшего момента не превышают величины 0,07 $E\left(\delta/r\right)^{3/2}$

6 8 Замкнутая круговая цилиндрическая оболочка при действии внешнего равномерного давления P , действующего нормально к боковой поверхности, проверяется на устойчивость по формуле

$$\sigma_2 \le m \cdot \sigma_{kp2}, \qquad (6\ 15)$$

где σ_{kp2} определяется выражениями при $0.5 \le L/r \le 10$

$$\sigma_{kp} = 0.55 \cdot E \cdot \left(\frac{r}{L}\right) \cdot \left(\frac{\delta}{r}\right)^{3/2} \qquad (6\ 16)$$

при $L/r \ge 20$

$$\sigma_{kp} = 0.17 \cdot E \cdot \left(\frac{\delta}{r}\right)^{2} \qquad (6\ 17$$

Таблица 6 2

Предел текучести сталей,МПа	Коэффициенты ψ и с при r/δ равны											
	0	25	50	100	200	300	400	600	800	1000	1500	2500
	Коэффициенты ψ											
185-280	1	0.944	0.902	0.835	0,720	0.626	0.515	-	-	-	-	-
285-385	1	0,937	0.892	0.812	0,665	0,528	-	-	-	-	-	-
390-435	1	0.930	0.883	0.789	0.610	0.440	-	-	-	-	-	-
440-585	1	0.927	0,876	0,775	0,578	-	-	-	-	-	-	-
590-735	1	0.923	0.865	0,750	0.526	-	-	-	-	-	-	-
740-800	1	0.918	0.848	0,710	0.436	-	-	-	-	-	-	-
	Коэффициенты с											
Независимо от предела текучести стали	-	-	0.3	0.22	0,18	0.16	0.14	0.11	0.09	0.08	0.07	0 06

При $10 < L/r < 20$ значение σ_{kp} определяется линейной интерполяцией

Здесь $\sigma_2 = \frac{p \cdot r}{\delta}$ - расчетное кольцевое напряжение в оболочке Та же оболочка , но укрепленная кольцевыми ребрами, расположенными на расстояниях $l_p \geq 0.5 \cdot r$ между осями, проверяется на устойчивость по формулам (6 15 - 6 17) с подстановкой в них величины l_p вместо L при условии, что момент инерции ребра относительно оси, параллельной образующей , не меньше величины $pl_p r^3 / 3E$ При одностороннем ребре момент инерции вычисляется относительно оси,совпадающей с ближайшей поверхностью оболочки

6 9 Замкнутая круговая цилиндрическая оболочка, подверженная одновременному действию нагрузок, указанных в п 6 7 и 6 8, проверяется на устойчивость по формуле

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{kp}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{kp2}} \leq m \qquad (6\ 18)$$

6 10 Замкнутая круговая цилиндрическая оболочка,подверженная воздействвию крутящего момента ,проверяется на устойчивость по формуле

$$\tau \leq m\tau_{kp}, \qquad (6\ 19)$$

где $\tau = \frac{M_{kp}}{2\pi r^2 \delta}, \qquad \tau_{kp} = 0.78\bar{\lambda}E\frac{\delta}{r}\sqrt{\frac{r\delta}{L^2}}$ (6 20)

Значения параметра $\bar{\lambda}$ приводятся ниже в зависимости от отношения r / δ

r / δ	250	500	1000	1500
$\bar{\lambda}$	0,8	0,7	0,6	0,5

6 11 Замкнутая круговая цилиндрическая оболочка при изгибе Устойчивость определяется по формуле (6 14) , где

$$\sigma_{kp1} = 0.22E\frac{\delta}{r} \qquad (6\ 21)$$

6 12 Замкнутая круговая цилиндрическая оболочка ,подверженная изгибу и внешнему давлению, проверяется на устойчивость по формуле

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{kp}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{kp2}} \leq m, \qquad (6\ 22)$$

$\sigma_{kp1}, \sigma_{kp2}$ - определяется в соответствии с п 6 8 и 6 11

6 13 При совместном воздействии внешнего давления, кручения и изгиба замкнутая цилиндрическая оболочка проверена на устойчивость по формуле

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{kp}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{kp2}} + \left(\frac{\tau}{\tau_{kp}}\right)^2 \leq m, \qquad (6\ 23)$$

Соответствующие компоненты значений критических напряжений определяются по п п 6 8, 6 10, 6 11

6 14 При нарушении круговой формы (начальная кривизна) замкнутая круговая цилиндрическая оболочка, укрепленная кольцевыми ребрами жесткости, при равномерном всестороннем сжатии проверяется на устойчивость по формуле

$$\sigma_1 \le m\sigma_e\eta_2, \qquad (6.24)$$

η_2 - коэффициент, учитывающий нелинейную зависимость между напряжениями и деформациями материала (см табл 6 4)

Таблица 6 3

δ,мм	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15
η_1	0,42	0,52	0,62	0,72	0,81	0,88	0,93	0,97	1,0	1,02	1,04

$$\sigma_e = 0.95\eta_1 \cdot \frac{\sigma_{0e} \cdot r}{\delta} \qquad (6\ 25)$$

где $\sigma_{0e} = 19.1 \cdot \left(\frac{\delta}{r}\right)^2 10^4 \left(\frac{100\delta r}{l_p^2}\right)^{0\,58}$

η_1 - коэффициент,учитывающий начальную кривизну (по табл (6 3)

6 15 Устойчивость замкнутой круговой цилиндрической оболочки равномерно нагретой около упругого кольца жесткости (при $L > \frac{1}{K}$) , определяется по формуле (6 15), где

$$\sigma_{kp} = \frac{3.88E\delta}{r} \qquad (6.26)$$

Здесь $1/K = 0.78\sqrt{r \cdot \delta}$ Величина σ_2 в (6 15) определяется в соответствии с п 6 33

6 16 Устойчивость эллиптической цилиндрической оболочки под воздействием равномерно распределенного осевого сжатия проверяется по формуле (6 14),где

$$\sigma_{kp1} = 0.18\frac{E\delta\, r_{min}}{r_{max}^2} \qquad (6\ 27)$$

Обозначения r_{min} и r_{max} - в соответствии с п 6 3

6 17 Цилиндрическая панель, опертая по двум образующим и двум дугам направляющей, равномерно сжатая вдоль образующих При $B^2/r\delta \le 20$ (B - ширина панели,измеренная по дуге направляющей) проверяется на устойчивость как пластика

при $\sigma \le 0.8R$, $\qquad \frac{B}{\delta} \le \sqrt{\sigma}$, $\qquad (6\ 28)$

где σ - расчетное напряжение в т/см^2

при $\sigma = R$, $\frac{B}{\delta} \le 76/\sqrt{4.2+R}$, ($R$ в т/см^2) (6 29)

Таблица 6 4

	σ_e МПа	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
η_2	185-280	1.0	1.0	0.93	0.9	0,88	0,85	0,83	0,8	0.773	0,74
	285-320	1,0	1.0	0,977	0,95	0,94	0,925	0,915	0,9	0,89	0,87
	325-385										
	390-500	1.0	1.0	0.977	0.95	0.94	0.935	0,93	0.913	0.905	0,9
	σ_e	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000
η_2	185-280	0.715	0.683	0.66	0.635	0.615	0.59	0.57	0,55	0.53	0,515
	285-320	0.845	0.84	0.825	0.81	0.8	0,78	0,765	0,74	0.715	0.695
	325-385										
	390-500	0.88	0.875	0.86	0.85	0.833	0825	0 81	0.805	0.79	0.775
	σ_e	4200	4400	4600	4800	5000	5200	5400	5600	5800	6000
η_2	185-280	0.5	0,435	0,475	0.46	0.445	0,435	0,425	0.415	0,404	0,394
	285-320	0.68	0.66	0.645	0.625	0.61	0.597	0.593	0,58	0,565	0.553
	325-385										
	390-500	0 76	0.75	0 735	0.72	0.705	0.69	0.675	0,665	0.65	0.635
	σ_e	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000		
η_2	185-280	0.373	0.35	0.334	0.318	0.304	0.289	0.278	0.267		
	285-320	0.517	0.49	0.47	0,448	0.43	0.411	0.394	0.382		
	325-385										
	390-500	0.606	0.577	0.55	0,53	0.516	0 491	0,474	0.458		

При $0{,}8R < \sigma < R$ для нахождения предельного соотношения допустима линейная интерполяция Если $\frac{B^2}{r\delta} > 20$, то панель проверяется на устойчивость как оболочка по п 6 7

6 18 Устойчивость сферической оболочки (или ее сегмента) при $\frac{r}{\delta} \le 750$ и действия внешнего равномерного давления нормально к поверхности оболочки проверяется по формуле $\sigma \le m\,\sigma_{кр}$, (6 30)

где $\sigma_{кр} = 0{,}1 \cdot \frac{E\,\delta}{r}$, но принимается не более, чем R Здесь σ определяется по (6 5)

6 19 Устойчивость сферического пояса, симметричного относительно двух взаимно перпендикулярных осей, при внешнем давлении определяется по формуле (6 30), где

$$\sigma_{кр} = \frac{E\,\delta}{r} \cdot \left(0.303 \cdot \sqrt{1 + 8.9 \cdot \frac{r^2\,\delta^2}{l^4}} + 0.9 \cdot \frac{\delta\, r}{l^2} \right) \quad (6\ 31)$$

Заделка краев пояса принимается шарнирной

6 20 Устойчивость конической оболочки вращения с учетом конусности $\beta \le 60^0$ (рис 6 1) сжатия усилием N вдоль оси проверяется по формуле $N \le m\, N_0$, (6 32)

где $N_0 = 2\,\pi\, r^*\, \delta\, \sigma_{кр1}\, \cos^2\beta$ (6 33)

$\sigma_{кр1}$ - определяется по п 6 7 с заменой r на $r^* = \dfrac{0.9\, r_1 + 0.1\, r_0}{\cos\beta}$

6 21 Коническая оболочка вращения при действии внешнего равномерного давления , действующего нормально к боковой поверхности, проверяется на устойчивость по формуле (6 15), где $\sigma_{кр} = 0{,}55\, E \cdot \dfrac{r^*}{L} \cdot \left(\dfrac{\delta}{r}\right)^{3/2}$ (6 34)

Здесь $\sigma_2 = \dfrac{p\, r^*}{\delta}$ - расчетное кольцевое напряжение в оболочке

6.22 Коническая оболочка вращения, подверженная одновременному действию нагрузок, указанных в п.п 6.20, 6.21, проверяется на устойчивость по формуле

$$\frac{N}{N_0} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{кр2}} \le m, \qquad (6\,35)$$

где N_0, $\sigma_{кр2}$ определяется выражениями (6 33), (6.34)

Прочность листовых конструкций в местах возникновения местных возмущений

6 23 Местные напряжения в цилиндрических оболочках от внутреннего давления p

а) Труба защемления по контуру (рис 6 5) Напряжения от изгиба определяются по формуле $\sigma_1 = \pm \dfrac{p r \cdot \sqrt{3 \cdot \left(1 - \nu^2\right)}}{\delta} \cdot \varphi_1 \cdot k_s \le m \cdot R,$ (6 36)

где φ_1 принимается по графику (рис 6 7) и по кривым зависимостям напряжений от β которые симметричны относительно значения $\beta = 90^o$

$k_s = 12$ - коэффициент, учитывающий характер изменения направления затухания краевого эффекта

б) Сопряжения двух труб, являющихся частью правильного замкнутого многоугольника, пересекающихся под углом 2α и усиленным по линии сопряжения абсолютно жестким кольцом (см рис 6 6)

Максимальные напряжения, возникающие в точках 1, 3 Меридиональные напряжения изгиба

$$\sigma_1 = \pm \frac{3 p r k_s}{\delta \cdot \sqrt{3 \cdot (1 - \nu^2)}} \cdot \varphi_2(\alpha) \le m \cdot R \qquad (6.37)$$

Кольцевые напряжения изгиба

$$\sigma_2 = \pm \frac{pr}{\delta} \cdot k_s \cdot \varphi_2(\alpha) \le m \cdot R, \qquad (6.38)$$

где $\varphi_2(\alpha)$ функция, зависящая от угла α и равная $\varphi_2 = \nu \cdot \frac{\nu + 0.5}{tg^2 \alpha} + \nu^2 -$

Соотношения (6.37) и (6 38) справедливы в пределах $\alpha \ge 3^o$

в) Сопряжения двух труб, являющихся частью правильного замкнутого многоугольника, пересекающихся под углом 2α (рис 6 6), но при отсутствии усиления

Максимальные местные меридиональные изгибные напряжения, возникающие в точках 1, 3, подсчитываются по формуле $\sigma_1 = \pm 1.575 \cdot \left(\frac{r}{\delta}\right)^{3/2} \cdot k_s \cdot \varphi_3(\alpha) \cdot p,$ (6 39)

где $\varphi_3(\alpha)$ принимается по таблице 6.5

таблица 6.5

α, град	30	45	50	60	70	80	90
$\varphi_3(\alpha)$	1,02	0,552	0,451	0,301	0,181	0,1012	0

Примечание Осевые мембранные напряжения определяются по формулам (6 3) и суммируются со значениями напряжений, полученных по (6 36 - 6 39)

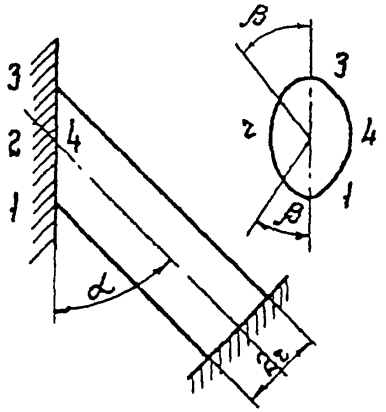


Рис. 6.5

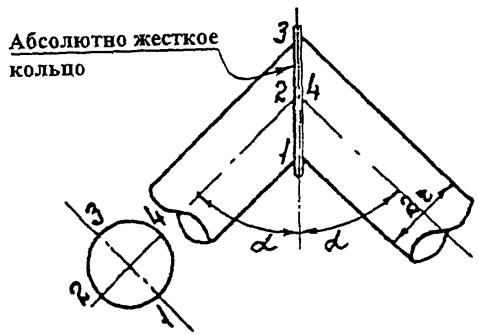


Рис. 6.6

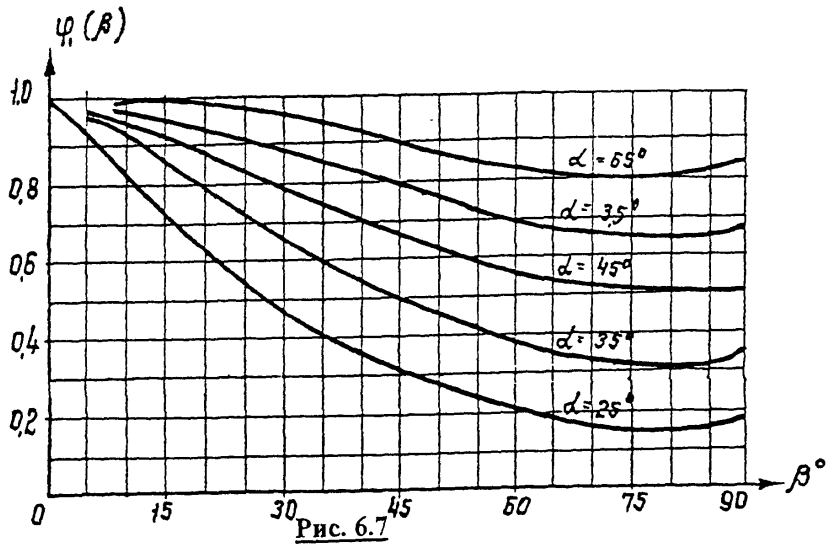


Рис. 6.7

г) Замкнутая цилиндрическая оболочка при наличии упругого кольца жесткости в зоне краевого эффекта $\sigma_1 = \pm \frac{p r^2 k^2}{\left(1-\nu^2\right)} \cdot \left(1-\frac{\nu \Phi}{p r}\right) \cdot \left(1-\frac{2 r_k^2}{\lambda F_k}\right) \le m \cdot R$ (6 40)

$$\sigma_2 = \frac{2 H_p r_k^2}{F_k r} + \nu\left(\frac{\Phi}{\delta} \pm \sigma_1\right) \le m \cdot R, \qquad (6\,41)$$

где $k = \frac{\sqrt[4]{3 \cdot (1-\nu^2)}}{\sqrt{r \delta}}$, $H_p = \frac{p r^2}{\delta \lambda} \cdot \left(1-\frac{\nu \Phi}{p r}\right)$ (6 42),

где $\lambda = \frac{k r^2}{\delta} + \frac{2 r^2}{F_k}$

При этом усилие в кольце жесткости (ребра) будет равно $N_k = 2 H_p \cdot r_k$ (6 43)

Φ - продольная осевая сила, равна $\frac{Q}{2 \pi r}$ при $\Phi \neq 0$

Если $\Phi = 0 \quad r = r_k \quad \nu = 0.$, то

$$\sigma_1 = \pm \frac{p r}{\delta} \cdot \frac{1.81 a}{(a+1)} \le m \cdot R \qquad (6\,44)$$

$$\sigma_2 = \frac{p r}{\delta} \cdot \frac{1}{(a+1)} \pm 0.3 \cdot \sigma_1 \le m \cdot R \qquad (6\,45)$$

где $a = \frac{k F_k}{2 \delta} = \frac{0.64 F_k}{\delta \sqrt{r \delta}}$, $k = \frac{1.28}{\sqrt{r \delta}}$ (6 46)

6 24 Изгиб оболочек вращения при симметричном загружении и при различных соосных пересечениях их друг с другом

δ_{11} – угол поворота края оболочки от единичного изгибающего момента в направлении действия этого момента

δ_{12} – угол поворота края оболочки от единичной поперечной силы в направлении действия изгибающего момента

δ_{22} – линейное перемещение края оболочки в плоскости параллельно круга от единичной силы в направлении действия силы Коэффициенты для подсчета единичных

перемещений δ_{ij} $(i = j = 1,2,3....)$ в оболочках вращения наиболее распространенных форм (при $\nu = 0.$) приведены в таблице 6 8, где

Δ_{1p} – угол поворота края оболочки от внешней нагрузки в направлении единичного изгибающего момента M_0

Δ_{2p} – линейное перемещение края оболочки в плоскости параллельно круга от внешней нагрузки в направлении действия единичной силы Q_0

Знаки величин перемещений δ_{ij} и Δ_{ij} приняты применительно к направлениям усилий и нагрузок , показанных в таблице 6 7

Уравнения канонические метода сил , на основание указанных выше компонент перемещений , составляются по обычным правилам строительной механики

Все сказанное выше относится к длинным оболочкам Для цилиндрической оболочки это условие записывается $L \geq 1.56 \cdot \sqrt{r\,\delta}$.

Для конусной оболочки это условие выражается следующим образом

$\left(\sqrt{S_2} - \sqrt{S_1}\right) > 0.8 \cdot \sqrt{\delta \cdot tg\beta}$, где β - половина угла раствора конуса (рис 6 11)

Дополнительная погрешность формул для конусной оболочки составляет $\sqrt{\frac{\delta}{r}} \cdot ctg\alpha$ по сравнению с единицей Если погрешность выходит за допустимые границе, то необходимо вводить поправки f_1 (табл 6 7)

6.25 Суммарные местные напряжения в местах пересечения оболочек вращения $(\nu = 0.3)$, при воздействии внутреннего давления

а) Цилиндрическая оболочка

$$\sigma_1 = \frac{p\,r}{2\,\delta} \pm \frac{6\,M_1}{\delta^2} \leq m \cdot R \qquad (6\,47)$$

$$\sigma_2 = \frac{p\,r}{\delta} \pm \frac{2\,r\,k}{\delta} \cdot \left(k\,M_1 + H\right) \pm \frac{1.8\,M_1}{\delta^2} \leq m \cdot R \qquad (6\,48)$$

$H = Q_1 \pm H_0$, где

H_0 - горизонтальная проекция продольных мембранных усилий

k - см формулу (6 46)

б) Коническая оболочка (см рис табл 6 7)

$$\sigma_1 = \frac{p\,r_0}{2\,\delta \cdot \sin\alpha} \pm \frac{Q_1 \cdot \cos a}{\delta} \pm \frac{6\,M_1}{\delta^2} \leq m \cdot R \qquad (6\,49)$$

$$\sigma_2 = \frac{p\,r_0}{\delta \cdot \sin\alpha} + \overline{\sigma_2} \pm \frac{6\,M_2}{\delta^2} \leq m \cdot R \text{ , где} \qquad (6\,50)$$

$$\overline{\sigma_2} = \pm 3.3\frac{M1}{\delta^2} \pm 2.56\sqrt{\frac{r\cdot\sin\alpha}{\delta}}\cdot\frac{Q_1}{\delta}$$

$$M_2 = 0.3\,M_1 + 0.34\,\delta\,Q_1\cdot\cos\alpha$$

В приведенном ниже приложения 2 , согласно формул и графиков, определяются напряжения в зонах возмущения при соосных сопряжениях конусов с цилиндрами и конусов друг с другом от воздействия внутреннего давления

Для пересечения ряда оболочек вращения (двух и трех) и в случае необходимости получения полного напряженного состояния в зоне краевого эффекта, в приложении 3 приводится краткое изложение методики расчета теории тонких оболочек вращения

6 26 Короткая цилиндрическая оболочка $\left(L \le 1.56\cdot\sqrt{r\,\delta}\right)$

Для определения единичных перемещений δ_{ij} короткой цилиндрической оболочки , сопряженной с другой осесимметричной оболочкой , соответствующее единичное перемещение , получаемое как для длинной оболочки по п 6.24, нужно умножить на коэффициент $\overline{\alpha_k}\,(k = 1,2,3)$, учитывающий влияние противоположного края нагруженного единичным моментом M_0 и единичной поперечной силой Q_0, т е

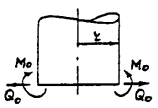
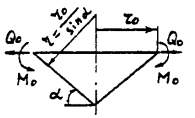
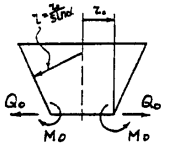
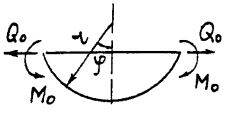
$$\overline{\delta}_{11} = \delta_{11}\cdot\overline{\alpha_1},\ \overline{\delta}_{12} = -\delta_{21} = \delta_{12}\cdot\overline{\alpha_2},\ \overline{\delta}_{22} = \delta_{22}\cdot\overline{\alpha_3}$$

В таблице 6 6 приведены значения $\overline{\alpha_k}$ для ряда значений $k\cdot L$ Величина k определяется из соотношения (6 42)

таблица 6 6

$k\cdot L$	$\overline{\alpha_1}$	$\overline{\alpha_2}$	$\overline{\alpha_3}$	$k\cdot L$	$\overline{\alpha_1}$	$\overline{\alpha_2}$	$\overline{\alpha_3}$
0,5	24,1866	12,0266	4,0052	1,6	1,3122	1,4303	1,3247
0,6	14,1111	8,3707	3,3375	1,7	1,2226	1,3269	1,2650
0,7	9,0060	6,1736	2,8636	1,8	1,1574	1,2461	1,2148
0,8	6,1561	4,7546	2,5098	1,9	1,1102	1,1830	1,1727
0,9	4,4487	3,7882	2,2360	2,0	1,0762	1,1341	1,1376
1,0	3.3700	3,1042	2,0189	2,1	1,0520	1,0966	1,1084
1,1	2,6602	2,6050	1,8433	2,2	1,0350	1,0680	1,0845
1,2	2,1782	2,2324	1,6991	2,3	1,0233	1,0467	1,0650
1,3	1,8430	1,9493	1,5795	2,4	1,0154	1,0310	1,0493
1,4	1,6057	1,7315	1,4795	2,5	1,0103	1,0198	1,0368
1.5	1.4354	1,5623	1,3955				

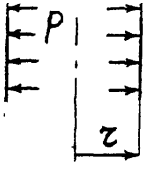
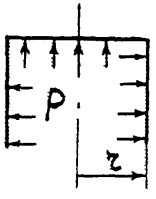
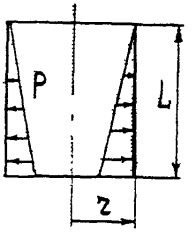
Таблица 6 7

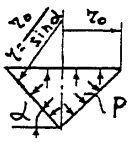
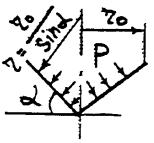
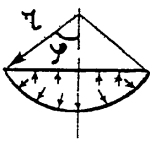
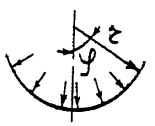
Оболочка	Эскиз	Примечание
1 Круговой цилиндр		$\rho_k = r$ $n_1 = k_1^0$ $n_2 = k_2^0$ $n_3 = k_3^0$ $k_1^0 = k_2^0 = k_3^0 = 1.0$
2 Круговой конус		$\rho_k = r$ $n_1 = 1 / f_1$ $n_2 = \sin\alpha$ $n_3 = f_2 \cdot \sin\alpha$ $f_1 = 1 + 0.72 \cdot \sqrt{\frac{\delta}{r}} \cdot ctg\alpha$ $f_2 = 1 - 0.195 \cdot \sqrt{\frac{\delta}{r}} \cdot ctg\alpha$
3 Усеченный круговой конус		$\rho_k = r$ $n_1 = 1/f_3$ $n_2 = \sin\alpha$ $n_3 = f_2 \cdot \sin\alpha$ f_2 – см п 2 $f_3 = 1 - 0.137 \cdot \sqrt{\frac{\delta}{r}} \cdot ctg\alpha$
4 Сфера		$\rho_k = r$ $n_1 = 1/w_1$ $n_2 = \sin\varphi$ $n_3 = A_w$ $A = \left(\frac{w_2 \sin\varphi}{w_1 \cdot 2} - 0.15 \cos\varphi\right) \times \sin\varphi \approx \sin^2\varphi$ $w_1 = 1 - \frac{0.2\ ctg\varphi}{k\ r}$ $w_2 = 2 - \frac{0.7\ ctg\varphi}{k\ r}$

$$\delta_{11} = \frac{8.5 \cdot \sqrt{\rho_k\ \delta}}{\delta^3\ E} \cdot n_1; \quad \delta_{12} = \delta_{21} = 0.39 \cdot \sqrt{\rho_k\ \delta} \cdot \delta_{11} \cdot n_2;$$

$$\delta_{22} = 0.78 \cdot \sqrt{\rho_k\ \delta} \cdot \delta_{12} \cdot n_3$$

таблица 6 8

Оболочка	Эскиз	Примечание
1 Круговой цилиндр не замкнутый		$\Delta_{1p} = 0 \qquad S_k = \frac{p\,r^2}{\delta\,E}$ $\Delta_{2p} = S_k$
2 Круговой цилиндр замкнутый		$\Delta_{1p} = 0 \qquad S_k = \frac{p\,r^2}{\delta\,E}$ $\Delta_{2p} = 0{,}85 \cdot S_k$
3 Круговой цилиндр при гидро-статическом давлении		*для верха* $\Delta_{1p} = \frac{S_k}{L} \qquad S_k = \frac{p\,r^2}{\delta\,E}$ $\Delta_{2p} = 0$ *для низа* $\Delta_{1p} = \frac{S_k}{L}, \quad \Delta_{2p} = S_k$
4 Нагрев равно-мерный по толщине ци-линдрической оболочки		$\Delta_{1p} = 0$ $\Delta_{2p} = \alpha \cdot r \cdot T$

Оболочка	Эскиз	Примечание
5 Круговой конус замкнутый		$\Delta_{1p} = S_k \cdot f_1;\quad f_1 = \frac{1.5 \cdot ctg\alpha}{r}$ $\Delta_{2p} = S_k \cdot f_2,\quad f_2 = 0.85 \cdot \sin\alpha$
6 Круговой конус открытый		$\Delta_{1p} = \frac{S_k \cdot f_1}{0.85} \cdot f_1;\quad f_1 = \frac{1.5 \cdot ctg\alpha}{r}$ $\Delta_{2p} = S_k \cdot \sin\alpha;\quad f_2 = 0.85 \cdot \sin\alpha$
7 Нагрев равномерный по толщине кругового конуса		$\Delta_{1p} = 0$ $\Delta_{2p} = \alpha \cdot r \cdot T$
8 Сферическая замкнутая		$\Delta_{1p} = 0 \quad S_k = \frac{p\,r^2}{\delta\,E}$ $\Delta_{2p} = S_k \cdot f_3 \quad f_3 = 0.35 \cdot \sin\varphi$
9 Сферическая открытая		$\Delta_{1p} = 0 \qquad S_k = \frac{p\,r^2}{\delta\,E}$ $\Delta_{2p} = \frac{S_k}{2} \cdot \sin\varphi$
10 Нагрев равномерный сферической оболочки		$\Delta_{1p} = 0 \quad \Delta_{2p} = \alpha \cdot T \cdot \sin\varphi$

6 27 Напряжения у внутренней поверхности замкнутой сферической оболочки в произвольной точке с координатой x, отсчитываемой от контура оболочки (см. рис 6 8 а, б) определяется по формулам

а) при загружении по контуру равномерно распределенным моментом M (при $\nu = 0.$)

$$\sigma_x = \frac{2M}{\delta}\cdot e^{-kx}\cdot\left[\frac{4.23}{\delta}\cdot\cos\left(kx-\frac{\pi}{4}\right)-k\cdot ctg\varphi\cdot\sin kx\right]$$

$$\sigma_y = \frac{2M}{\delta}\cdot e^{-kx}\cdot\left[\frac{1.27}{\delta}\cdot\cos\left(kx-\frac{\pi}{4}\right)-\sqrt{2}\cdot k^2\cdot\sin(kx-\frac{\pi}{4})\right] \quad (6\,51)$$

Величина k определяется по (6 46)

б) При загружении по контуру равномерно распределенной нагрузкой q (при $\nu = 0.$)

$$\sigma_x = \frac{q\cdot\sin\varphi_0}{\delta}\cdot e^{-kx}\cdot\left[\frac{6}{k\delta}\cdot\sin kx+\sqrt{2}\cdot ctg\varphi\cdot\cos(kx+\frac{\pi}{4})\right]$$

$$\sigma_y = \frac{q\cdot\sin\varphi_0}{\delta}\cdot e^{-kx}\cdot\left[\frac{1.8}{k\delta}\cdot\sin kx+2\cdot r\cdot k\cdot\cos kx\right] \quad (6\,52)$$

В приведенных соотношениях величина k определяется по (6 46)

в) Угол поворота и радиальное перемещение на контуре равны

$$\theta = \frac{M}{D^k} \qquad \omega = \frac{M}{2k^2D}\cdot\sin\varphi_0 \quad (6\,53)$$

6 28 Цилиндрическая оболочка с плоским днищем (рис. 6.9), загруженная постоянным внутренним давлением

Величина изгибающего момента и поперечной силы определяется по формулам (при ν=0 3)

$$M_1 = 0.2575pr\delta\cdot\frac{\left(\frac{0.963\,r\delta\sqrt{r\delta}}{\delta_1^3}+1\right)}{\left(\frac{1.99\delta^2\sqrt{r\delta}}{\delta_1^3}+1\right)}, \quad (6\,54)$$

$$Q_1 = -KM_1 + 0.425\frac{p}{K},$$

• где K определяется из соотношения (6.46), а δ_1 относится к плоскому днищу

Соответственно напряжения меридиональные равны

$$\sigma_1 = 1.545\frac{pr}{\delta}S,$$

где

$$S = \frac{\left(\frac{0.963r\delta\sqrt{r\delta}}{\delta_1^3}+1\right)}{\left(\frac{1.99\delta^2\sqrt{r\delta}}{\delta_1^3}+1\right)} \qquad (6\,55)$$

Если $\delta_1 \to \infty$, то S=1 и $\sigma_1 = 1.545pr/\delta$ - меридиональные изгибные напряжения в случае жесткого защемления цилиндрической оболочки С учетом мембранных напряжений для жесткого защемления

$$\sigma_1 = 2.045\frac{pr}{\delta} \le mR, \qquad (6\,56)$$

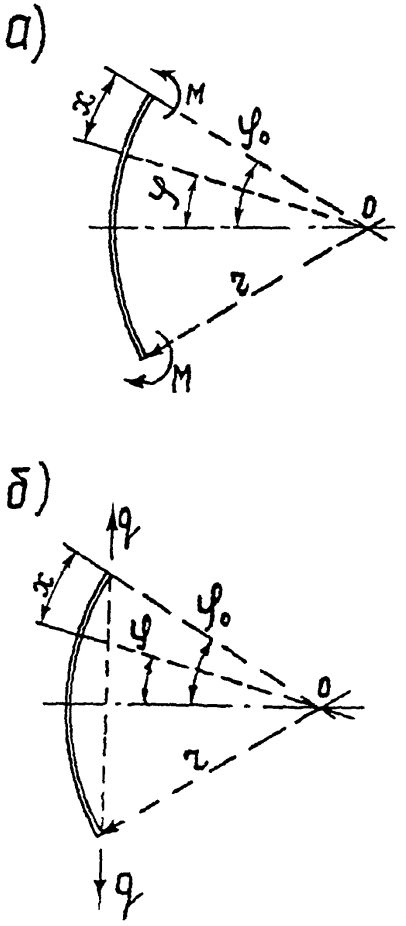


Рис. 6.8

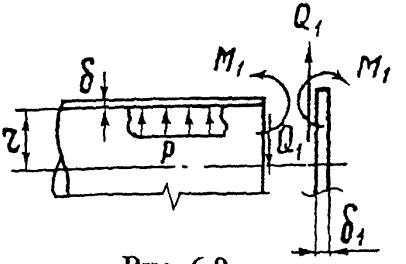


Рис. 6.9

6 29 Предельное состояние оболочек вращения в зоне краевого эффекта по возникновению пластической зоны.

а) Зона пересечения двух соосных конусов с различными внешними углами (рис 6 10)

Предельная нагрузка определяется по формуле

$$p = \frac{\sigma_T \delta}{r} \eta \qquad (6\ 57)$$

где величина η определяется постановкой в уравнение

$$0.5\eta\sqrt{\frac{r}{\delta}}\left(tg\beta_1 + tg\beta_2\right) = \frac{\sqrt{\cos\beta_1 + \eta}}{\cos\beta_1} + \frac{\sqrt{\cos\beta_2 + \eta}}{\cos\beta_2}$$

В этом случае выражение (6 57) должно тождественно удовлетворятся

При $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ предельная нагрузка определяется по формуле

$$p = \frac{2\sigma_T}{\sin^2\beta}\frac{\delta^2}{r^2}\left(\sqrt{\frac{\sqrt{3}}{2}\frac{r}{\delta}\sin^2\beta\cdot\cos\beta + 1} + 1\right) \qquad (6\ 58)$$

б) Зона пересечения конуса и цилиндра (рис 6 11)

Необходимая толщина оболочки в этом случае определяется по формуле

$$\frac{\delta}{r} = \frac{0.25\eta^2\sin^2\beta}{\left(\sqrt{\cos\beta + \eta} + \cos\beta\sqrt{1+\eta}\right)^2}, \qquad (6\ 59)$$

где $\eta = \dfrac{pr}{\sigma_T \delta}$

Температурные воздействия на листовые конструкции.

6 30 Цилиндрическая оболочка под воздействием температурного перепада ΔT по толщине оболочки в местах удаления от края Напряжения в крайних волокнах определяются по формуле

$$\sigma_T = \sigma_1 = \sigma_2 = \mp\frac{\alpha\, E\Delta T}{2(1-\nu)} \qquad (6\ 60)$$

6 31 Тонкая длинная полоса (ребро), присоединенная к телу Напряжения в ребре определяются по формуле (см рис 6 12)

$$\sigma_y = -\alpha\, E\Delta T\frac{ch\cdot\overline{m}(b-x)}{ch\cdot m\cdot b}, \qquad (6\ 61)$$

где $\overline{m} = \sqrt{\dfrac{2K_p}{\lambda_p\delta}}, \qquad \Delta T = T_m - T_p;$

K_p - коэффициент теплопередачи ребра;

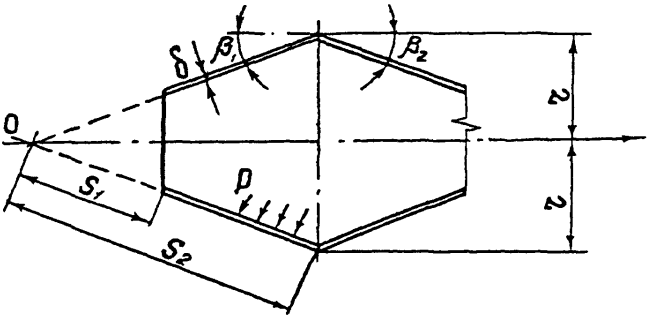


Рис. 6.10

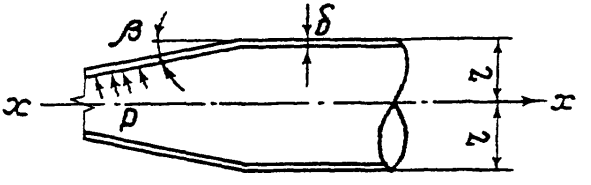


Рис. 6.11

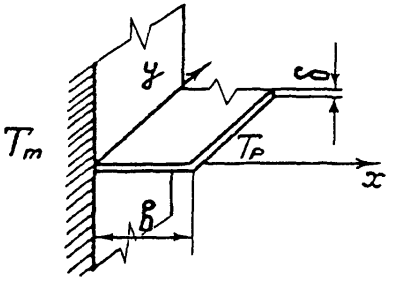


Рис. 6.12

λ_p - коэффициент теплопроводности ребра

При X=0 $\sigma_y = -\alpha E \Delta T$ (6 62)

6 32 Напряжения на поверхности прямоугольной (кольцевой) пластины при температурном перепаде

а) Пластина защемлена по контуру по формуле (6 60)

б) Пластина шарнирно закрепленная

$$\sigma_t = \sigma_1 = \sigma_2 = \mp 0.5\alpha E \Delta T, \quad (6\ 63)$$

6 33 Температурные напряжения в замкнутой цилиндрической оболочке в зоне возмущения при наличии упругого кольца жесткости

При $r = r_p$, $\nu = 0.3$

$$\sigma_1 = \pm\left(\overline{\sigma_{1t}} + \overline{\sigma_t}\right),$$

$$\sigma_2 = -\alpha\left(T_0 - T_K\right)E\frac{a}{a+1} \pm \left(0.3\overline{\sigma_{1t}} + \overline{\sigma_t}\right), \quad (6\ 64)$$

где $\overline{\sigma_{1t}} = 1.81\alpha\left(T_0 - T_K\right)E\frac{a}{a+1}$, $\overline{\sigma_t} = 0.714\alpha E \Delta T$ (6 65)

Величина a определяется по формуле (6 46)

Нагружение цилиндрической оболочки локальными нагрузками.

6 34 Нагружение оболочки внешним окружным моментом действующим перпендикулярно образующей цилиндрической оболочки (рис 6.21)

а) Величины значений внутренних моментов M_1 принимаются по графику рис 6 14 для квадратной площадки опирания C - половина ширины квадратной площади опорной площадки

б) Величины значений внутренних моментов M_2 принимаются для квадратной площадки опирания по графику рис 6 13 Если опорная площадка приложения окружного момента будет прямоугольной, то величина β определяется по формуле

$$\beta = \frac{K}{r}\sqrt[3]{C_1^2 C_2} \quad \text{в} \quad \text{а) и б)} \quad (6\ 66)$$

C_1 - половина ширины опорной площадки в окружном направлении,

C_2 - половина ширины опорной площадки в продольном направлении,

K_c - коэффициент, принимаемый по таблице 6 9

Примечание графики справедливы при $\frac{L}{r} \geq 1.0$

в) Величины значений внутренних усилий N_1 принимаются для квадратной площадки опирания по графику рис 6 16

г) Величины значений N_2 принимаются для квадратной площадки опирания по графику рис 6 15

Если опорная площадка приложения окружного момента будет прямоугольной, то величина β в в) и г) определяется из соотношения

$$\beta = \frac{1}{r}\sqrt[3]{C_1^2 C_2}, \qquad (6\,67)$$

и по полученному значению β на рис 6 15, 6 16 для заданного значения $\gamma = \frac{r}{\delta}$ находят величины N_1 и N_2, которые затем умножают на коэффициент K_c, принятый по таблице 6 9

Таблица 6 9

C_1/C_2	r/δ	K_c для				C_1/C_2	r/δ	K_c для			
		M_2	M_1	N_2	N_1			M_2	M_1	N_2	N_1
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1/4	15	1.31	1 84	0.31	0 49	1/2	300	0 99	1 13	0.39	0 77
1/4	50	1.24	1 62	0.21	0 46	2	15	1.20	0 97	1 70	1 30
1/4	100	1 16	1 45	0 15	0 44	2	100	1.10	0 95	1 43	1 12
1/4	300	1 02	1 17	0.09	0 46	2	300	1 0	0.9	1 30	1 0
1/2	15	1 09	1.36	0 64	0 75	4	15	1 47	1 08	1 75	1 31
1/2	50	1 08	1.31	0.57	0 75	4	100	1.38	1 06	1 49	0 84
1/2	100	1 04	1 26	0.51	0 76	4	300	1.27	0 98	1 35	0 74

6 35 Нагружение оболочки продольным местным моментом M, действующим вдоль образующей цилиндрической оболочки (рис 6.22)

а) Величины значений внутренних моментов M_1, принимаются по графику на рис 6 17 для квадратной площадки опирания

б) Величины значений внутренних моментов M_2 соответственно определяются по графику на рис. 6 18 для квадратной площадки опирания

При прямоугольной площадке приложения продольного момента M величина β определяется по формуле

$$\beta = \frac{K_1}{r}\sqrt{C_1 C_2} \qquad (6\,68)$$

K_1 - коэффициент, принимаемый по табл 6 10

Таблица 6 10

C_1/C_2	r/δ	K_1 для				C_1/C_2	r/δ	K_1 для			
		M_2	M_1	N_2	N_1			M_2	M_1	N_2	N_1
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1/4	15	1 80	1 24	0 75	0 43	2	15	0 94	1 12	0 87	1 3
1/4	50	1 65	1 16	0 77	0 33	2	100	0 89	1 07	0 81	1 15
1/4	100	1 59	1 11	0.80	0.24	2	300	0 79	0 9	0 80	1 50
1/4	300	1.56	1 11	0 90	0 07	4	15	0 90	1 24	0 68	1 20
1/2	15	1 08	1 04	0 90	0 76	4	100	0 54	1 12	0 51	1 03
1/2	100	1 06	1 02	0 97	0 68	4	300	0 64	0 83	0 50	1 33
1/2	300	1 05	1 02	1 10	0 68						

в) Величины значений внутренних усилий N_1 принимаются для квадратной площадки опирания по графику рис 6 20

г) Величины значений внутренних усилий N_2 принимаются для квадратной площадки опирания по графику рис 6 19

При прямоугольной опорной площадке приложения продольного момента M величина β определяется по формуле (6 67) и для заданного значения $\gamma = \dfrac{r}{\delta}$ находят величины N_1 и N_2, которые затем умножают на коэффициент K_1 по табл 6 10

6 36 Нагружение цилиндрической оболочки местной сосредоточенной силой P приложенной вдоль образующей или в окружном направлении в плоскости срединной поверхности оболочки

Максимальные напряжения при ($\nu = 0.3$) равны

$$\sigma = \sigma_1 = \sigma_2 = \pm 0.263 \frac{P}{\rho\delta}, \qquad (6\ 69)$$

6 37 Нагружение цилиндрической оболочки местной сосредоточенной радиальной силой P, действующей нормально к плоскости срединной поверхности оболочки

Максимальные напряжения при ($\nu = 0.3$) равны

$$\sigma = \sigma_1 = \sigma_2 = \pm 0.631 \frac{P}{\delta^2} \ln \frac{r}{\rho}, \qquad (6\ 70)$$

Знак плюс (6 69) и (6 70) соответствует точкам внутренней поверхности, а минус - точкам внешней поверхности

6 38 Нагружение цилиндрической оболочки осевой силой , действующей вдоль образующей в плоскости срединной поверхности оболочки, равномерно распределенной по отрезку l_1 образующей (см в приложении 1)

Максимальные напряжения при ($\nu = 0.3$) равны

$$\sigma_1 = \pm 0.263 \frac{P_1}{l_1\delta} \ln \frac{r}{\rho} \qquad (6\ 71)$$

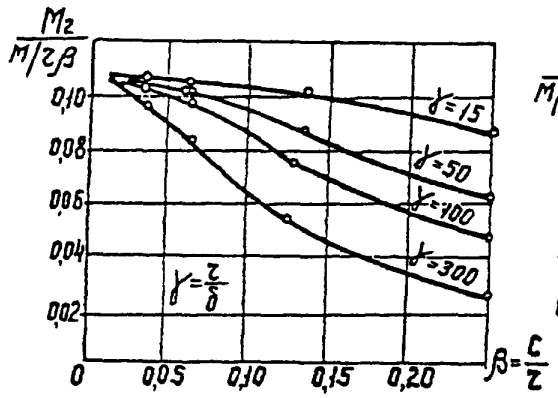


Рис. 6.13

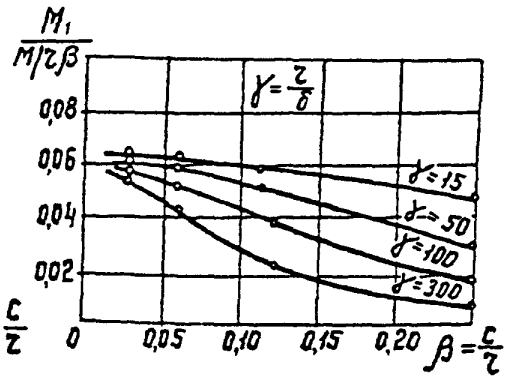


Рис. 6.14

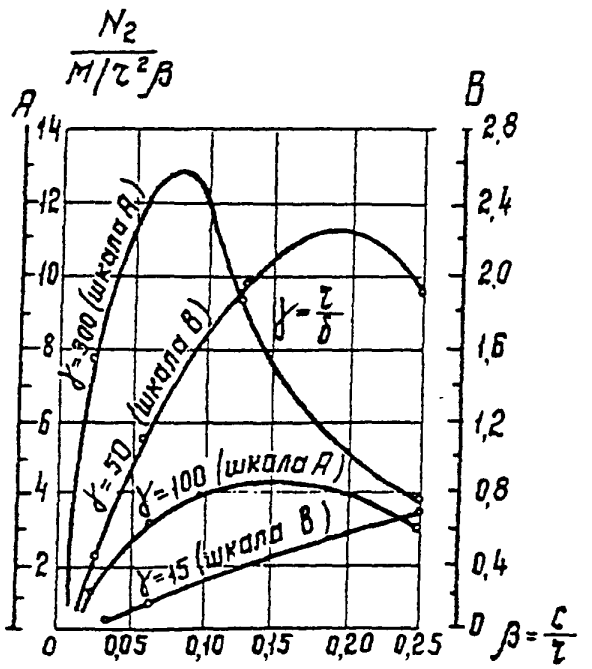


Рис. 6.15

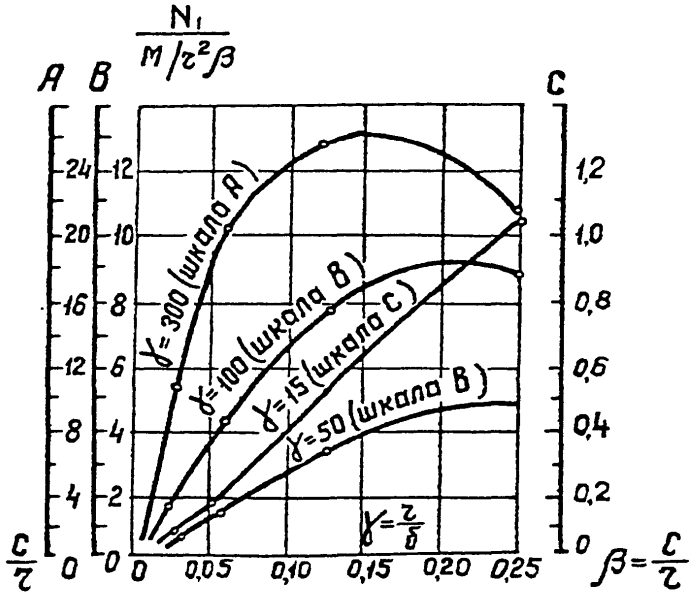


Рис. 6.16

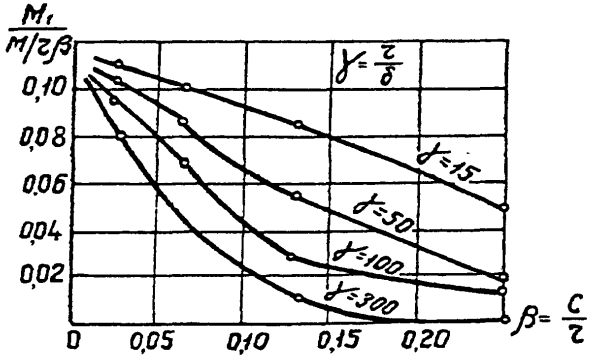


Рис. 6.17

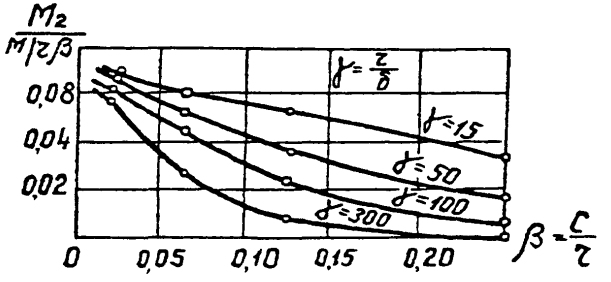


Рис. 6.18

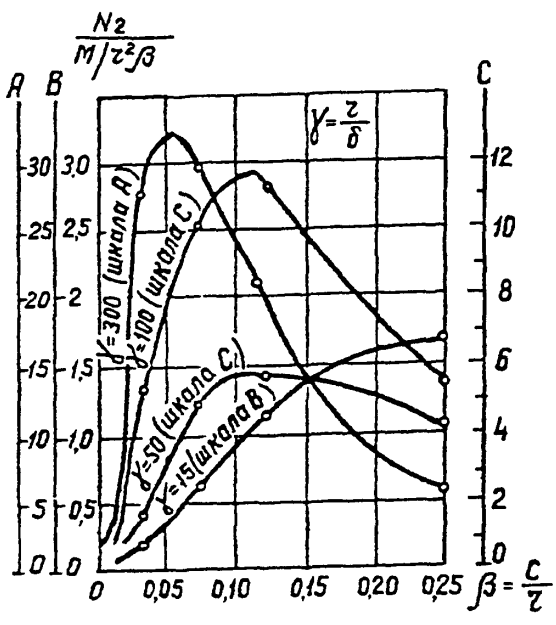


Рис. 6.19

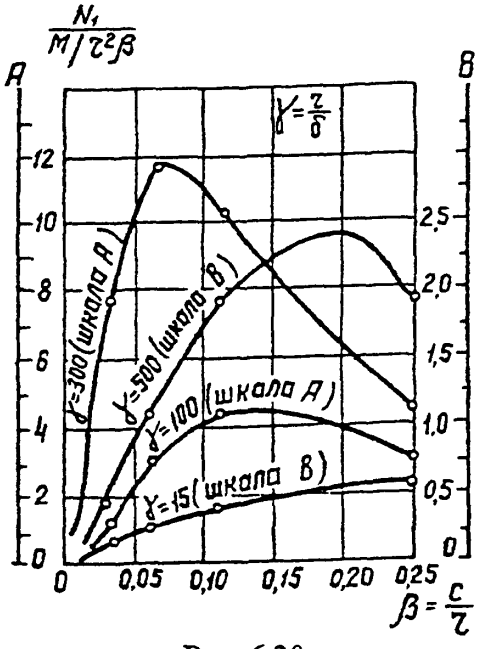
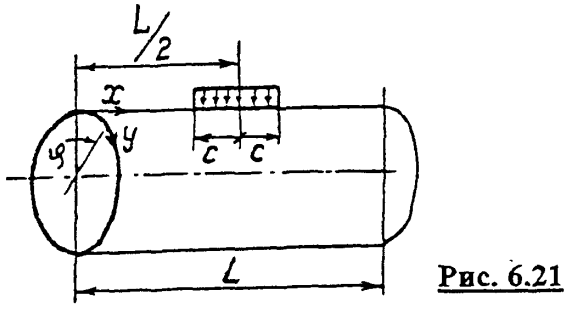


Рис. 6.20



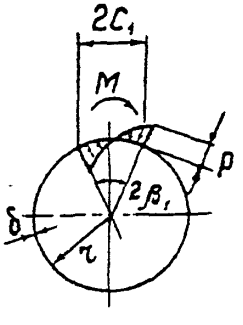
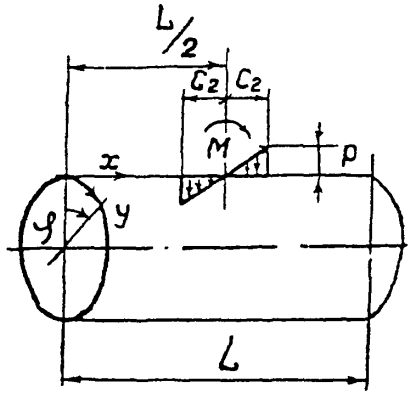


Рис. 6.21



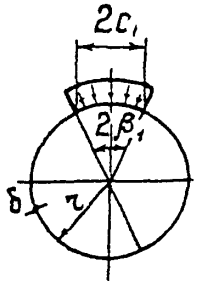


Рис. 6.22

6 39 Нагружение цилиндрической оболочки окружной силой P_2, действующей перпендикулярно образующей в плоскости срединной поверхности оболочки, равномерно распределенной по отрезку образующей в окружном направлении

Максимальные напряжения при ($\nu = 0.3$) равны

$$\sigma_2 = \pm 0.056 \frac{P_2}{l_k \delta} \ln \frac{r}{\rho}, \qquad (6\ 72)$$

где ρ принимается по концам отрезка l_k образующей

6 40 Нагружение цилиндрической оболочки равномерно распределенном по отрезку l_k образующей моментом M_1 действующим вдоль образующей

Наибольшие касательные напряжения при ($\nu = 0.3$) равны

$$\tau = 0.334 \frac{M_1}{l_k \delta^2} \ln \frac{r}{\rho} \qquad (6\ 73)$$

Значение ρ принимается аналогично п 6 38

6 41 Нагружение цилиндрической оболочки равномерно распределенном по отрезку окружности S_a моментом M_2 действующим перпендикулярно образующей

Наибольшие касательные напряжения (при ν=0 3) равны

$$\tau = 0.334 \frac{M_2}{S_a \delta} \ln \frac{r}{\rho} \qquad (6\ 74)$$

где ρ принимается по концам отрезка S_a

6 42 Нагружение цилиндрической оболочки осевой силой P_1 равномерно распределенной по отрезку направляющей окружности, действующей вдоль образующей

Наибольшие касательные напряжения (при ν=0 3)

$$\tau = \frac{0.058 P_1}{S_a \delta} \ln \frac{r}{\rho} \qquad (6\ 75)$$

где ρ принимается по концам отрезка S_a

6 43 Нагружение цилиндрической оболочки окружной силой равномерно распределенной по отрезку S_a направляющей окружности и действующей перпендикулярно образующей Наибольшие напряжения при ν=0 3 равны

$$\sigma_2 = \pm \frac{0.263 P_2}{S_a \delta} \ln \frac{r}{\rho} \qquad (6\ 76)$$

где ρ принимается по концам отрезка S_a

6 44 При действии радиальной силы P ширина $2c$ усиливающей квадратной накладкой, обеспечивающей прочность оболочки за пределами этой накладки, принимается равной

$2c = 2re^{\alpha_н \delta^2}\left(1 - e^{\alpha_н \delta_н^2}\right)$, где $\alpha_н = -\dfrac{R}{0.62P}$,

$\delta_н^{\ 2} = \left(\delta_0^{\ 2} - \delta^{\ 2}\right)$, δ_0 - общая толщина металла, необходимая в зоне воздействия силы P, но не менее ρ Общая толщина металла определяется по п 6 37

Ширина квадратной накладки должна быть при этом $c \le 2.5\sqrt{r\delta_0}$

Если $c > 2.5\sqrt{r\delta_0}$,то необходимо или увеличить жесткость накладки, не меняя толщины обечайки или увеличить толщину обечайки, не меняя жесткость накладки по формуле

$$\delta_{накл} = 0.16\frac{[c]^2}{r} - \delta$$

где $[c]$ - требуемая половина ширины усиливающей накладки, определяется для значения $\delta_н$, полученного из условия прочности с учетом соотношения (6 70)

Крепление усиливающих накладок к стенке сосуда должно обеспечивать совместную работу обечайки оболочки и усиливающей накладки

Концентрация напряжений в зоне отверстий

6 45* Всестороннее растяжение пластины в зоне нескольких круговых линейно расположенных отверстий (см рис 6 23) Коэффициент концентрации напряжений K_α определяется по графику рис 6.23 в зависимости от отношения $в / \alpha$, для $\sigma_{(1)}$ - по кривой 1, для $\sigma_{(2)}$ - по кривой 2 При точности вычислений, не превышающих 6%, ширина элемента должна быть не менее пяти диаметров отверстия

Максимальные напряжения в точке 1 от действия $\sigma_{(1)}$ и соответственно точке 2 - от $\sigma_{(2)}$ равны

$$\sigma_{max} = K_i\sigma_{(i)}, \qquad (i=1,2) \qquad (6\ 77)$$

где $K_1 = \dfrac{K_\alpha}{\left(1 - \alpha / в\right)}$ для $\sigma_{(1)}$, $K_2 = K_\alpha$ для $\sigma_{(2)}$

6 46 Ослабление пластины системой одинаковых круглых отверстий

Коэффициенты концентрации напряжений K_i (i=1,2,3) определяются по графикам рис 6 25, 6 26 в зависимости от отношения $\alpha / в$ Максимальные напряжения в этом случае равны

$$\sigma_{max} = K_i\sigma \qquad (i=1,2,3) \qquad (6\ 78)$$

где K_1 - коэффициент концентрации при всестороннем растяжении ,

K_2 - коэффициент концентрации при одностороннем растяжении,

K_3 - коэффициент концентрации при чистом сдвиге,

σ - меридиональные или кольцевые мембранные напряжения при упругой работе

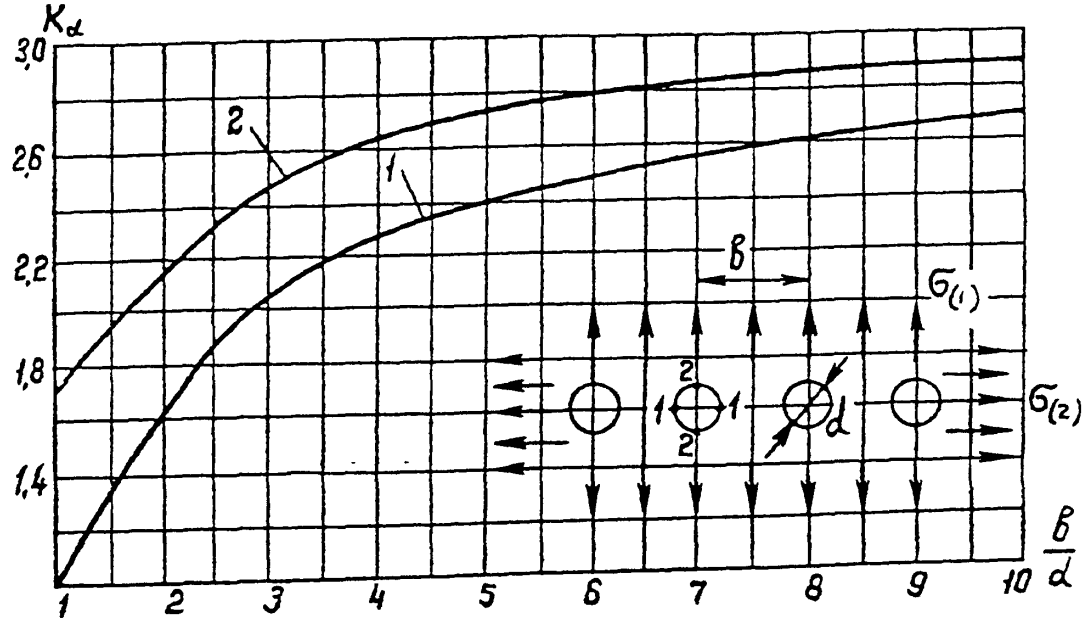


Рис. 6.23

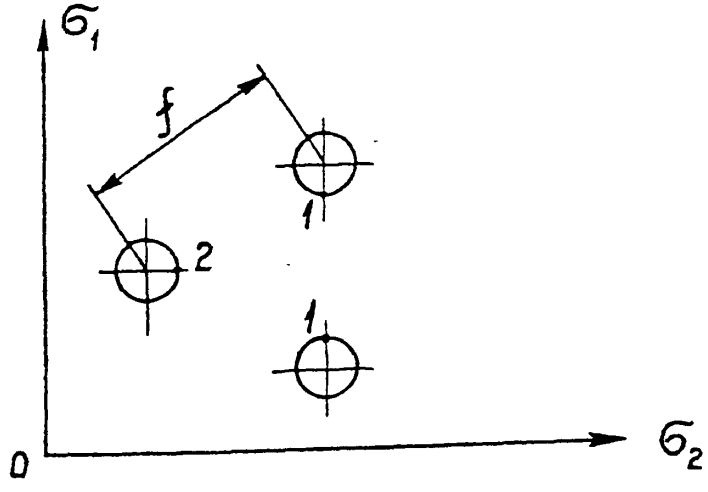


Рис. 6.24

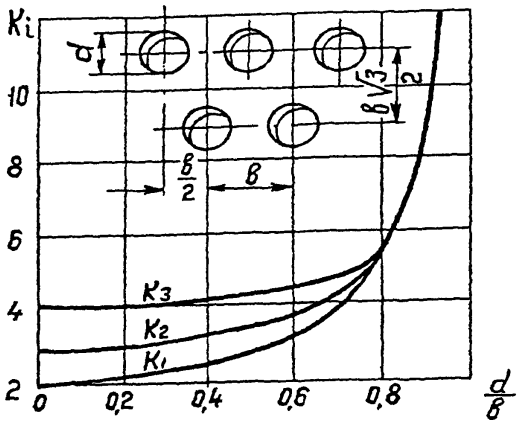


Рис. 6.25

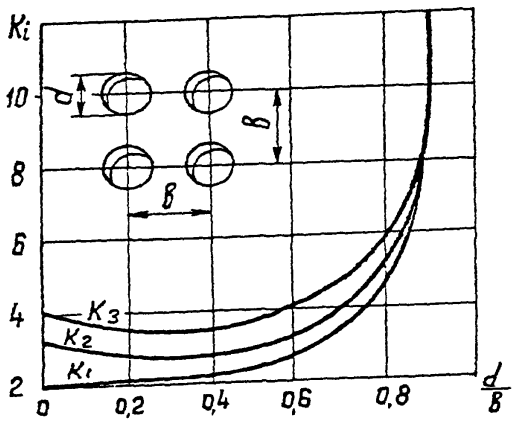


Рис. 6.26

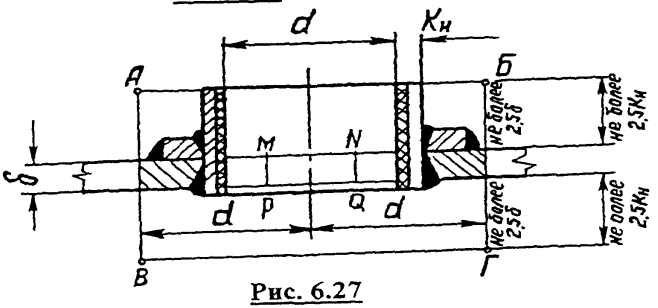


Рис. 6.27

6 47 Перфорированные цилиндрические оболочки, рассчитываются как сплошные

Максимальные напряжения равны (при $\widetilde{K} = \dfrac{d}{f} < 0.35$)

$$\sigma_{max} = K_0 \sigma_i \quad (i=1,2) \qquad (6\ 79)$$

где $K_0 = \dfrac{n}{\left(1-\widetilde{K}\right)}$ Значения n для различных сооружений изменяется в пределах

$1.0 \le n \le 2.0$ При $0.2 \le \widetilde{K} \le 0.35$ необходимо выполнять дополнительную проверку напряжений по формулам (6 80)

f - минимальное расстояние между центрами соседних отверстий

Если отверстия расположены по вершинам равносторонних треугольников и $\widetilde{K} \ge 0\ 35$ (см рис 6 24), напряжения в точках 1 и 2 равны

$$\sigma_{(1)} = \left(D^0 + A^0 \varepsilon^{\ 0}\right)\sigma_2 - \frac{1}{3} A^0 \varepsilon^{\ 0} \sigma_1 \qquad (6\ 80)^{**}$$

$$\sigma_2 = B^0 G^0 \sigma_2 + \left[\frac{4}{3} F^0 - G^0\left(\frac{1}{3} B^0 + \frac{4}{3} C^0\right)\right]\sigma_1,$$

где $A^{\ 0}, B^{\ 0}, C^0, D^0, G^{\ 0}, F^0, \varepsilon^{\ 0}$ - коэффициенты, зависящие от материала оболочки и степени перфорации, при $\nu = 0.3$ приведены в табл 6 11

Таблица 6 11

Коэффициенты	Значение коэффициентов при величине перфорации $\widetilde{K}$							
	0 2	0 3	0 4	0 5	0 6	0 7	0 8	0 9
$A^{\ 0}$	-0 1275	-0 1133	-0 0973	-0 0793	-0 0599	-0 0402	-0 0225	-0 0
$B^{\ 0}$	-0 0057	-0 0150	-0 0341	-0 0520	-0 0688	-0 0844	-0 0989	-0 1
C^0	0 0262	0 0393	0 0524	0 0657	0 0786	0 0917	0 1049	0 1
D^0	1 25	1 459	1 667	2 00	2 50	3 333	5 000	10 0
$G^{\ 0}$	-25 96	-24 15	-24 31	-25 66	-28 06	-31 62	-36 70	-43 0
F^0	0 8479	0 9071	0 9752	1 0644	1 1475	1 2587	1 3937	1 5
$\varepsilon^{\ 0}$	-18 815	-17 257	-17 490	-19 042	-22 220	-29 218	-41 080	-79

** Проверка по (6 80) выполняется при вероятности работы конструкции в условиях переменного режима нагружения

6 48 Укрепление оболочки в местах ослабления отдельными отверстиями

а) максимальный диаметр неукрепленных отверстий (в см) в сосудах и оболочках должен быть не более (рис 6 27)

$$\alpha = 4.73 \cdot \sqrt[3]{\rho\delta\left(1 - K_H\right)}, \qquad (6\,81)$$

но ≤ 200 мм или не больше величины равной 0 3 r

Значение K_H определяется по формуле,

$$K_H = \frac{2Pr}{\left(1.93R - P\right)\delta}$$, но ≤ 0 99

б) Укрепление отверстия в оболочках выполняется по следующему правилу

В продольном и поперечном сечении оболочки площадь вырезанного из стенки (для получения отверстия) металла должна быть компенсирована соответствующим металлом, прикрепленным к краям выреза, причем должно быть выполнено указанное ниже требование (рис 6 27)

Площадь сечения металла в пределах прямоугольника АБГВ с учетом сварных швов должна быть не менее площади 2dδ минус площадь MNPQ

При этом из площади сечения металла в пределах прямоугольника АБГД вычитается площадь сечения стенок штуцера (штриховка крестиком), соответствующая толщине, необходимой для восприятия внутреннего давления цилиндрической частью этого штуцнра

При этом толщина δ определяется расчетом из условия восприятия внутреннего давления Площадь MNPQ должна соответствовать диаметру допускаемого неукрепленного отверстия

Присоединение укрепляющих элементов к стенке сосуда по полупериметру должно обеспечивать восприятие усилия, равного 1.25 прочности сечения элемента усиления

Определение габаритов АБГД дано на рис 6 27 При этом принимается наименьший из размеров 2 5δ или 2 5S

Расчет на малоцикловую усталость кожуха воздухонагревателя.

6 49 Проверочный расчет на малоцикловую усталость производится после установления основных параметров расчетных элементов с учетом всех расчетных нагрузок

Расчет сопротивления малоцикловому разрушению производится по амплитудам приведенных условных упругих напряжений цикла $\left(\sigma_a^{\cdot}\right)_{np}$ равным половине произведения размаха местной деформации на модуль упругости Или то же $\left(\sigma_a^{\cdot}\right)_{np} = 0.5\sigma_a$,

где σ_a - размах приведенных напряжений по теории наибольших касательных напряжений с учетом коэффициента концентрации напряжений α_σ или $K_\sigma^{\cdot}$ (см п 6 50, 6 51)

Расчет справедлив для воздухонагревателей из малоуглеродистой и низколегированной стали $0.5 < \sigma_{0.2}/\sigma_в < 0.8$ в интервале температур -40°С–+360°С

6 50 Приведенные напряжения $(\sigma_1 - \sigma_2)^*$, σ_1^* и σ_2^* для рассчитываемых областей определяются путем умножения каждой составляющей номинального напряжения σ_1 и σ_2 в стенке воздухонагревателя на упругий коэффициент концентрации напряжений в данном направлении

Для расчета по п 6 53 принимается наибольшая из величин приведенных напряжений

Величины номинальных напряжений определяются по формулам

$$\sigma_1 = \frac{P_в r}{2\delta} + \frac{P_ф f}{\delta} H, \qquad \sigma_2 = \frac{r}{\delta}\left(P_ф + 0.8 P_в\right),$$

где $P_ф$ - установившееся давление на кожух от футеровки, определяемое величиной напряжений, которое деформативный материал, используемый для заполнения компенсационных зазоров в футеровке, способен воспринимать длительное время без дальнейшей релаксации (определяется на основании испытаний используемого материала), но не более давления футеровки на кожух, полученного при расчете воздухонагревателя по разделу 7 Для матов МТКУ, изготовленных на основе каслиновой и высокоглиноземной ваты $P_ф$=2 кгс/см^2

$P_в$ - в кгс/ см^2 нормативное внутреннее давление дутья,

f - коэффициент трения в системе футеровка- кожух

H - расстояние между температурными швами, футеровки или расстояние от рассчитываемого сечения до верха цилиндрической части воздухонагревателя, но не более 2/3 общей высоты цилиндрической части (см раздел 7)

Значения упругих коэффициентов концентрации напряжений в поперечном к оси шва направлениях для основных типов сварных соединений конструкций воздухонагревателей приведены в табл 6 12 Значения номинальных напряжений принимаются без учета коэффициентов перегрузки и коэффициента условия работы сооружения

Величина α_σ для расчета действительна, если $(\sigma_{max})_{пр} \cdot \alpha_\sigma \le \sigma_{0.2}$ В противном случае имеет место появления упруго- пластических деформаций

6 51 При возникновении в зонах концентрации напряжений упруго- пластических деформаций $(\sigma_{max})_{пр} \cdot \alpha_\sigma > \sigma_{0.2}$ коэффициент концентрации условных упругих напряжений K_σ^* (вместо α_σ п 6 50) определяется из соотношения

$$K_\sigma^* = \frac{\alpha_\sigma^2}{K_\sigma},$$

где K_σ - коэффициент концентрации напряжений в упруго- пластической области (при упругих деформациях $K_\sigma = \alpha_\sigma$)

Определение K_σ производится по формуле $K_\sigma = \frac{\sigma_{0\,2}}{(\sigma_{max})_{пр}}$, но принимается не менее 1 0

6 52 На основании анализа действующих нагрузок и температурных полей, расчетом напряженного состояния оболочки воздухонагревателя определяются наиболее напряженные рассчитываемые области, которые в первую очередь являются

а) продольный стыковой шов цилиндрической части кожуха,

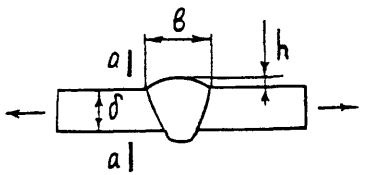
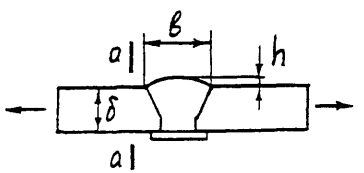
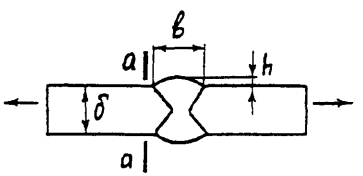
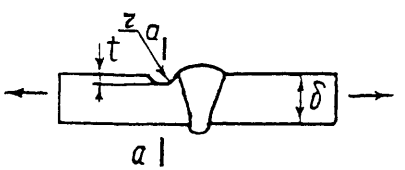
б) зона соединений цилиндрической части со сферическим куполом,
в) зона приварки патрубков, штуцеров или труб к кожуху воздухонагревателя,
г) угловые швы приварки к поверхности кожуха монтажных элементов

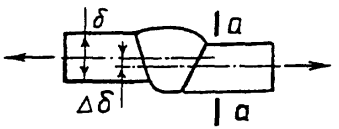
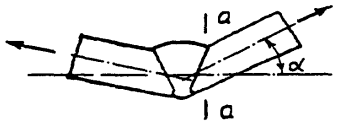
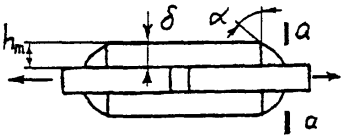
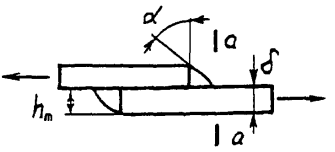
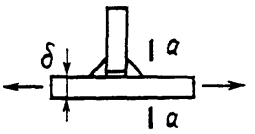
6 53 Определение допускаемого числа циклов $[N]$ по заданным в эксплуатации амплитудам напряжений или допускаемых амплитуд напряжений для заданного в эксплуатации числа циклов производят по расчетным кривым усталости, характеризующим в пределах их применения зависимость между допускаемыми амплитудами условных напряжений и допускаемыми числами циклов

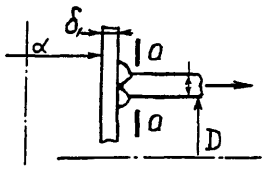
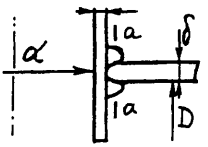
Полученная величина циклов $[N]$ не должна быть меньше значения, приводимого в задании на проектирование, как это указано в п 5 1

Для сталей с пределом текучести185-280 МПа (кривые 1 и 2) и 285-440МПа (кривые 3 и 4) на рис 6 28 приведены расчетные кривые малоцикловой усталости для интервала температур (-40°С)– +360°С Если после анализа действующих нагрузок и температурных полей окажется, что наиболее напряженная область воздухонагревателя находится в основном металле, то используются кривые 1 и 3, если же в этой области находится металл шва и металл зоны термического влияния, то используются кривые 2 или 4

Таблица 6 12

Схема соединения	Характеристика соединения	Коэф-т концентрации напряжений в сечении а-а
1	2	3
	Стыковой V-образный необработанный шов в месте перехода к основному металлу	
	а) $в/\delta \geq 1,2$ $h/в = 0,125$	1,3
	б) $в/\delta \geq 1,2$ $h/в = 0,25$	1,5
2		
	То же, на подкладке	
	а) $в/\delta \geq 1,2$ $h/в = 0,125$	1,65
	б) $в/\delta \geq 1,2$ $h/в = 0,25$	1,95
3		
	Стыковой Х-образный шов необработанный шов в месте перехода к основному металлу	
	а) $в/\delta \geq 0,8$ $h/в = 0,125$	1,6
	б) $в/\delta \geq 0,8$ $h/в = 0,25$	2,0
4		
	Стыковой необработанный шов с подрезом основного металла (независимо от вида разделки	
	а) $t = 0.5$ *мм* $r = 0.25$ *мм* $\delta = 12$	3,9
	$\delta = 20$	3,6
	$r = 1,0$ *мм* $\delta = 12$	2,45
	$\delta = 20$	2,3
	б) $t = 2.7$ *мм* $r = 0.25$ *мм* $\delta = 12$	4.5
	$\delta = 20$	5.1
	$r = 1.0$ *мм* $\delta = 12$	2.5
	$\delta = 20$	3,6

1	2	3
5		Стыковой необработанный шов со смещением кромок (независимо от вида разделки) *а*) $\Delta\delta/\delta = 0{,}1$ *б*) $\Delta\delta/\delta = 0{,}2$	 2,0 2,4
6		Стыковой необработанный шов с угловатостью (независимо от разделки) *а*) $\alpha = 3^0$ *б*) $\alpha = 5^0$	 2,0 2,7
7		Соединение внахлестку лобовым швом *а*) $\alpha = 45^0$ *б*) $\alpha = 60^0$ *в*) $\alpha = 30^0$	 3,8 1,7 8,0
8		Соединение несимметричное внахлест лобовым швом ($\delta \geq h_m$) $\alpha = 45^0$	 5,7
9		Угловой шов, непередающий усилия	1,55

1	2	3
10	 Кольцевой шов несимметричной вварки патрубка при $\alpha/D \le 021$ $04 \le \delta_1/\delta \le 10$	3,2
11	 Кольцевой шов симметричной вварки патрубка при $\alpha/D \le 02$ $04 \le \delta_1/\delta \le 10$	2,0

Примечания

1 В пп 1, 2, 3, 5 в строке **а)** приведены значения для геометрических параметров сварных швов, соответствующих установленным допускам, в строке **б)** и **в)** - для швов , имеющих отклонения от них (дефектность)

2 Промежуточные значения коэффициента концентрации между значениями строк **а)** и **б)** определяются по линейной интерполяции

3 При учете двух дефектов в одном сварном соединении (угловатость, подрез и т п) принимается коэффициент концентрации напряжений для дефекта с большей величиной, увеличенный на 15%

4 Приведенные в п 4 9 виды соединений должны расчитываться по кривым 1 и 3, как для основного металла Остальные соединения расчитываются по кривым 2 и 4, как для сварного шва

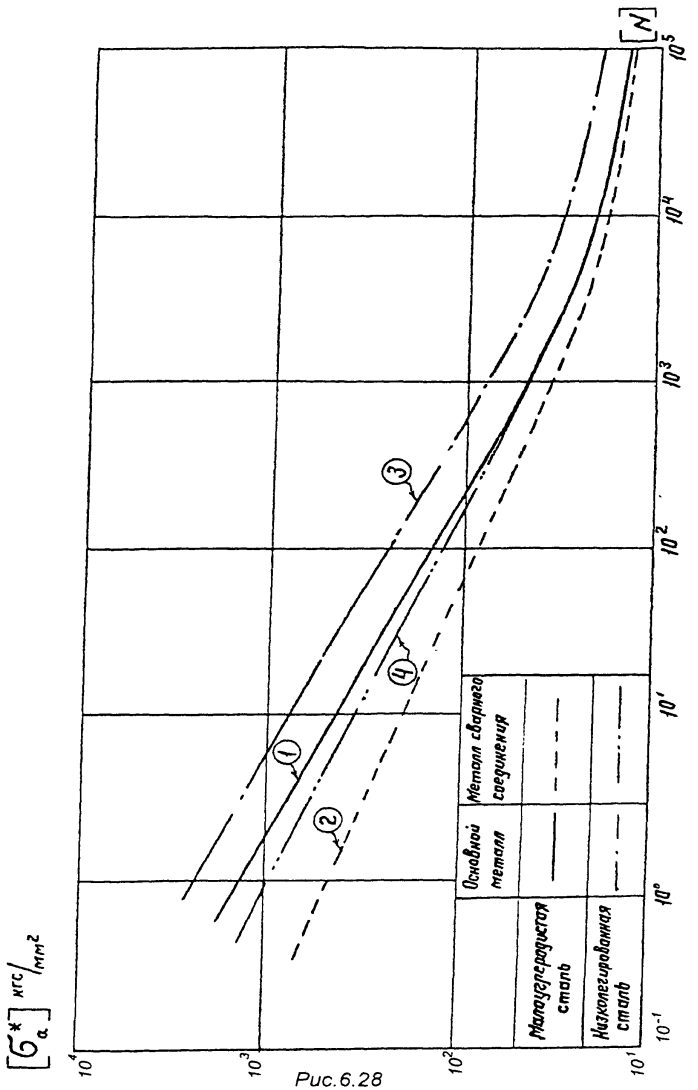

$[\sigma_a^*]$ кгс/мм²
10^4
10^3
10^2
10^1
10^0
10^{-1}
10^1
10^2
10^3
10^4
10^5
[N]
Основной металл
Металл сварного соединения
Малоуглеродистая сталь
Низколегированная сталь
1
2
3
4

Рис.6.28

7.РАСЧЕТ ФУТЕРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Принятые обозначения

x, y, z - прямоугольные координаты,

$T_н, T_в, T_{(i,)}{}^0C$ - температуры соответственно наружная, внутренняя и текущая в слое футеровки в интервале граничных температур $T_j \div T_{j-1}$, где i - номер слоя , j - номер границы слоя (нумерация слоев и границ начинается с внутренней поверхности футеровки) ,

$T, T_к\left({}^0C\right)$ - температуры кожуха и холодильников (средние),

$\lambda_н, \lambda_в$ - (ккал/м^2, час град) - коэффициенты соответственно теплоотдачи от поверхности кожуха и тепловосприятия для внутренней поверхности футеровки,

λ_i - (ккал/м^2, час град) - коэффициенты теплопроводности слоев,

$R_н, R_в, R_i$ - (м^2, час град/ккал) - тепловые сопротивления слоев,

$P_в, P_ш, P_{чуг}$ - (кгс/см^2) - внутренние давления соответственно от воздушной (газовой) среды, шихты, шлака и жидкого чугуна,

σ_1, σ_2 - (кгс/см^2) - соответственно меридиональные и кольцевые суммарные напряжения в кожухе,

$\sigma_{хт}, \sigma_{мт}$ - (кгс/см^2) - компоненты напряжений в кожухе от температурного роста футеровки,

$\sigma_{хр}, \sigma_{мр}$ - то же, от внутреннего давления дутья или шихты и чугуна,

$\sigma_{хф}, \sigma_{мф}, \sigma_{rф}$ - компоненты напряжений в слоях футеровки соответственно кольцевые, меридиональные и радиальные,

U_i, W_i - (см) компоненты перемещений соответственно меридиональные и радиальные ,

$\varepsilon_{хт}, \varepsilon_{мт}$ - компоненты относительных деформаций, соответственно кольцевые и меридиональные,

$E_i(T), E_{чуг}, E$ - (кгс/см^2) соответственно модули упругости слоев футеровки в функции от температуры, модуль упругости чугуна в стали,

$\alpha_i(T), \alpha_{чуг}, \alpha$ -(1/град) - соответственно коэффициенты линейного расширения материалов футеровки в функции от температуры и коэффициенты линейного расширения чугуна и стали,

f - коэффициент трения в системе кожух футеровка,

m, n_i - коэффициенты податливости деформативных слоев и выгорающих зазоров,

ν - коэффициент Пуассона для стали,

$\left.\begin{array}{l} h_i - \text{(см) толщина слоев футеровки} \\ r_i - \text{(см) радиусы слоев футеровки} \end{array}\right\}$ отсчитываются перпендикулярно образующей ,

$H_{n,n-1}$ - (см) высота расчетного участка оболочки,

$l_{n,n-1}$ - (см) длина расчетного участка оболочки,

r - (см) радиус кожуха,

δ - (см) толщина кожуха,

δ_i - (см) толщина выгорающих радиальных прокладок,

δ_x - (см) толщина вертикальных зазоров между холодильниками,

β - угол между образующей кожуха и вертикалью,

$K^x_{осл}, K^y_{осл}$ - коэффициенты ослабления соответственно в кольцевом и меридиональном направлениях, принимается равным K_0 по п 6 47 ,

B_1 - (кгс/см) - жесткость сжатой зоны футеровки при сжатии,

N_T - (кгс/см) упруго-температурная характеристика футеровки,

N_1, N - (кгс/см) меридиональные нормальные силы, определяемые по безмоментной теории

M_1, M - (кгс см/см) изгибающие моменты в футеровке (отнесенные к единице длины окружности координатной поверхности футеровки) и кожуха (отнесенные к единице длины окружности срединной поверхности кожуха)

Общие данные

7 1 Стальной кожух и футеровка рассчитываются на прочность по безмоментной теории тонкостенных составных оболочек (пп 7 2–7 47)

7 2 В стальном кожухе учитываются кольцевые и меридиональные напряжения, при этом в диапазоне рабочих температур кожуха модуль упругости, коэффициент линейного расширения, коэффициент Пуассона и коэффициент теплопроводности приняты постоянными

7 3 Несущие слои футеровки рассматриваются как упругие материалы, свойства которых изменяются при неравномерном нагреве по толщине слоев Модуль упругости, коэффициент линейного расширения, коэффициент теплопроводности являются функциями температуры Коэффициент Пуассона для футеровки принят равным нулю Слои футеровки работают только на сжатие Слои , в которых возникают растягивающие кольцевые и меридиональные напряжения, из работы в этих направлениях исключаются Они воспринимают только радиальные сжимающие напряжения

7 4 Материалы деформативных слоев воспринимают только радиальное сжимающее напряжение, причем зависимость между радиальной деформацией и напряжением определяется коэффициентами податливости Имеющим различные значения для разных материалов и изменяющимися в зависимости от величины напряжения

7 5 В местах возникновения краевых эффектов и локальных воздействий необходимо производить дополнительную проверку прочности кожуха с учетом этих воздействий (см Раздел 6 и пп 7 48 - 7 57 настоящего раздела)

Примечание В местах возникновения краевых эффектов, наличия ребер и зонах с отверстиями необходимо выполнять дополнительную проверку прочности стального кожуха в соответствии с положениями расчета, изложенными в разделе 6 При этом расчетные нагрузки (давления, радиальные и по образующей)

определяются с учетом воздействия футеровки согласно положений, изложенных в данном разделе, а при определении напряжений по формулам (7 5), (7 6) коэффициенты не учитываются

Расчет доменных печей.

7 6 Настоящий расчет распространяется на доменные печи с многослойной футеровкой в сочетании с одним или двумя компенсационными слоями и выгорающими зазорами Расчет учитывает воздействия осесимметричных температур, давления газов, шихты, шлака и жидкого чугуна Для этого по высоте доменная печь разбивается на отдельные участки с одинаковой конструкцией В каждом участке обязательно рассчитываются два сечения - верхнее и нижнее Расчет начинается с верхнего участка оболочки (рис 7 1а) В каждом сечении толщины и радиусы слоев отсчитываются в направлении, нормальном к образующей

Рассматривается 2 состояния футеровки печи

1 первое-кладка в проектном положении,

2 второе - кладка выгорела

Напряжениями от собственной массы конструкций пренебрегаем из-за малости по сравнению с напряжениями от давления кладки, газа, продуктов плавки

7 7 Рабочая (нормативная) температура газа внутри печи $\left(T_{в}\right)$ изменяется по высоте в соответствии с рис 7 1в Температура газа в расчетных сечениях определяется по линейной интерполяции

Температуры холодильников в разных зонах по высоте печи должны быть заданы технологической организацией с учетом типа охлаждения и состояния футеровки При отсутствии заданий принимается

а) первое состояние (кладка цела) - температура наружной поверхности плитового холодильника (ближайшая к кожуху) $T_{хн}$ при водяном охлаждении - 160^{0}, при испарительном охлаждении - 200^{0} с соответствующим перепадом по толщине холодильника 50^{0}C 150^{0}C

б) второе состояние (кладка выгорела) - температура холодильников соответственно $T_{хн}$ =150^{0}C с перепадом по толщине 100^{0}C и $T_{хн}$ =300^{0} с перепадом по толщине 200^{0}C

7 8Температура на границах слоев в расчетных сечениях печи определяется (рис 7 2) по формулам

а) в зонах без охлаждения кладки (холодильники отсутствуют)

$$T_{j} = T_{в} - \frac{T_{в} - T_{н}}{R_{0}} \cdot \left(R_{в} + \sum_{i=1}^{j-1} R_{i}\right) + T_{const}, \qquad (7\ 1)$$

где $T_{н}$ - температура наружного воздуха принимается по СНиП , в зависимости от района строительства

минимальной по графе 19 табл 1

максимальной по графе 16 табл 1,

$$R_{в} = \frac{1}{\lambda_{в}}, \qquad R_{н} = \frac{1}{\lambda_{н}}, \qquad R_{i} = \frac{h_{i}}{\lambda_{i}}, \qquad R_{0} = R_{в} + \sum_{i=1}^{K} R_{i} + R_{н} \qquad (7\ 2)$$

В формулах (7 2) толщина слоев h_{i} подставляется в м

$\lambda_{в}$ - принимается по табл 1 приложения1 в зависимости от температуры $T_{в}$,

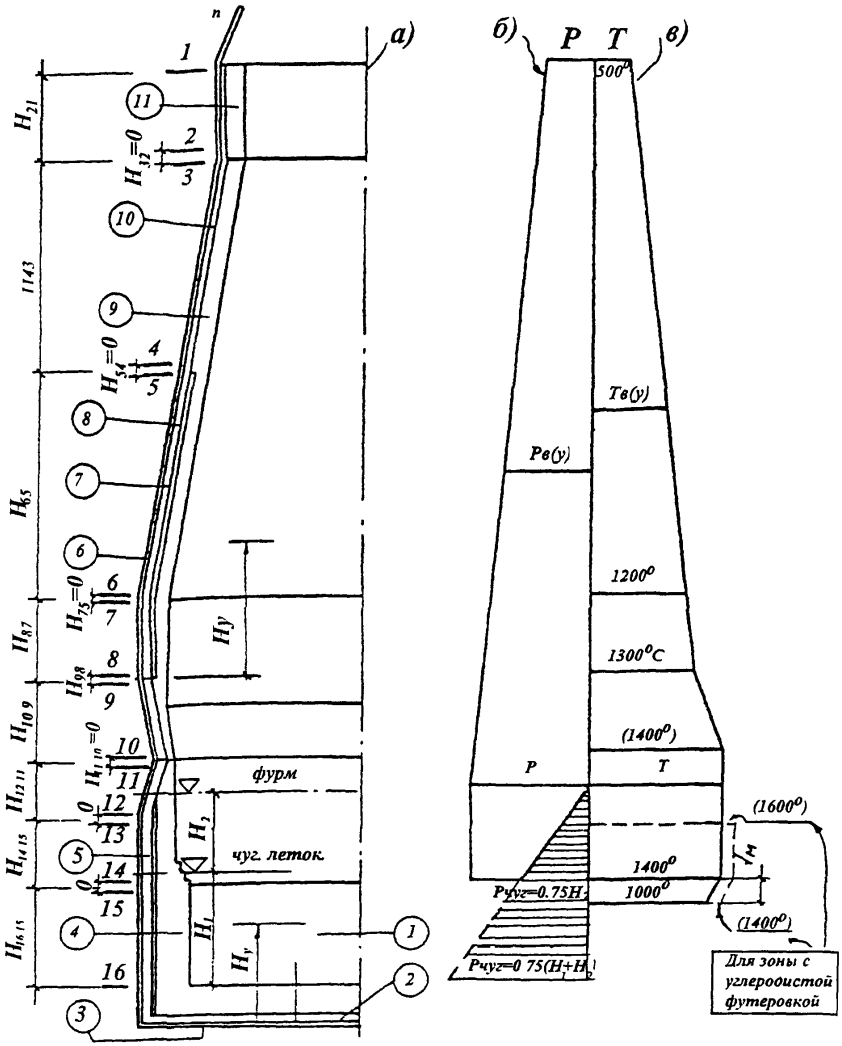


Рис. 7.1 *Расчетная схема доменной печи*

1.Высокоглиноземистый кирпич или углеродистые блоки.2.Плиты воздушного охлаждения.3. Металлическое дно. 4. Углеродистые блоки.5. Углеродистая набойка. 6. Кожух. 7. Плитовые холодильники. 8. Засыпка (по проекту). 9. Шамотный кирпич. 10. Заполнение по проекту. 11. Защитные сегменты. _ _ _ значения Ручг при разгаре лещади. Т - расчетная температура газа;Р , Ручг - давление газа, чугуна

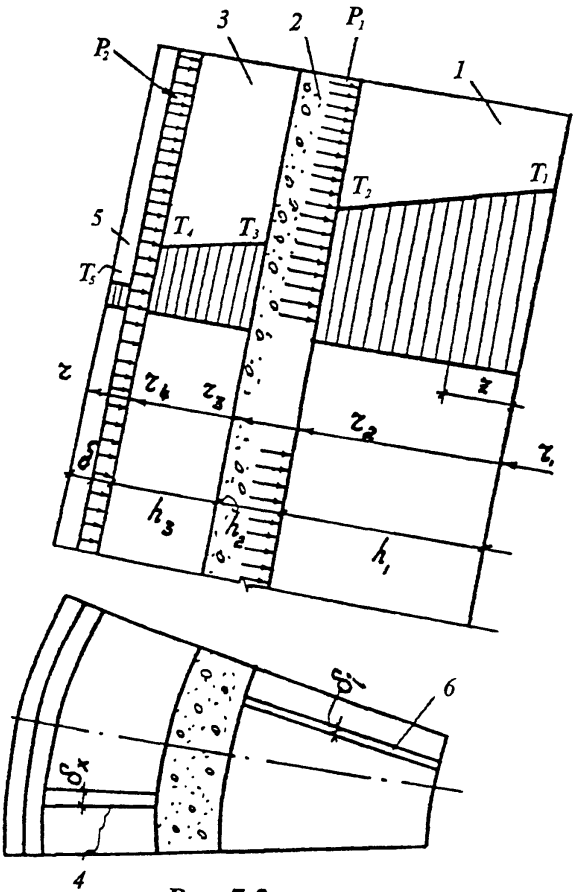


Рис.7.2

Расчетная схема для конического участка печи

1 - огнеупорный слой; 2- компенсационный слой; 3- плитовые холодильники; 4- компенсационный слой между холодильниками; 5- кожух; T_1- T_5- температуры слоев; 6- радиальные сгораемые прокладки.

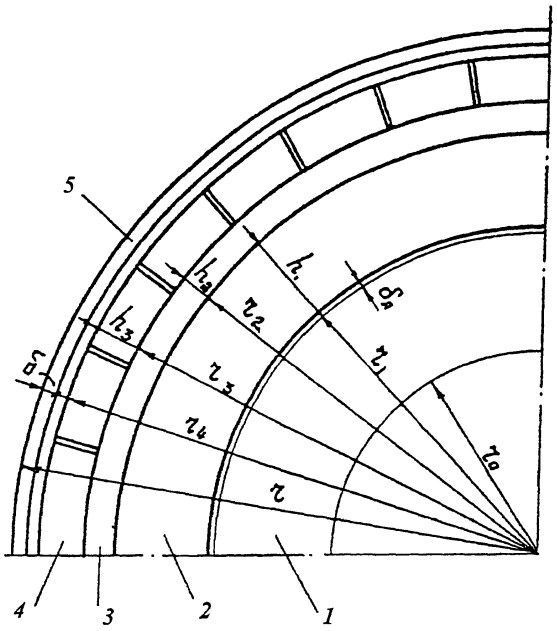


Рис.7.3

Расчетная схема лещади

1- высокоглиноземный кирпич;2- углеродистые блоки(h_1); 3- компенсационный слой (углеродистая набойка(h_2)); 4- плитовые периферийные холодильники (h_3); 5- кожух (б); r_0- сжатая зона кладки лещади;r_1- теоретическая граница разгара кладки лещади (2-ой период работы лещади)

$\lambda_н$ - принимается равным 20,

λ_i - для различных материалов приведены в табл 3 приложения1,

K - число всех слоев с учетом кожуха

T_{const} - в формуле (7 1) вводится только при определении температуры кожуха и принимается

- для шахты и распора +30^{0}C
- для заплечиков и горна +50^{0}C
- для лещади +20^{0}C

б) В зонах, охлаждаемых плитовыми холодильниками, температура слоев определяется согласно формулы (7 1) с учетом охлаждающего воздействия холодильников Полученные по формуле (7 1) величины температур кожуха не должны превышать значений, указанных в табл 5 8 , графы "кратковременные" с учетом коэффициента надежности по нагрузке , что обеспечивается соответствующей конструкцией футеровки и системы охлаждения

Изменение температуры по толщине огнеупорного слоя футеровки принимается по

линейному закону $$T(z_i) = T_{j+1} + \frac{T_j - T_{j+1}}{h_i} \cdot (h_i - z_i) \qquad (7\,3)$$

7 10 Проверка прочности кожуха доменной печи производится по формуле

$$\sigma_{пр} = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + \sigma_2^2} \le mR\,, \qquad (7\,4)$$

где $$\sigma_2 = (\sigma_{xp} + \sigma_{xi}) \cdot K_{осл}^x \le R, \qquad (7\,5)$$

$$\sigma_1 = (\sigma_{yp} + \sigma_{yi}) \cdot K_{осл}^y \le R, \qquad (7\,6)$$

В формулах (7 5) , (7 6) , σ_{xp} и σ_{yp} определяется по таблице 7 1 и 7 2 соответственно для первого и для второго состояния кладки

Значения величин σ_{xp} , σ_{yp} для первого состояния кладки доменной печи Таблица 7 1

Сечения по рис 7 1 а	$\sigma_{xp} = \sigma_{x2} \cdot 1{,}15 + \sigma_{xш} \cdot 1{,}2 + \sigma_{x\ чут} \cdot 1.1$			σ_{yp}
	σ_{x2}	$\sigma_{xш}$	$\sigma_{x\ чут}$	
1	$p_B \frac{r}{\delta}$	0	0	$\frac{P_B r}{2\delta}$ 1,15
2-4	$0{,}5\, p_B \frac{r}{\delta}$	$0{,}1 \frac{dr}{\delta} 0{,}5$	0	$\frac{P_B r}{2\delta}$ 1,15
5-8	$0{,}5\, p_B \frac{r}{\delta}$	$0{,}1 \frac{dr}{\delta} 0{,}5$	0	$\frac{P_B r}{2\delta}$ 1,15
9-10	$0{,}5\, p_B \frac{r}{\delta}$	$0{,}1 \frac{dr}{\delta} 0{,}5$	0	$\frac{P_B r}{2\delta}$ 1,15
11	$0{,}5\, p_B \frac{r}{\delta}$	$0{,}1 \frac{dr}{\delta} 0{,}5$	0	$\frac{P_B r}{2\delta}$ 1,15
12-14	$0.5\, p_B \frac{r}{\delta}$	0	$0{,}75 \frac{Hr}{\delta}$	$\frac{P_B r}{2\delta}$ 1,15
15-16	0	0	0	$\frac{P_B r}{2\delta}$ 1,15

Таблица 7 2

Значения величин σ_{xp} , σ_{yp} для второго состояния кладки доменной печи

Сечения по рис 7 1 а	$\sigma_{xp} = \sigma_{x2} \cdot 1{,}15 + \sigma_{xш} \cdot 1{,}2 + \sigma_{x\ чуг} \cdot 1.1$			σ_{yp}
	σ_{x2}	$\sigma_{xш}$	$\sigma_{x\ чуг}$	
1–3	$p_B \frac{r}{\delta}$	0	0	$\frac{P_B r}{2\delta} \cdot 1{,}15$
4–8	$p_B \frac{r}{\delta}$	$0{,}1 \frac{dr}{\delta}$	0	$\frac{P_B r}{2\delta}\ 1{,}15$
9-10	$p_B \frac{r}{\delta}$	$0{,}35 \frac{dr}{\delta}$	0	$\frac{P_B r}{2\delta} \cdot 1{,}15$
11	$p_B \frac{r}{\delta}$	$0{,}1 \frac{dr}{\delta}$	0	$\frac{P_B r}{2\delta} \cdot 1{,}15$
12–16	$p_B \frac{r}{\delta}$	0	$0{,}75 \frac{Hr}{\delta}$	$\frac{P_B r}{2\delta} \cdot 1{,}15$

Примечание

1) В таблицах 7 1 и 7 2 коэффициенты 1,1, 1,15, 1,2 -коэффициенты надежности по нагрузке (табл 5 11),

2) d - внутренний диаметр футеровки в расчетном сечении, при определении напряжений $\sigma_{xш}$ от распора шихты, в формулы d подставляется в метрах,

3) *H - расстояние от отметки фурм до расчетного сечения, при определении напряжений $\sigma_{x\ чуг}$ от распора чугуна, в формулу подставляется в метрах,*

4) *Все остальные величины, входящие в формулы для подсчета напряжений в кожухе σ_{x2} (напряжения от давления газовой среды) $\sigma_{xш}$ и $\sigma_{x\ чуг}$ подставляются в сантиметрах*

Напряжения σ_{xt} и σ_{yt} в n-ом сечении для шахты, распара, заплечиков и горна определяются по формулам

$$\sigma_{xt} = \frac{P_2^{(n)} \cdot r_4^{(n)}}{\delta^{(n)}} \cdot n_t \qquad (7\ 7)$$

$$\sigma_{xt} = \sum_2^n f^{(n)} \left(P_2^{(n-1)} r_4^{(n-1)} + P_2^{(n)} r_4^{(n)} \right) \frac{H_{n,n-1} \cdot n_t}{2r^{(n)} \cdot \delta^{(n)} \cdot \cos\beta^{(n)}} \qquad (7\ 8)$$

Здесь n=1,2,3 , - номера сечений по рис 7 1,

f =0,3 для сечения шахты, распора и заплечиков

f =0,5 для сечений горна,

m=0,85 (табл 5 12),

n_t =1,2 - коэффициент надежности по нагрузке от распора футеровки (табл 5 11)

7 11 Величины радиальных давлений на наружные поверхности огнеупорной кладки и плитовых холодильников определяются по формулам

$$P_1 = \frac{\Delta_{1p} \cdot \delta_{22} + \Delta_{2p} \cdot \delta_{12}}{\delta_{11} \cdot \delta_{22} - \delta_{21} \cdot \delta_{12}}, \qquad (7\ 9)$$

$$P_2 = \frac{\Delta_{2p} \cdot \delta_{11} + \Delta_{1p} \cdot \delta_{21}}{\delta_{11} \cdot \delta_{22} - \delta_{21} \cdot \delta_{12}}, \qquad (7\ 10)$$

где $$\delta_{11} = \frac{r_2^2}{B_1} + \overline{m_2} \cdot h_2 + \frac{r_2 \cdot r_3}{E_{уг} \cdot h_3}, \qquad (7\ 11)$$

$$\delta_{12} = \frac{r_3 \cdot r_4}{E_{уг} \cdot h_3}, \qquad (7\ 12)$$

$$\Delta_{1p} = \frac{N_T r_2}{B_1} + \alpha_{11} T_1 H_{n,n-1} \cdot \sin\beta K_o^{\phi} - \alpha_{чуг} T_x H_{n,n-1} \cdot \sin\beta K_o^{x} -$$

$$- \overline{n_2} h_2 - \alpha_{чуг} T_x r_3 - \frac{\delta_1 \cdot n_1}{2\pi} \overline{n_1}, \qquad (7\ 13)$$

$$\sigma_{22} = \frac{r_4^2}{E_{уг} h_3} + \frac{r r_4}{E\sigma} \cdot 0{,}85 + \frac{\delta_x n_x \overline{m_x} r_4}{2\pi h_3}, \qquad (7\ 14)$$

$$\sigma_{21} = \frac{r_2 r_4}{E_{уг} h_3} + \frac{\delta_x n_x \overline{m_x} r_2}{2\pi h_3}, \qquad (7\ 15)$$

$$\Delta_{2p} = \alpha_{чуг} T_x r_4 - \frac{P_p r^2}{E\delta} 0{,}85 - \overline{n_3} h_3 - \alpha T r - \alpha T H_{n,n-1} \sin\beta K_0 - \frac{\delta_x n_x}{2\pi} \overline{n_x} \qquad (7\ 16)$$

где $P_p = P_в + P_ш + P_{чуг}$ (см табл 7 1,7 2)

В формулах (7 9) –(7 16) индексы при всех величинах представлены в соответствии с расчетной схемой на рис 7 2 величины без индексов относятся к кожуху

Коэффициенты в (7 13) и (7 16), учитывающие деформации в меридиальном направлении

- для кожуха K_0=1,4
- для холодильников K_0^{x}=0,9
- для тонкостенной кладки K_0^{ϕ}=0,5
- для толстостенной K_0^{ϕ}=0,75

n_1 - количество радиальных выгорающих прокладок в несущем слое футеровки,

n_x - количество вертикальных зазоров между холодильными плитами

Величины B_1 и N_T ,входящие в формулу (7 11), (7 13) имеют вид

$$B_{1i} = \int_0^h E_i(T) \alpha z_i, \qquad (7\ 17)$$

$$N_{T_i} = \int_0^{h_i} f_i(T)\alpha\, z_1, \qquad (7\ 18)$$

где

$$f_i(T) = \alpha_i T(z_1) E_i(T)$$

Вычисление B_{1i} и N_{T_i} производится согласно п 7 28 с помощью таблиц 7 приложения 1

Так как в начале расчета P_i - неизвестны, то значения коэффициентов $\overline{n_i}$ и $\overline{m_i}$ для каждого из деформативных слоев следует взять либо из первой , либо из второй строки таблицы 4 приложения 1 произвольно После выполнения расчета необходимо проверить выполнение неравенств, указанных в принятых для расчета строк таблицы Если какое-либо из них не выполняется, то необходимо взять для этого слоя значения коэффициентов $\overline{n_i}$ и $\overline{m_i}$ из другой строки и сделать повторный расчет

7 12 Расчет, выполненный по формулам (7 9)–(7 16) , основан на предложении, что огнеупорные слои футеровки сжаты по всей толщине Это следует проверить по формуле

$$\sigma_{x\phi}(z_1) = E_i(z_1)\left[\varepsilon_{x0} - \alpha_i T(z_1)\right], \qquad (7\ 19)$$

где

$$\varepsilon_{x0} = \frac{1}{B_{1i}} \cdot \left(-P_1 \cdot r_2 + N_{T_i}\right), \qquad (7.20)$$

Если эпюра кольцевых напряжений в i-ом слое будет иметь растянутые зоны, то эти зоны из дальнейшего расчета в кольцевом направлении исключаются и производится повторный расчет (второе приближение) с новой толщиной слоя, равной толщине сжатой зоны эпюры, новыми соответствующими температурами границ и радиусами

$E_i(z_1)$ и $\alpha_i T(z_1)$ - определяются по таблицам 6 и 7 приложения 1 Вычисление перемещений выполняется согласно пп 7 45 и 7 46

7 13 Для второго состояния кладки или, если огнеупорный слой оказывается полностью растянутым (при $P_1 \le 0$)

$$P_2 = \frac{\Delta_{2p}}{\delta_{22}}, \qquad (7\ 21)$$

где Δ_{2p} и δ_{22} определяется по формулам (7 16) и (7 14)

7 14 Если окажется, что $P_1 > P_2$, то $P_2 = \dfrac{\Delta_{1p} r_2}{\delta_{11} r_1}$ (7 22)

где $$\delta_{11} = \frac{r_2^2}{B_1} + \overline{m_2} \cdot h_2, \qquad (7\ 23)$$

$$\Delta_{1p} = \frac{N_T r_2}{B_1} + \alpha_i T_i H_{n\,n-1} \sin\beta\, K_0^{\phi} - \alpha T H_{n,n-1} \sin\beta\, K_0 - \overline{n_2} h_2 - \alpha T r -$$

$$-\frac{\delta_1 n_1}{2\pi}\overline{n}_1-\frac{P_p r^2}{E\delta}\cdot 0{,}85, \qquad (7\,24)$$

7 13 Если периферийные холодильники отсутствуют , то радиальное давление кладки на кожух определяется по формуле

$$P_1=\frac{\Delta_{1p}}{\delta_{11}}, \qquad (7\,25)$$

где $$\delta_{11}=\frac{r_2^2}{B_1}+\frac{r^2}{E\delta}\cdot 0{,}85+\overline{m}_2 h_2, \qquad (7\,26)$$

$$\Delta_{1p}=\frac{N_T r_2}{B_1}+\alpha_1 T_1 H_{n,n-1}\sin\beta\, K_0^{\phi}-\alpha T H_{n,n-1}\sin\beta\, K_0-\overline{n}_2 h_2-\alpha T r-$$

$$-\frac{\delta_1 n_1}{2\pi}\overline{n}_1-\frac{P_p r^2}{E\delta}\cdot 0{,}85, \qquad (7\,27)$$

В формулы (7 7) и (7 8) вместо P_2 подставляется P_1, а вместо r_4-r_2

7 14 Лещадь современных доменных печей выполняется в средней части из высокоглиноземного кирпича, а снизу и на периферии - из углеродистых блоков или выкладывается целиком из углеродистых блоков (рис 7 3) В первом приближении радиальное давление кладки на кожух, без учета растянутой зоны, определяется по формуле (7 25), в которой

$$\delta_{11}=\frac{r_1 K_л}{E_л}+\frac{r^2}{E\delta}\cdot 0{,}85+\overline{m}_2 h_2+\overline{m}_1\delta_л, \qquad (7\,28)$$

$$\Delta_{1p}=0{,}75\alpha_л T_{-1} r_1-\overline{n}_1\delta_л-\overline{n}_2 h_2-\alpha T r \qquad (7\,29)$$

В формулах (7 28) , (7 29) обозначения входящих величин даны в соответствии с рис 7 3, а также обозначены

$\alpha_л$ - коэффициент линейного расширения футеровки лещади (для высокоглиноземистой клади $\alpha_л$=6 10^{-6}),

$E_Л$=5 10^4 (кгс/см^2) - модуль упругости кладки лещади

$K_л$=7 - экспериментальный коэффициент

T_{-1} - температура кладки по оси лещади на глубине 1 м

T_{-1}=1000^{0}С (для высокоглиноземистой кладки)

7 17 Величина сжатой зоны лещади определяется по формуле

$$r_0=r_1\cdot\sqrt{\frac{1.5P_1}{E_л\alpha_л T_{-1}}} \qquad (7\,30)$$

С учетом сжатой зоны лещади радиальное давление кладки (P_1^1) на кожух будет определено по формуле (7 25), где

$$\delta_{11} = \frac{r_1 K_л}{E_л} + \frac{2r_1(r_1 - r_0)}{E_л(r_1 + r_0)} + \frac{r^2}{E\delta} \cdot 0{,}85 + \overline{m_2} h_2 + \overline{m_1}\delta_л \qquad (7\,31)$$

Δ_{1p} - определяется по формуле (7 29) при $r_1 = r_0$

Величины P_1 и r_0 определяются повторно, пока не будет достигнуто равенство

$$P_1^n = P_1^{n+1} \qquad (7\,32)$$

где n - количество определений P_1

7 18 Для лещади, выполненной целиком из углеродистых блоков, значение P_1 определяется по формуле (7 25) с заменой коэффициента в формуле (7.29) с 0 75 на 0 84 и в формуле (7 30) с 1 5 на 1 33 и с заменой температуры T_{-1}=1000°С на T_{-1}=1400°С

7 19 При разгаре кладки лещади зоны с разгаром рассчитывается так же, как и стенки горна с цилиндрическим кожухом, по формулам (7 9), (7 10), при этом толщина футеровки принимается равной толщине стенки горна

7 20 При наличии на доменной печи мораторного кольца, последнее рассчитывается как элемент кольцевой балки швеллерного сечения, передающий нагрузки от колонн шахты на колонны горна в случае несовпадения их в плане Кроме того , в радиальном направлении мораторное кольцо рассчитывается на треугольную нагрузку от массы кладки (пролет принимается равным разности радиусов примыкающих участков шахты и горна)

7 21

а) Толщина кожуха купола (на всей его длине) и примыкающего к нему участка кожуха шахты определяется расчетом стальной оболочки, кроме случая, оговоренного в п б), только на внутреннее давление газовой среды с учетом краевого эффекта согласно п 6 24, 6 25,

б) Купола доменных печей , газопроводы грязного газа которые несут дополнительные нагрузки от оборудования колошникового устройства (при отсутствии копра), кроме того, рассчитываются с учетом ослабления примыкающими газопроводами грязного газа на нагрузки, передаваемые этими газопроводами (массы конструкций оборудования, ветер и температурный распор системы газопроводов)

7 22 Толщина отдельных участков кожуха печи в соответствии с расчетом принимается равной

а) для лещади и цилиндрической части горна - наибольшей, полученной для сечений этой зоны,

б) для конической части горна - наибольшей, полученной для сечений этой зоны,

в) для заплечиков - по нижнему сечению с увеличением толщины на 40%,

г) для распара - по нижнему сечению,

д) для шахты - по нижнему , верхнему сечению и сечению по верху плитовых холодильников,

Расчет воздухонагревателей.

7 23 Расчет распространяется на воздухонагреватели доменных печей с многослойной футеровкой

Стальной кожух и футеровка рассчитывается на прочность от воздействия внутренней температуры и давления дутья Для этого цилиндрическая часть воздухонагревателя разбивается по высоте на отдельные участки с одинаковой конструкцией, размерами и материалом футеровки и кожуха, как показано на рис 7 4

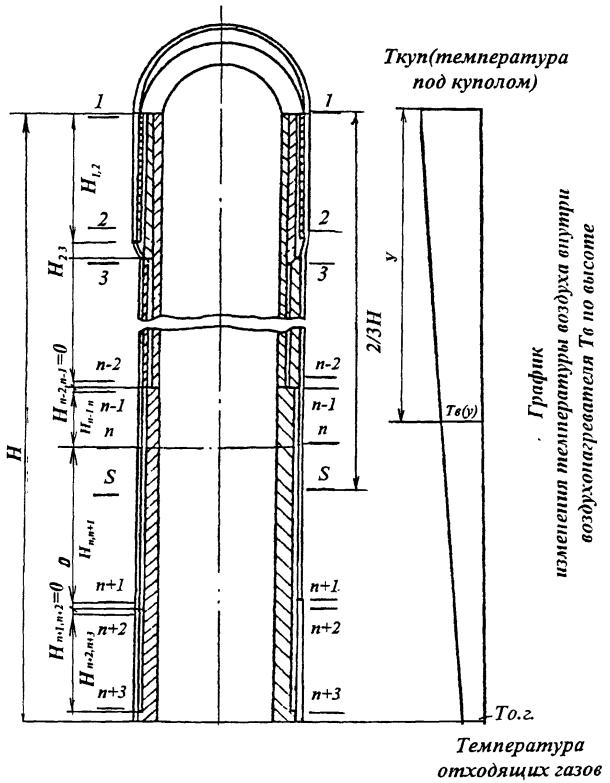


Рис. 7.4

Вертикальный разрез воздухонагревателя (Расчетные сечения и порядок определения напряжений в кожухе воздухонагревателя)

В каждом участке обязательно рассчитываются два сечения - верхнее и нижнее Между этими сечениями напряженное состояние кожуха и слоев футеровки считается изменяющимся по линейному закону Расчет выполняется с верхнего сечения (I-I)

Напряжения от собственной массы конструкций не учитывается из-за их малости по сравнению с напряжениями от температуры и давления дутья

7 24 Рабочая (нормативная) температура воздуха внутри воздухонагревателя под куполом $T_{кул}$ и температура отходящих газов $T_{ог}$ задаются технической организацией Между крайними значениями температура по высоте воздухонагревателя принимается изменяющейся по линейному закону

$$T_в(У) = T_{кул} - (T_{кул} - T_{ог})\frac{У}{Н} \qquad (7\,33)$$

как показано на рис 7 4

7 25 Температуры на границах слоев в произвольном сечении воздухонагревателя определяются по формуле (7 1) , однако $T_{const} = 0$, а коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности определяется по формуле

$$\lambda_н = 2 + 13 \cdot \sqrt{\upsilon} \qquad (7\,34)$$

где υ(м/сек) - скорость ветра, принимается по соответствующей главе СНиП, в зависимости от места строительства

Увеличение скорости ветра с высотой при расчете по (7 34) учитывается поправочным коэффициентом "К" в соответствии с табл 2 приложения 1

Полученные по формулам величины температур кожуха не должны превышать значений, указанных в табл 5 8 (графа "кратковременные") с учетом коэффициента надежности по нагрузке, что обеспечивается соответствующей конструкцией футеровки

7 26 Температуры слоев футеровки являются линейными функциями координат Z_j (см рис 7 5 , 7 6) , отсчитываемых от внутренней поверхности каждого из этих слоев, следовательно также справедлива формула (7 3) , где T_j, T_{j+1} - температуры на границах слоев

7 27 Проверка прочности кожуха воздухонагревателя с двумя деформативными слоями и двумя выгорающими кольцевыми зазорами в произвольном сечении $n-n$ производится по формуле (7 4), где

$$\sigma_1 = \frac{1}{2r^{(n)}\delta^{(n)}}\left[P_в r^{2(n)} n_p + f \cdot \int_{n=2}^{n}\left(P_4^{(n-1)} r_4^{(n-1)} + P_4^{(n)} r_4^{(n)}\right) H_{n\,n-1} n_t\right] \le R \qquad (7\,35)$$

$$\sigma_2 = \frac{P_в r^{(n)} n_p + P_4^{(n)} r_4^{(n)} n_t}{\delta^{(n)}} \le R \qquad (7\,36)$$

Здесь n=1,2,3 , - номера сечений по рис 7 4,

f =0,2,

n_p =1,15, n_t =1,2 - (см Табл 5 11),

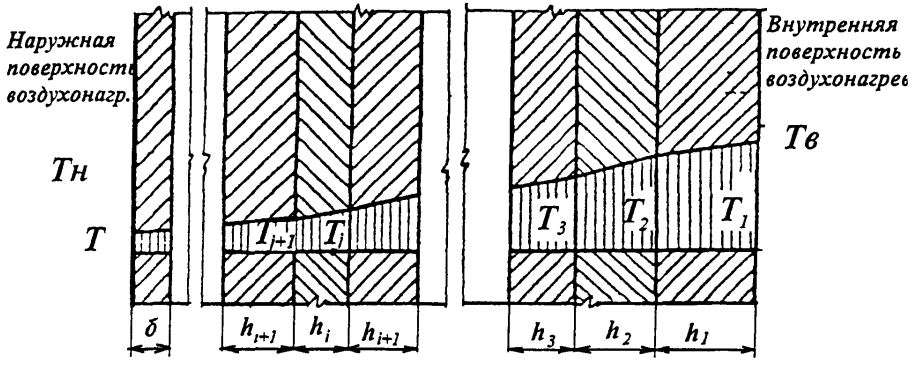


Рис.7.5 ***Изменение температуры по толщине стенки воздухонагревателя***

$P_в$ - (кгс/см^2) - избыточное (нормальное) давление воздуха, определяемое технологическим заданием,

m=0,75 - коэффициент условий работы для вновь проектируемых воздухонагревателей (см Табл 5 12),

Примечание 1) Второй член в квадратных скобках формулы (7.35) для сечений , расположенных ниже сечения $S-S$ *, соответствующего 2/3 высоты цилиндрической части воздухонагревателя (по рис 7 4) принимается равным его значению в сечении* $S-S$

2) Для реконструируемых и эксплуатируемых воздухонагревателей коэффициент условий работы назначается в зависимости от срока эксплуатации и фактического состояния кожуха футеровки

7 28 Величины давлений на несущие огнеупорные слои соответственно наружный и внутренний в сечении $n-n$ определяется по формулам

$$P_4 = \frac{\Delta_{4p}\cdot\delta_{11} + \Delta_{1p}\cdot\delta_{41}}{\delta_{44}\cdot\delta_{11} - \delta_{41}\cdot\delta_{14}}, \qquad (7\,37)$$

$$P_1 = \frac{\Delta_{1p}\cdot\delta_{44} + \Delta_{4p}\cdot\delta_{14}}{\delta_{44}\cdot\delta_{11} - \delta_{41}\cdot\delta_{14}}, \qquad (7\,38)$$

где

$$\delta_{44} = \frac{r_4^2}{B_{14}} + \frac{r\cdot r_4}{E\cdot\delta} + \frac{\overline{m_5}h_5 r_4}{r_5}, \qquad (7\,39)$$

$$\delta_{41} = \frac{r_4\cdot r_1}{B_{14}}, \qquad (7\,40)$$

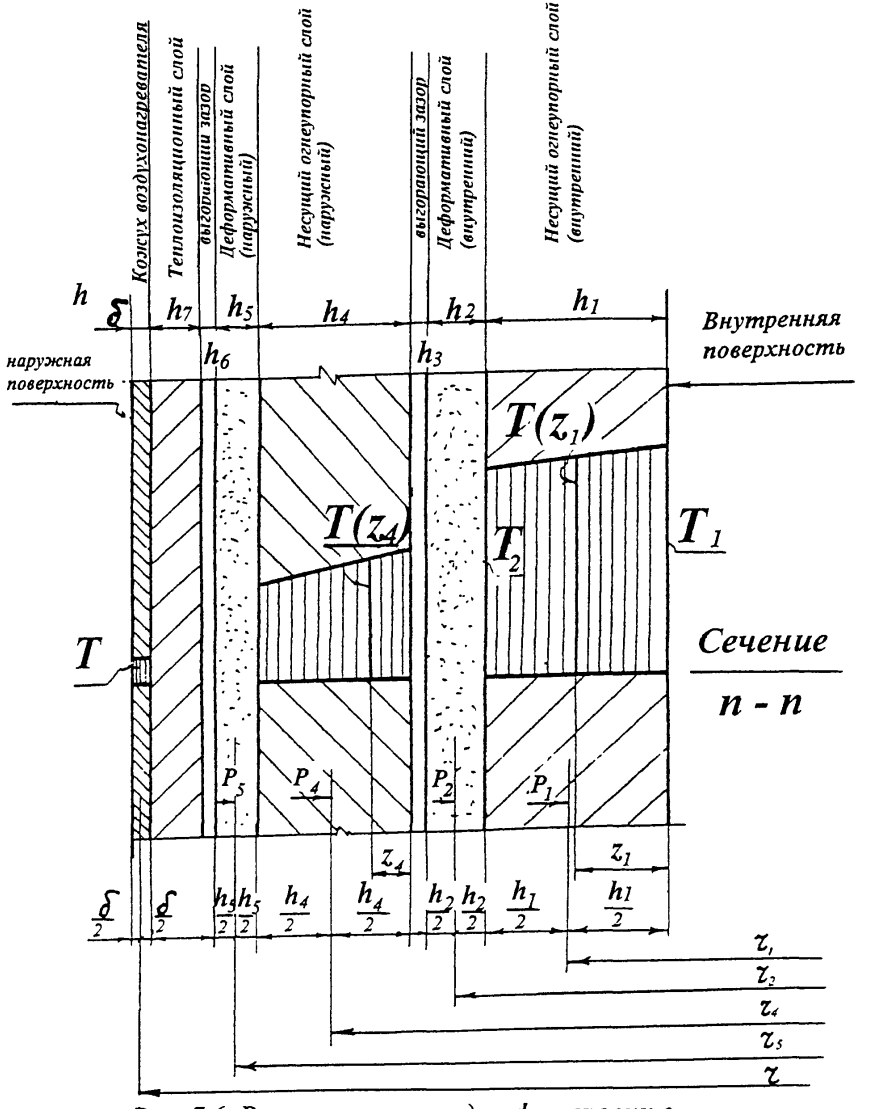


Рис. 7.6 Расчетная схема для футеровки с двумя компенсационными слоями в сочетании с двумя выгорающими зазорами

$$\Delta_{4p} = \frac{N_{T4} r_4}{B_{14}} - \frac{P_B r^2}{E\delta} 0.85 - \alpha T r - \overline{n_5} h_5 - \overline{n_6} h_6, \qquad (7\,41)$$

$$\delta_{14} = \frac{r_4^2}{B_{14}}, \qquad (7\,42)$$

$$\delta_{11} = \frac{r_1^2}{B_{11}} + \frac{r_4 \cdot r_1}{B_{14}} + \frac{\overline{m_2} h_2 r_1}{r_2} \qquad (7\,43)$$

$$\Delta_{1p} = \frac{N_{T1} r_1}{B_{11}} - \frac{N_{T4} r_4}{B_{14}} - \overline{n_2} h_2 - \overline{n_3} h_3 \qquad (7\,44)$$

В формулах (7 39)÷(7 44) индексы при всех величинах проставлены в соответствии с расчетной схемой на рис 7 6 Величины B_{1i} и N_{Ti} (см Также п 7 11) при произвольных зависимостях $E_i(T)$ и $\alpha_i(T)$ вычисляются методом численного интегрирования по квадротурной формуле Симпсона

$$B_{1i} = \frac{h_i}{12}\left(E_{i0} + 4E_{i1} + 2E_{i2} + 4E_{i3} + E_{i4}\right), \qquad (7\,45)$$

$$N_{Ti} = \frac{h_i}{12}\left(f_{i0} + 4f_{i1} + 2f_{i2} + 4f_{i3} + f_{i4}\right), \qquad (7\,46)$$

где $E_{i0} \div E_{i4}$ и $f_{i0} \div f_{i4}$ - ординаты кривых $E_i(T)$ и $f_i(T)$ в точках деления промежутка h_i на четыре равные части , как показано на рис 7 7

В приложении 1 представлены таблицы 7 для различных огнеупорных материалов, с помощью которых значительно быстрее можно рассчитать B_{1i} и N_{Ti} по формулам

$$B_{1i} = \frac{h_i}{T_j - T_{j+1}}\left[I_{1i}(T_j) - I_{1i}(T_{j+1})\right], \qquad (7\,47)$$

$$N_{Ti} = \frac{h_i}{T_j - T_{j+1}}\left[I_{2i}(T_j) - I_{2i}(T_{j+1})\right], \qquad (7\,49)$$

где $I_{1i}(T_j), I_{1i}(T_{j+1}), I_{2i}(T_j), I_{2i}(T_{j+1})$ - табличные величины при температурах T_j, T_{j+1}

В том случае, если футеровка состоит из нескольких (K) огнеупорных слоев (пакет), различных по свойствам материалов, то величины B_1 и N_T вычисляются как суммы

$$B_1 = \sum_1^k B_{1i}, \qquad (7\,50)$$

$$N_T = \sum_1^k N_{Ti}, \qquad (7\,51)$$

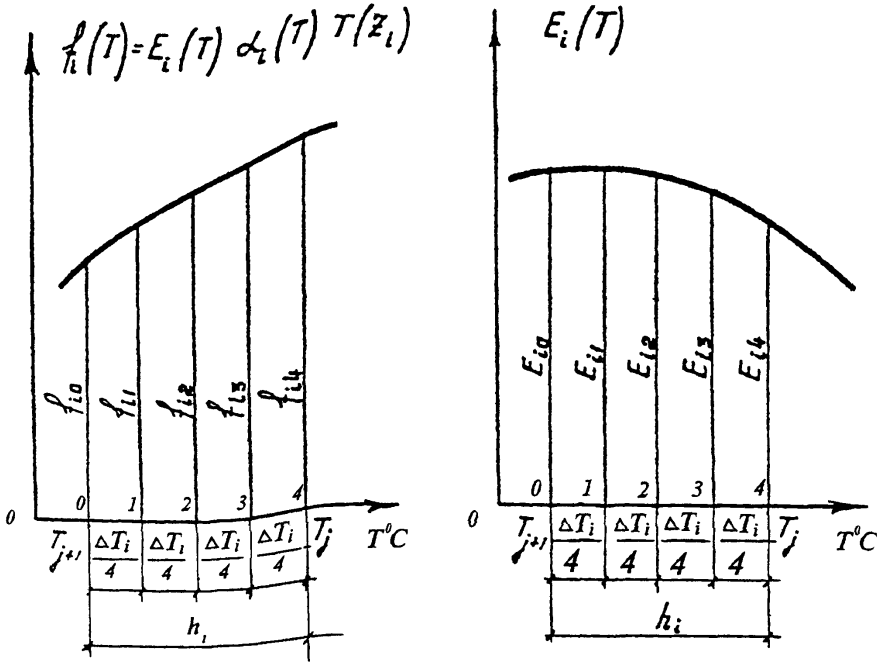


Рис. 7.7

Деление участков интегрирования при вычислении величин N_{Ti} и B_{1i} по квадротурной формуле Симпсона

Коэффициенты податливости $\overline{m_i}$ и $\overline{n_i}$ для различных материалов принимаются по первой или по второй строкам табл 4 приложения 1 , в зависимости от радиальных давлений P_i , действующих на деформативные слои

$$P_2 = P_1 \frac{r_1}{r_2}, \qquad (7\ 52)$$

$$P_5 = P_4 \frac{r_4}{r_5}, \qquad (7\ 53)$$

(см п 7 11)

В том случае ,когда вместо выгорающих кольцевых зазоров h_3, h_6 в несущих слоях футеровки установлены радиальные выгорающие прокладки, их суммарная толщина приводится к условной толщине кольцевого зазора по формуле

$$h_i = \frac{\delta_i n_i}{2\pi}, \qquad (7\,54)$$

где

δ_i - толщина радиальной выгорающей прокладки,

n_i - количество радиальных прокладок в несущем слое футеровки

При отсутствии кольцевых выгорающих зазоров и радиальных выгорающих прокладок $h_3 = 0, h_6 = 0$

7 29 Расчет, выполненный по формулам (7 37) , (7 38) следует во многих случаях рассматривать лишь как первое приближение к окончательному решению, так как несущие огнеупорные слои футеровки не способны воспринимать растягивающих напряжений Поэтому после выполнения расчета в первом приближении, необходимо построить эпюры кольцевых напряжений в несущих огнеупорных слоях кладки с помощью формулы (7 19), в которой при $i = 1, 4$

$$\varepsilon_{x4} = \frac{1}{B_{14}}\left(-P_4 r_4 + P_1 r_1 + N_{T4}\right), \qquad (7\,55)$$

$$\varepsilon_{x1} = \frac{1}{B_{11}}\left(-P_1 r_1 + N_{T1}\right) \qquad (7\,56)$$

представляют собой относительные кольцевые деформации срединных поверхностей наружного и внутреннего несущих огнеупорных слоев соответственно Вычисление радиальных перемещений выполняется по формулам п 7 46 Дальнейший расчет выполняется в соответствии с указаниями п 7 12

В случае, если наружный несущий слой полностью попадает в растянутую зону, повторные расчеты (второе , третье и т д приближения) производятся по формуле

$$P_4 = P_1 \frac{r_1}{r_4}; \qquad (7\,57)$$

где $P_1 = \frac{\Delta_{1P}}{\delta_{11}}$, а

$$\delta_{11} = \frac{r_1^2}{B_{11}} + \frac{r \cdot r_1}{E\delta} + \frac{\overline{m_2} h_2 r_1}{r_2} + \frac{\overline{m_5} h_5 r_1}{r_5}, \qquad (7\,58)$$

$$\Delta_{1P} = \frac{N_{T1} r_1}{B_{11}} - \frac{P_B r^2}{E\delta} 0.85 - \alpha T r - \overline{n_2} h_2 - \overline{n_3} h_3 - \overline{n_5} h_5 - \overline{n_6} h_6, \qquad (7\,59)$$

7 30 Воздухонагреватель с одним деформативным слоем и одним выгорающим зазором

В этом случае несущий огнеупорный слой (наружный) и соответствующие ему деформативный и выгорающий слои отсутствуют

Следовательно , $P_4 = 0$, а P_1 определяется по формуле (7 25) , в которой

$$\delta_{11} = \frac{r_1^2}{B_{11}} + \frac{r \cdot r_1}{E\delta} + \frac{\overline{m_2 h_2 r_1}}{r_2}, \qquad (7\ 60)$$

$$\Delta_{1p} = \frac{N_{T1} r_1}{B_{11}} - \frac{P_B r^2}{E\delta} 0.85 - \alpha Tr - \overline{n_2 h_2} - \overline{n_3 h_3}, \qquad (7\ 61)$$

Остальной расчет производится аналогично изложенному выше , а в формулы (7 35) и (7 36) вместо P_4 и r_4 подставляются соответственно P_1 и r_1

7 31 После выполнения расчетов воздухонагревателя по формулам данного раздела , производится проверка на малоцикловую прочность согласно формул раздела 6

7 32 Рабочие анкеры воздухонагревателя при равных расстояниях по окружности и при плоском днище рассчитываются на внутреннее давление дутья и ветер по формуле

$$N_{раб} = \frac{2N_1 \pi r}{K} - \frac{0.9(Q_1 + Q_2)}{K} \le FRm_a, \qquad (7\ 62)$$

где

K - количество анкеров,

Q_1 (кг) - суммарная нормативная масса цилиндрической и купольной частей воздухонагревателя с учетом массы опирающихся на них конструкций,

Q_2 (кг) - суммарная нормативная масса периферийной футеровки и футеровки купола воздухонагревателя,

F (см^2) - площадь поперечного сечения анкера,

m_a - коэффициент условия работы для анкеров,

R (кгс/см^2)- расчетное сопротивление материалов анкеров

Величина N_1 принимается наибольшей из вычисленных по формулам

$$N_1 = \frac{P_в r}{2} + \frac{M_B}{\pi r^2}, \qquad (7\ 63)$$

$$N_1 = \frac{P_и r}{2} + \frac{M_B}{2\pi r^2}, \qquad (7\ 64)$$

где

$P_в$ и $P_и$ (кгс/см2) - соответственно расчетное внутреннее давление воздуха в воздухонагревателе при его эксплуатации и испытании,

M_B (кгсм) - изгибающий момент от расчетной ветровой нагрузки у основания воздухонагревателя, как защемленного в фундамент стержня

Примечание

Масса Q_2 периферийной футеровки и футеровки купола воздухонагревателя учитывается в формуле (7 62) только в том случае, если кладка внизу примыкает к кожуху вплотную (без деформативного слоя)

Временные анкера, служащие во время монтажа конструкций воздухонагревателя, рассчитываются по формуле

$$N_{монт} = \frac{2M_в}{Kr} - \frac{0.9Q_1}{K} \le FR, \qquad (7\,65)$$

где

K - количество монтажных анкеров,

F (см^2) - площадь сечения монтажного анкера

Расчет воздухопроводов горячего дутья

7 33 Расчет распространяется на воздухопроводы доменных печей с многослойной футеровкой и имеющие компенсационный слой Стальной кожух и футеровка рассчитываются на прочность от воздействия температуры и давления горячего дутья

Под воздействием температурного роста футеровки и внутреннего давления дутья в кожухе возникают растягивающие кольцевые и меридиональные напряжения

Участок воздухопровода в принятой системе координат и расчетные схемы участка даны на рис 7 8, 7 9, 7 10

7 34 Дополнительные меридиональные напряжения в кожухе воздухопровода, возникающие под действием собственной массы воздухопровода (включая футеровку) , опирающихся на них площадок , оборудования и т п определяются как для обычных балок кольцевого сечения без учета несущей способности футеровки Эти напряжения суммируются с меридиональными напряжениями в кожухе, полученными от воздействия температуры и давления горячего дутья

7 35 Рабочая (нормативная) температура горячего дутья $T_в$ задается технологической организацией Распределение температуры считается постоянным для всех участков воздухопровода горячего дутья (НГД) и осесимметричным

7 36 Температуры на границах слоев в сечениях прямых участков ВГД согласно рис 7 11 определяются по формулам (7 1) , (7 2), но в отличие от доменных печей и воздухонагревателей коэффициент теплоотдачи от поверхности кожуха принимается

- $\lambda_н$ =17.3- при минимальной расчетной температуре воздуха,
- $\lambda_н$ =22 - при максимальной расчетной температуре воздуха

При определении расчетных температур кожуха кольцевого участка ВГД к значениям температур кожуха, полученным расчетом по формуле (7 1), следует прибавлять $T_{const} = 50°C$, для всех остальных участков ВГД $T_{const} = 0°C$

Полученные по формуле (7 1) величины температур кожуха не должны превышать значений, указанных в таблице 5 8 (графа "кратковременные") с учетом коэффициента надежности по нагрузке, что обеспечивается соответствующей конструкцией футеровки

7 37 Изменение температуры по толщине слоев происходит по закону прямой, см формулу(7 3)

7 38 Проверка прочности кожуха в расчетном сечении производится по формуле (7 4), в которой

$$\sigma_2 = \sigma_{хt} n_t + \sigma_{хр} n_р \le R, \qquad (7\,66)$$

$$\sigma_1 = \sigma_{vt} n_t + \sigma_{vр} n_р \le R, \qquad (7\,67)$$

где

$$\sigma_{хр} = \frac{P_в r}{\delta}, \qquad (7\,68)$$

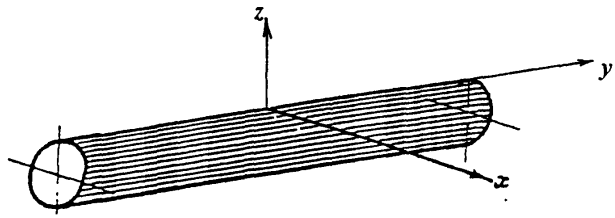


Рис. 7.8

Прямой участок футерованной цилиндрической оболочки в принятой системе координат

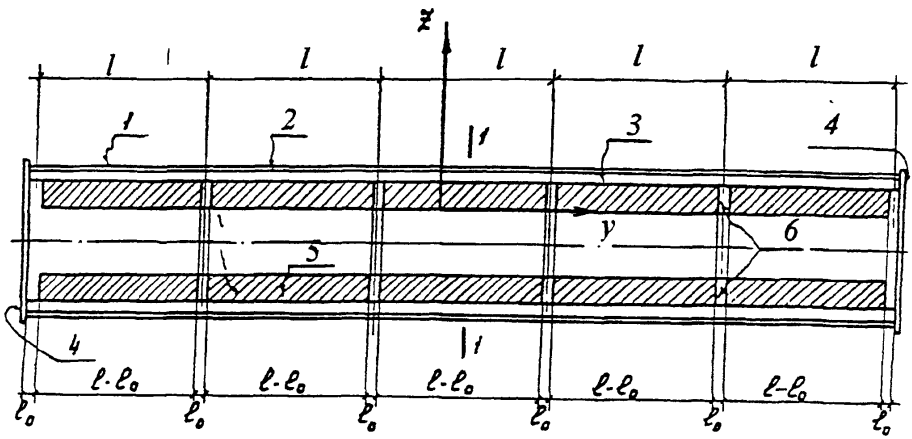


Рис. 7.9

Схематический продольный разрез прямого участка футерованной многослойной цилиндрической оболочки

1-кожух; 2 - асбестовый картон; 3 – теплоизолячционные слои футеровки; 4 - заглушки; 5 - огнеупорные несущие слои футеровки; 6 - температурные зазоры.

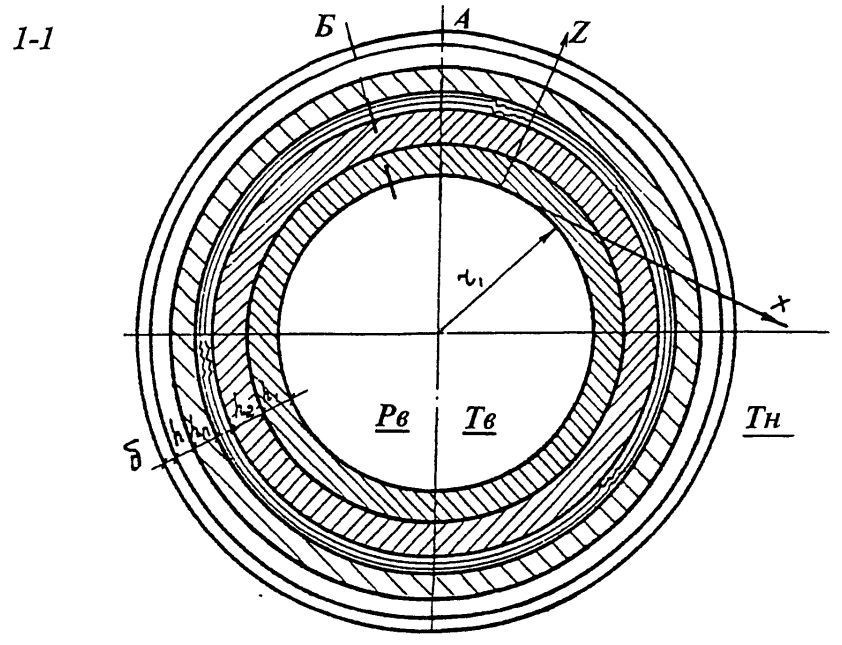


Рис. 7.10 *Схема поперечного сечения 1-1*

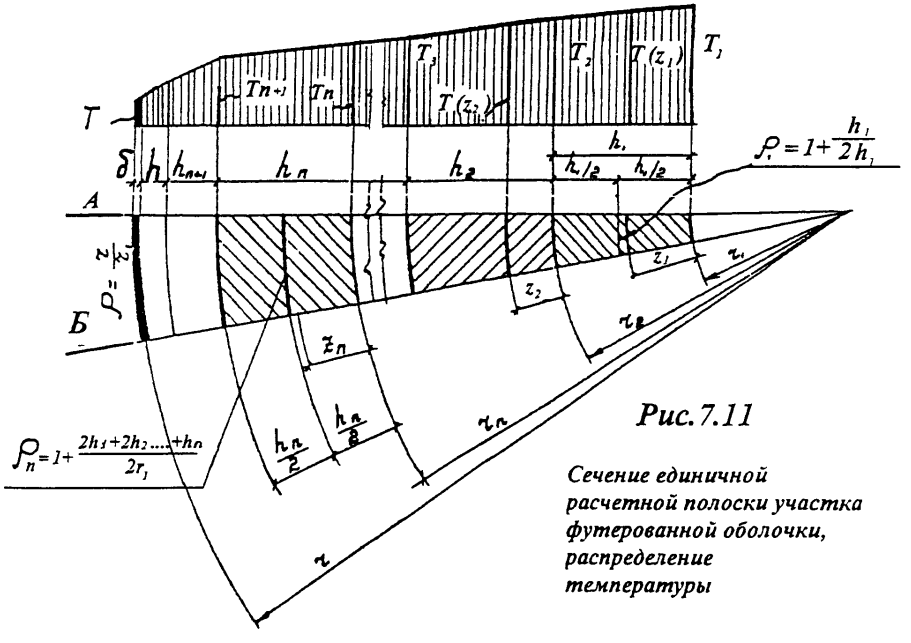


Рис. 7.11

Сечение единичной расчетной полоски участка футерованной оболочки, распределение температуры

$$\sigma_{ур} = \frac{P_B r}{2\delta}, \qquad (7\ 69)$$

$$\sigma_{хт} = \frac{\Delta_{хр}\delta_{уу} + \Delta_{ур}\delta_{ху}}{\delta_{хх}\delta_{уу} - \delta_{ху}\delta_{ух}}, \qquad (7\ 70)$$

$$\sigma_{ут} = \frac{\Delta_{ур}\delta_{хх} + \Delta_{хр}\delta_{ух}}{\delta_{хх}\delta_{уу} - \delta_{ху}\delta_{ух}}, \qquad (7\ 71)$$

m=0 85 см.(Таблицу 5.12) , n_p=1 15 , n_t=1.2 (см Таблицу 5 11)

В формулах (7 70) и (7 71) при "n" несущих слоев футеровки

$$\delta_{хх} = \frac{r_{n+1}\delta}{\sum_{i=1}^{n} B_{1i}} + \frac{r}{E} + \frac{\bar{m}h\delta}{r}, \qquad (7\ 72)$$

$$\delta_{ху} = \nu\frac{r}{E}, \qquad (7\ 73)$$

$$\Delta_{хр} = \frac{\sum_{i=1}^{n} N_{Ti} r_{n+1}}{\sum_{i=1}^{n} B_{1i}} - \frac{P_B r^2}{E\delta}\left(1 - \frac{\nu}{2}\right) - \alpha T r - \bar{n}\bar{h}, \qquad (7\ 74)$$

$$\delta_{уу} = \frac{\delta\rho}{\sum_{i=1}^{n} \rho_i B_{1i}} + \frac{1}{E}, \qquad (7\ 75)$$

$$\delta_{ух} = \nu\frac{1}{E}, \qquad (7\ 76)$$

$$\Delta_{ур} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \rho_i N_{T1i}}{\sum_{i=1}^{n} \rho_i B_{1i}} - \frac{P_B r^2}{2E\delta}(1 - 2\nu) - \alpha T - l_0 \cdot 10^{-2}, \qquad (7\ 77)$$

где в соответствии с рис 7 11

$$\rho_1 = 1 + \frac{h_1}{2r_1}, \rho_2 = 1 + \frac{2h_1 + h_2}{2r_1}, \quad \rho_n = 1 + \frac{2h_1 + 2h_2 + \ldots + h_n}{2r_1}, \rho = \frac{r}{r_1}$$

Величины $\sum_{i=1}^{n} B_{1i}$, $\sum_{i=1}^{n} N_{Ti}$, $\sum_{i=1}^{n} \rho_i B_{1i}$, $\sum_{i=1}^{n} \rho_i N_{Ti}$ рассчитываются в соответствии с п п 7 11 , 7 28 с помощью формул (7 17) , (7 18), (7 47), (7 49), (7 50), (7 51) и таблиц 7 приложения 1 Для футеровки с двумя несущими огнеупорными слоями формулы (7 50) и (7 51) с учетом ρ_i принимают вид

$$\sum_{i=1}^{2} B_{1,2} = \frac{h_1}{T_1 - T_2}\left[I_{11}(T_1) - I_{11}(T_2)\right] + \frac{h_2}{T_2 - T_3}\left[I_{12}(T_2) - I_{12}(T_3)\right] \quad (7\,78)$$

$$\sum_{i=1}^{2} N_{T_{1,2}} = \frac{h_1}{T_1 - T_2}\left[I_{21}(T_1) - I_{21}(T_2)\right] + \frac{h_2}{T_2 - T_3}\left[I_{22}(T_2) - I_{22}(T_3)\right] \quad (7\,79)$$

$$\sum_{i=1}^{2} \rho_{1,2} B_{1,2} = \frac{\rho_1 h_1}{T_1 - T_2}\left[I_{11}(T_1) - I_{11}(T_2)\right] + \frac{\rho_2 h_2}{T_2 - T_3}\left[I_{12}(T_2) - I_{12}(T_3)\right] \quad (7\,80)$$

$$\sum_{i=1}^{2} \rho_{1,2} N_{T_{1,2}} = \frac{\rho_1 h_1}{T_1 - T_2}\left[I_{21}(T_1) - I_{21}(T_2)\right] + \frac{\rho_2 h_2}{T_2 - T_3}\left[I_{22}(T_2) - I_{22}(T_3)\right] \quad (7\,81)$$

Коэффициенты податливости $\overline{m}$ и $\overline{n}$ для асбестового картона определяются в соответствии с положениями п 7 11 по таблице 4 приложения 1

7 39 Вычисление кольцевых и меридиональных напряжений в несущих слоях футеровки производится соответственно по формулам

$$\sigma_{x\phi}^{(i)} = E_i(z_i)\left[\varepsilon_x - \alpha_i T(z_i)\right] n_i, \quad (7\,82)$$

$$\sigma_{y\phi}^{(i)} = E_i(z_i)\left[\varepsilon_y - \alpha_i T(z_i)\right] n_i, \quad (7\,83)$$

где относительные кольцевые и меридиональные перемещения вычисляются по формуле

$$\varepsilon_x = -\frac{\sigma_{x1}\delta}{\sum_{i=1}^{n} B_{1i}} + \frac{\sum_{i=1}^{n} N_{Ti}}{\sum_{i=1}^{n} B_{1i}}, \quad (7.84)$$

$$\varepsilon_y = -\frac{\sigma_{y1}\delta\rho}{\sum_{i=1}^{n} \rho_i B_{1i}} + \frac{\sum_{i=1}^{n} \rho_i N_{Ti}}{\sum_{i=1}^{n} \rho_i B_{1i}} \quad (7\,85)$$

$E_i(z_i)$ и $\alpha_i(z_i)$ принимаются для кладок из различных огнеупоров по таблицам 6,7 приложения 1 в интервале граничных расчетных температур $T_j \div T_{j+1}$ Эпюра напряжений по толщине слоя может быть построена с помощью указанных таблиц с интервалом через 10 ^{0}C

Вычисление радиальных напряжений в теплоизоляционном слое футеровки производится по формуле

$$\sigma_{z\phi} = \frac{\sigma_{x1}\delta}{r_1 + \sum_{i=1}^{n} h_i} n_i, \quad (7\,86)$$

7 41 Максимально допустимые расстояния между температурными швами футеровки определяются по формулам

$$l = \frac{2r_1 + \sum_{i=1}^{n} h_i}{f}, \quad (7\,87) \qquad l = \frac{2r_1 + \sum_{i=1}^{n} h_i}{2f}, \quad (7\,88)$$

Величины f для различных материалов принимаются по таблице 5 приложения 1

По формуле (7 87) определяется l при наличии температурных швов с двух сторон расчетного участка

По формуле (7 88) определяется l при наличии температурного шва с одной стороны расчетного участка

7 42 Расчет необходимых минимальных значений напряжений из условия полного обжатия несущих слоев футеровки выполняется по формулам

$$\sigma_{xt}^{min} = \frac{\sum_{i=1}^{n} N_{Ti} - \beta_{min} \sum_{i=1}^{n} B_{1i}}{\delta} \qquad (7\ 89)$$

$$\sigma_{yt}^{min} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \rho_i N_{Ti} - \beta_{min} \sum_{i=1}^{n} \rho_i B_{1i}}{\rho\delta} \qquad (7\ 90)$$

где $\beta_{min} = \alpha_i T(z_i)$ находится по таблицам 6 или 7 приложения 1 или по другим имеющимся источникам для несущих слоев футеровки в интервале граничных расчетных температур

По формулам (7 89), (7 90) можно предварительно определить δ при выбранной марке стали

7 43 предварительное определение h- толщины компенсационного слоя из асбестового картона выполняется по формуле

$$h = \frac{\beta_{min}\left(r_1 + \sum_{i=1}^{n} h_i\right) - \frac{r}{E}\left(\sigma_{xt}^{min} - \nu\sigma_{yt}^{min}\right) - \alpha r T - \frac{P_B r^2}{E\delta}\left(1 - \frac{\nu}{2}\right)}{\frac{\sigma_{xt}^{min}\delta\overline{m}}{r} + \overline{n}} \qquad (7\ 91)$$

7 44 Предварительное определение l_0 - величины свободного или выгорающего зазора в температурных швах футеровки при l=100 см выполняется по формуле $l_0 = A \cdot 10^2$(см) (7 92)

где

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{n} \rho_i N_{Ti}}{\sum_{i=1}^{n} \rho_i B_{1i}} - \frac{\sigma_{yt}^{min}\delta\rho}{\sum_{i=1}^{n} \rho_i B_{1i}} - \frac{1}{E}\left(\sigma_{yt}^{min} - \nu\sigma_{xt}^{min}\right) - \frac{P_B r(1-2\nu)}{2E\delta} - \alpha T$$

При l≠100 см l_0 определяется по формуле $l_0 = A \cdot l$ (7 93)

7 45 Вычисление кольцевых меридиональных перемещений участков кожуха выполняется соответственно по формулам

$$\overline{W} = \frac{r}{E}\left(\sigma_{xt} - \nu\sigma_{yt}\right) + \frac{P_B r^2}{E\delta}\left(1 - \frac{\nu}{2}\right) + \alpha T r \qquad (7\ 94)$$

$$\overline{U} = \frac{1}{E}\left(\sigma_{yt} - \nu\sigma_{xt}\right) + \frac{P_B l r}{2E\delta}(1 - 2\lambda) + \alpha T l \qquad (7\ 95)$$

σ_{xt}, σ_{yt} - определены по формулам (7 70), (7 71)

По формулам (7 94) и (7 95) можно вычислять перемещения участков кожуха доменной печи и воздухонагревателей, при этом σ_{xt}, σ_{yt} определяются соответственно по формулам (7 7), (7 8), и (7 36), (7 35), а вместо "l" в формулу (7 95) подставляются величины "$H_{n,n-1}$"

7 46 Вычисление кольцевых и меридиональных перемещений участков несущих слоев футеровки выполняется соответственно по формулам

$$\overline{W_n} = \varepsilon_x \cdot r_{n+1}, \qquad (7\,96), \qquad \overline{U} = \varepsilon_y \cdot l \qquad (7\,97)$$

ε_x, ε_y - определены по формулам (7 84), (7 85)

По формуле (7 96) можно определить перемещения несущих слоев футеровки в доменной печи и воздухонагревателя, при этом ε_x определены соответственно по формулам (7 20) и (7 55), (7 56), а величины радиусов подставляются в соответствии с расчетными схемами на рис 7 2 и 7 6

7 47 При необходимости расчета воздухопроводов с заданной конструкцией футеровки, вычисление напряжений в кожухе и футеровке ведется методом последовательных приближений в следующей последовательности

а) Рассчитываются σ_{x1} и σ_{y1} по (7 70), (7 71), при этом полагается, что все "n" слоев несущей футеровки находится в сжатой зоне, поэтому интегральные параметры футеровки B_1 и N_1 определяются по формулам (7 78)–(7 81)

При расстояниях l - между температурными швами, превышающих величины, получающиеся по (7 87), (7 88) следует принимать l_0=0 независимо от величины зазора в температурном шве

б) После расчета σ_{x1} и σ_{y1} определяются ε_x, ε_y и по формулам (7 82), (7 83) строятся эпюры напряжений по толщине всех несущих слоев футеровки

Слои или части слоев, в которых по расчету получились растягивающие кольцевые или меридиональные напряжения из работы в этих направлениях выключаются и полагается, что они воспринимают только радиальные сжимающие напряжения

в) После уточнения толщины и количества несущих слоев, значений граничных температур, выполняется повторное определение интегральных параметров футеровки по формулам (7 78)–(7 81), но с уточненными величинами n, h_i, ρ_i, T_{j+1} и рассчитываются σ_{x1} и σ_{y1} во втором приближении и т д

Учет краевого эффекта.

7 48 Настоящий расчет распространяется на футерованные цилиндрические и конические (с углом наклона образующей к вертикали не более 10^0) оболочки доменных печей , воздухонагревателей и воздухопроводов горячего дутья, имеющие наружные кольца жесткости Расчет на прочность кожуха и многослойной футеровки учитывает воздействие нагрузок, указанных в п п 7 6, 7 22, 7 33

7 49 Определение напряжений во внутренних (В) и наружных (Н) волокнах кожуха футерованной оболочки (см Рис 7 12) с наружным кольцом жесткости (см Рис 7 13) производится по формулам

$$\sigma_1^{B,H} = \sigma_1 \pm \frac{6M}{\delta^2} < mR, \qquad (7\,98)$$

$$\sigma_2^{B,H} = \nu\sigma_1^{B,H} + E\left(\frac{W}{r} - \alpha T\right) < mR, \qquad (7\,99)$$

где m=1 25 (см Таблицу 5 12)

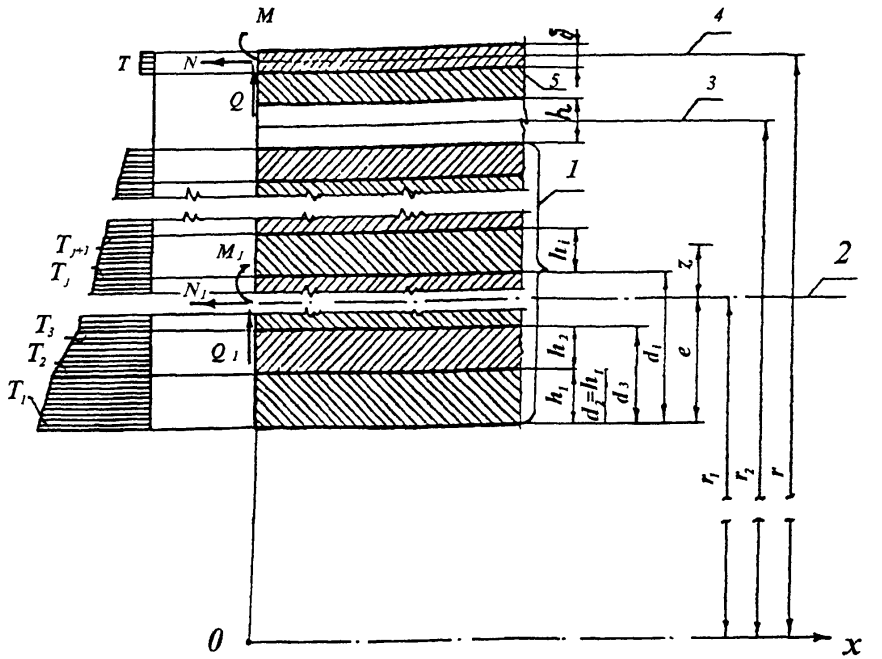


Рис.7.12

Сечение футерованной оболочки; распределение температуры по толщине стенки; правило знаков внутренних усилий в футеровке M ,Q ,N и кожухе M , Q , N (показаны их положительные направления).

1 и 2 - пакет несущих огнеупорных слоев и его координатная поверхность; 3 и 4 - срединные поверхности компенсационного слоя и кожуха; 5- теплоизоляция.

σ_1 -меридиальное напряжение безмоментного расчета, определяемое по одной из формул (7 6), (7 35) или (7 67) (в зависимости от объекта расчета) без учета коэффициентов надежности по нагрузке и коэффициента ослабления

M, W - определяются согласно п 7 54

Примечание Напряжения определяются только в начальном сечении оболочки при y=0

7 50 Определение напряжений в i-том слое футеровки оболочки п 7 49 выполняется по формулам

$$\sigma'_{y\phi}(z_1) = E_1(z_1)\left[\frac{N_1 + N_T}{B_1} - z\frac{M_1}{D_1} - \alpha_1 T(z_1)\right], \qquad (7\ 100)$$

$$\sigma'_{x\phi}(z_1) = E_1(z_1)\left[\frac{W_n}{r_1} - \alpha_1 T(z_1)\right], \qquad (7\ 101)$$

где $$N_1 = -\frac{\sigma_1 \delta r}{r_1}, \qquad (7\ 102)$$

B_1, N_T - определяются согласно п 7.28 по формулам (7 47) и (7 49),

D_1 - определяется согласно п 7 52 ,

W_n, M_1 - определяется согласно п 7 54.;

z (см) -переменная отсчитывается от координатной поверхности футеровки (положительные отсчитываются в сторону увеличения радиуса)

7 51 Для определения r_1, необходимо найти положение координатной поверхности футеровки , которая проходит через приведенный центр тяжести эпюр модуля упругости несущих огнеупорных слоев футеровки

$$r_1 = r_B + e\ , \qquad (7\ 103)$$

7 52 Определение цилиндрической жесткости сжатых слоев футеровки производится по формуле

$$D_1 = \frac{E_1^{cp}(T)\left(\sum_{i=1}^{n} h_i\right)^3}{12}, \qquad (7\ 104)$$

где

$E_1^{cp}(T)$ - средний модуль упругости сжатых слоев футеровки,

$\sum_{i=1}^{n} h_i$ - общая высота сжатых слоев футеровки

7 53 Определение вспомогательных параметров кожуха и футеровки для подсчета перемещений W, W_n, изгибающих моментов M и M_1 производится по формулам

а) для кожуха

$$D = \frac{E\delta^3}{12(1-\nu^2)} \qquad (7\ 105) \qquad 4\beta^4 = \frac{12(1-\nu^2)}{r^2\delta^2}, \qquad (7\ 106)$$

б) для футеровки

$$4\gamma_2^4 = \frac{1}{2}\left(b + \sqrt{b^2 - 4C}\right) \qquad (7\ 107)$$

$$4\gamma_2^4 = \frac{C}{4\gamma_2^4}, \qquad (7\ 108) \qquad a_1 = -\frac{K_1 D_1}{a_2 D}, \qquad (7\ 109)$$

$$a_2 = 1 + \overline{m} K_2 h D_1 \left(4\beta_1^4 - 4\gamma_2^4\right), \qquad (7\ 110)$$

$$4\beta_1^4 = \frac{B_1}{D_1 r_1^2}, \qquad (7\ 111)$$

$$b = \frac{D_1 K_1 + D}{\overline{m} \cdot h D_1 D K_2} + 4\left(\beta_1^4 + \beta^4\right), \qquad (7.112)$$

$$c = \frac{4\beta_1^4 D_1 K_1 + 4\beta^4 D}{\overline{m} h D_1 D K_2} + 16\beta_1^4 \beta^4, \qquad (7\ 113)$$

$$K_1 = \frac{r_1}{r}, \quad K_2 = \frac{r_1}{r_2}, \qquad (7\ 114)$$

$\overline{m}, \overline{n}$ - коэффициенты податливости (см П.п 7 11., 7.28., 7.38)

7 54 Определение радиальных перемещений и изгибающих моментов в начальном сечении оболочки y=0 (рис 7 13) производится по формулам·

$$W_n = \frac{P}{8 a_2 \gamma_1^3 D} + \overline{W}_n, \qquad (7\ 115)$$

$$W = \frac{P\left(a_1 \gamma_2^3 - a_2 \gamma_1^3\right)}{8 a_2 \gamma_1^3 \gamma_2^3 D} + \overline{W}, \qquad (7\ 116)$$

$$M_1 = \frac{P a_1 \left(\gamma_2 - \gamma_1\right)}{4 K_1 \gamma_1 \gamma_2}, \qquad (7\ 117) \qquad M = \frac{P}{4\gamma_2}, \qquad (7\ 118)$$

$$P = \frac{\overline{W} - \alpha_k T_k r_k}{\frac{a_2 \gamma_1^3 - a_1 \gamma_2^3}{8 a_2 \gamma_1^3 \gamma_2^3 D} + \frac{r r_k}{E_k F_k}}, \qquad (7\ 119)$$

$\overline{W}_n, \overline{W}$ - радиальные перемещения футеровки и кожуха, определяемые по безмоментному расчету согласно п 7 45,

E_k - модуль упругости,

F_k - площадь поперечного сечения,

r_k - радиус центра тяжести,

α_k - коэффициент линейного расширения ,

T_k - температура на уровне центра тяжести кольца

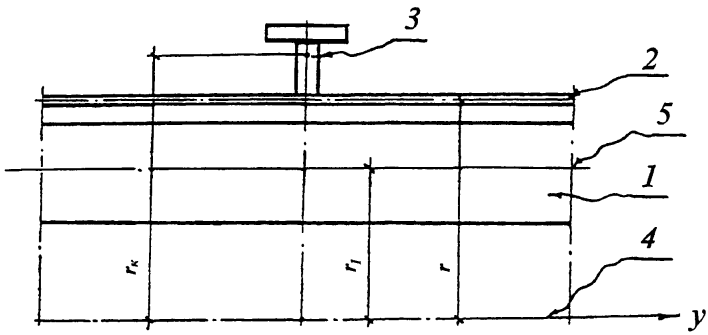


Рис.7.13

Футерованная оболочка с кольцом жесткости
1-футеровка; 2-кожух; 3- центр тяжести кольца 4- ось вращения оболочки; 5- координатная поверхность

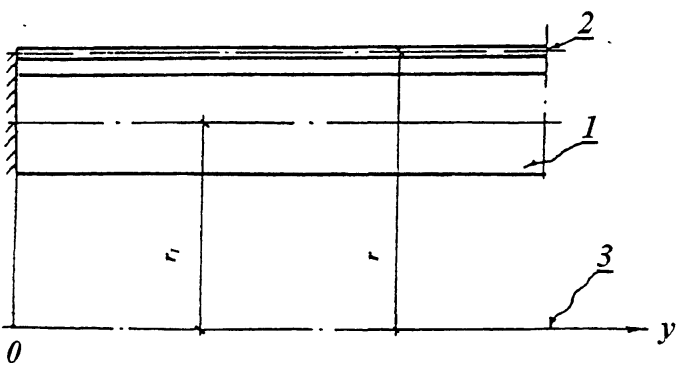


Рис.7.14

Футерованная оболочка, заделанная по контуру.
1 - футеровка; 2 - кожух; 3 - ось вращения

7 55 Усилие в кольце определяется по формуле.

$$N_k = P \cdot r, \qquad (7\ 120)$$

7.56 Формулы (7 115)÷(7 119) пригодны при условии, если расстояние между зонами возникновения краевых эффектов

$$l \geq \frac{2}{\gamma_1}, \qquad (7\ 121)$$

где γ_1 определяется по формуле (7 108)

8. УКАЗАНИЯ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ

Общие положения

8 1 Стальные конструкции доменного комплекса должны проектироваться с учетом требований "Правил безопасности в доменном производстве", и "Правил безопасности в газовом хозяйстве заводов черной металлургии"

В тексте указаний по конструированию для отдельных сооружений приведены наиболее употребительные требования этих "Правил "

8 2 Конструктивные решения сооружений комплекса доменной печи должны способствовать обеспечению максимально возможной механизации трудоемких работ по выплавке чугуна и проведению ремонтов При проектировании необходимо учитывать возможность появления значительных температурных деформаций конструкций, влияющих как на прочность несущих элементов, так и на безаварийную эксплуатацию сооружений Так, например, использование вертикальных газоотводов печи в качестве опоры для конструкций колошника возможно только в случае применения засыпного аппарата, работа которого не нарушается при неравномерном росте газоотводов

8 3 Конструкции сооружений комплекса решаются из условия выполнения максимального объема работ на заводах-изготовителях Схемы сооружений и членение конструкций на монтажные единицы должны учитывать максимальное внедрение крупноблочного и комплексного монтажа

8 4 При проектировании сооружений доменного комплекса выбор решений конструктивных схем с применением разрезных конструкций считается предпочтительней аналогичным неразрезным, при соответствующем технико-экономическом обосновании

8 5 Для защиты металла от коррозии рекомендуется применять покрытия, приведенные в приложении 10 Эти рекомендации не распространяются на внутренние поверхности кожухов доменных печей и воздухонагревателей В случае необходимости их защиты от специфических воздействий технологического процесса (например, вызывающих коррозионное растрескивание) В этих случаях требуется применение специальных мероприятий

8 6 Для уменьшения воздействия коррозии следует предпочитать сплошностенчатые конструкции сквозным и сплошные швы шпоночным

8 7 При исполнении деталировочных чертежей листовых конструкций размеры листов и радиусы кривизны вальцовки следует устанавливать с учетом припусков на усадку сварных швов Величина усадки определяется принятой технологией сварки стыковых швов

8 8 Для уменьшения силовых воздействий от нагрева конструкций рекомендуется устанавливать компенсаторы на трубопроводах и оболочках При этом следует учитывать общую конструктивную схему сооружений

8 9 Уклон лестниц не должен быть более 45° Увеличение уклона выполняется по согласованию с технологической организацией

8 10 Во всех местах расположения оборудования, для удобства его обслуживания, рекомендуется устройство специальных площадок по технологическому заданию

8 11 Минимальная ширина прохода, переходных площадок и лестниц, учитывая габариты оборудования, должны быть равны 800 мм В отдельных случаях по согласованию с

ехнологической организацией допускается уменьшение ширины переходных площадок лестниц о 700 мм

8 12 Настил наружных обслуживающих и переходных площадок (за исключением олошниковой и мест расположения оборудования) для обеспечения просыпания пыли ыполняется ребристым из полос с шагом 40 мм Настил внутренних площадок, кроме тех тучаев, когда настил используется как несущий элемент в общей схеме сооружения (например, ольцевые площадки печи, обеспечивающие неизменяемость ее колонн) и мест установки борудования также выполняется из полос Листовой настил выполняется с отверстиями d= 25 м, через 250 мм Если колошниковая площадка одновременно служит кровлей здания, отверстия ней не делаются

8 13 Ограждения на площадках (кроме колошниковой) и лестницах делаются высотой 1200 м, с полосой 180х4 мм для площадок и 100х4 мм для лестниц Низ полосы устанавливается на 20 м выше уровня площадки или внешнего угла ступени

Ограждение колошниковой площадки делать высотой 1200 мм и зашивать листом на всю ысоту с зазором от верха площадки, равным 20 мм

8 14 Кабельные мостики должны иметь сверху съемный сплошной настил

Собственно доменная печь.

8 15 Крепление зацепа, пушки к кожуху печи не допускается, из-за передачи на него ольших сосредоточенных переменных нагрузок Крепление должно осуществляться к онструкциям рабочей площадки здания

8 16 Отверстия в кожухе печи рекомендуется делать круглыми или овальными .опускается вырезка прямоугольных отверстий с радиусом закругления в углах не менее 50 мм ырезка отверстий с прямыми углами запрещается

8 17 Для свободного температурного роста футеровки закрепление штуцеров к кожуху ледует выполнять без выступа кромки во внутрь кожуха или с выступом, размер которого должен ыть меньше зазора между кожухом и кладкой

8 18 Для обеспечения устойчивости кожуха в местах воздействия на него значительных осредоточенных нагрузок (направленных по образующей), например, над опорами, необходимо редусматривать продольные ребра, высота которых не должна быть менее 0,15 диаметра болочки

8 19 Участки кольцевого воздухопровода горячего дутья, расположенные над желобами ля чугуна и шлака, во избежании местного перегрева, должны защищаться специальными ранами

8 20 Допускается несовпадение в плане колонн шахты с колоннами горна, кроме доменных ечей, работающих на цинко- содержащих рудах

8 21 Габариты колонн горна должны обеспечивать возможность смены фурменных риборов Обращенная к печи поверхность колонн не должна иметь выступов (для удобства азмещения водопроводных устройств)

8 22 В случае применения съемных холодильников шахты, расположение и габариты олонн шахты должны максимально обеспечивать возможность их замены

8 23 Расстояние между колоннами печи и ее кожухом, с целью обеспечения его ремонта, е должно быть менее 600 мм

8 24 Проектный зазор между гранями стоек колошникового копра и конструкциями наклонного моста, учитывая неточности монтажа, должен быть не менее 75 мм

8 25 Площадки для исследовательских работ, расположенные на шахте печи, должны иметь два выхода

8 26 Расстояние между гранью кольцевых площадок и кожухом печи для пропуска труб охлаждения должно быть не менее 350 мм По грани площадок, во избежание соскальзывания ноги, устанавливается бортик высотой 60 мм Ширина прохода по кольцевым площадкам, учитывая габарит оборудования, должна быть не менее 1000 мм

8 27 Основные площадки колошникового копра связываются двумя расположенными с противоположных сторон лестницами Одна из этих лестниц может быть заменена лестничной шахтой лифта

8 28 Все лестницы, по которым возможен выход на площадки печи и колошниковую площадку, оборудуются снизу запирающимися дверями

8 29 Для обеспечения выпуска "козла" в уровне козловых леток предусматривается специальная площадка, конструкция которой может быть стационарной или разборной

Воздухонагреватели, пылеуловители и газовоздухопроводы

8 30 На металлоконструкции перечисленных сооружений распространяются пункты 8,16, 8 17, 8 18, 8 23, 8.28 требований для собственно доменной печи и п п 8 48, 8 49, 8 50 требований для зданий комплекса

8 31 При проектировании подверженных переменному воздействию внутреннего давления кожухов воздухонагревателей и воздухопроводов холодного и горячего дутья следует стремиться к решениям, создающим минимальные концентрации напряжений

При этом следует оговаривать

а) применение сварных соединений встык без вырубки и подварки корня шва не допускается Как исключение при соответствующем обосновании разрешается применение швов на подкладке В этих случаях в проекте следует оговаривать требование по обеспечению плотного прилегания листов к подкладке с обязательной проверкой прилегания путем измерения депланации листов с учетом их фактических толщин (учет допусков) Указанная проверка оформляется соответствующим документом,

б) требования о зачистке швов, имеющих подрезы глубиной ≤0,5мм, и о заплавлении с последующей зачисткой швов, с подрезами глубиной > 0,5 мм, когда это определяется расчетом ,

в) одновременное наличие дефектов в одном месте сварного шва (угловатость, депланация и т п) более двух не допускается В случае появления большего количества дефектов (больше двух), последний подлежит исправлению Размеры каждого дефекта не должны быть больше установленного соответствующими допусками

8 32 Кирпичная (в полкирпича) футеровка пылеуловителей закрепляется с помощью кольцевых ребер, вырезанных из 10 мм листов и вертикальных ребер из двутавров № 14, расположенных так, чтобы площадь панели не превосходила бы 7,5 м2, а ее высота - 2,5 м

Расстояние между кольцевыми ребрами (в чистоте) определяется по

формуле $h = n(23 + 2)$ + зазор 15-20 мм, где n-число рядов кирпича, 230 - длина ирпича, 2 мм - толщина шва между кирпичами

8 33 Для защиты от истирания верхней конусной части пылеуловителя и наружных оверхностей внутренних труб пылеуловителя рекомендуется применять сталь марки ЗОГ2 по ОСТ 1577-70*) с приваркой электродами типа Э-42

Для вальцованной брони листы должны предварительно подвергаться термической бработке

8 34 При расчете конструкций трубопроводов и определении усилий от них на места акреплений рекомендуется учитывать самокомпенсацию труб В случае необходимости для меньшения усилий устанавливать специальные компенсаторы

8 35 В газопроводах для крепления кирпичной футеровки предусматриваются кольцевые ебра с максимальным расстоянием между ними 1750 мм Шаг ребер определяется по пункту 8 32

8.36 Кирпичная футеровка газопроводов в местах перегибов и сопряжений, где происходит е интенсивное истирание или не обеспечивается надежность от выпадения кирпича, заменяется итыми или вальцованными защитными плитами

8 37 Стыки трубопроводов устраивать на полубандажах Фланцевые соединения опускаются только в местах примыкания оборудования Для удобства монтажа оборудования в естах установки фланцев рекомендуется предусматривать короткие участки труб, которые начала привариваются к фланцам, а затем на полубандажах к основному трубопроводу

Фланцы трубопроводов диаметром более 1000 мм делать литыми

8.38 Для обеспечения смены клапанов и другого оборудования на трубопроводах по огласованию с технологической организацией следует предусматривать специальные упоры, зволяющие разжать трубопровод при помощи домкратов

8 39 По всей длине нисходящих газопроводов устраиваются лестницы со ступенями из ебристого настила

Наклонный мост.

8 40 В уровне верхних поясов поперечных балок моста для предохранения от падения атериалов из скипа делается сплошной листовой настил Для обеспечения горизонтальной есткости моста настил рекомендуется использовать как ветровую балку

Во избежание попадания воды и материалов

а) в скиповую яму - настил перед ней на длине одной панели прерывается и заменяется связями, обеспечивающими передачу горизонтальных усилий ветровой балке,

б) в машинное помещение - проемы в настиле вокруг конусных и скиповых тросов обрамляются бортиками высотой 10 мм В плане бортики должны иметь острый угол в верхней части

8 41 Для прохода по мосту на всей его длине между рельсами привариваются скобы, лужащие ступенями

8 42 Решетчатые фермы моста должны зашиваться по всей длине на высоту скипа листом олщиной 4 мм

8 43 Во избежание схода скипов с рельс по обе его стороны вдоль всего моста над его скатами устанавливаются направляющие, препятствующие отрыву скатов от рельс

8 44 При устройстве закрытых мостов их верхняя решетка должна обеспечивать возможность быстрой смены скипов, для чего в месте подъема скипа участок решетки заменяется рамой

8 45 Зазор между конструкциями моста и габаритами движущегося скипа должен быть не менее сбоку 150 мм (кроме опрокидывающего устройства, где допускается 50 мм), сверху 250 мм

8 46 Зазор между движущимися скиповыми и конусными тросами и элементами моста должен быть не менее, при угле наклона троса к горизонту от 20^0 до 60^0 снизу 250 мм, сбоку и сверху 150 мм, при вертикальном положении троса 150 мм При промежуточных положениях троса величина зазора определяется по интерполяции Зазор определяется как расстояние между конструкцией и осью ветви троса с учетом его прогиба при нормальной эксплуатации

8 47 Для обеспечения смены тросов на мосту предусматриваются закрепляющие скипы стопорные устройства

Здания комплекса.

8 48 В целях предупреждения коррозии нижней части колонн, фундаменты под них (кроме опор под марши лестниц) возводить до отметки не менее 250 мм от уровня земли Если размещение башмаков выше уровня земли не возможно (например, вследствие нарушения габарита приближения железнодорожных путей), разрешается опускать башмаки ниже уровня земли с обязательным обетонированием до отметки 250 мм выше уровня земли

Связи между конструкциями не должны заходить ниже 250 мм от уровня земли

8 49 В местах возможного повреждения воздействием высоких температур или непосредственно горячим металлом колонны защищаются на необходимую высоту облицовкой из жароупорного бетона или кирпича толщиной 120 мм Для колонн литейного двора и колонн горна печи облицовка делается до уровня рабочей площадки

8 50 В местах возможного механического повреждения колонн на их нижних частях предусматривается специальная защита

8 51 Для защиты конструкций перекрытий и переходов, проходящих над ковшами с горячим чугуном и шлаком, делать защитные экраны, при их расположении по высоте менее 5 м от верха ковша в местах возможной длительной остановки составов

Экраны следует делать из несвязанных друг с другом элементов площадью не более 4 0 $м^2$ каждый

8 52 Заполнение холодных стен рекомендуется выполнять из оцинкованного профилированного стального листа При применении наполнения стен кладкой в 1/2 кирпича размеры полей фахверка должны быть не более 12 0 $м^2$ При этом меньший размер кирпичных панелей не должен превосходить 2 5 м При размере одной из сторон панели менее 1 2 м ее площадь не ограничивается

8 53 Во избежании скопления пыли, угол наклона кровли зданий, расположенных в радиусе 50 м от оси доменной печи, принимать не менее 45^0 В случае устройства кровли или ее участков с меньшим уклоном должны быть предусмотрены способы пылеудаления, например, гидросмыв При этом следует учитывать дополнительную нагрузку от пыли На кровле устраивается свес длиной 400-500 мм от наружной поверхности стены без устройства желобов и

водосточных труб Если вдоль стены располагается лестница или площадка, то свес кровли над ними увеличивается или устраивается специальный навес до размеров, обеспечивающих защиту от стекающих осадков

8 54 Устройство "мешков" кровли (скат к выступающей вертикальной стене и т п) , где возможно отложение пыли, не допускается

8 55 По периметру кровли предусматривается ограждение высотой 1 1 м согласно п 8 14 для переходных площадок

8 56 Не делать остекления в местах, где по условиям производства оно может быть выбито или сильно загрязнено В частности, освещение рабочей площадки печи и литейного двора следует выполнять через проемы, закрываемые поворотными механическими щитами Площадь остекления должна быть минимальной, ее плоскость - вертикальной

8 57 Переходные площадки в уровне рабочей площадки литейного двора, как правило, выстилаются шамотным кирпичом толщиной 113 мм

8 58 Обслуживающие и переходные площадки над желобами и в других местах возможного сильного нагрева должны быть защищены специальной теплоизоляцией

8 59 Для круглых кровель вдоль фонарей предусматриваются площадки, с которых возможно производить их осмотр и ремонт

Лифт

8 60 Конструкция лифта должна обеспечивать чистоту воздуха по всей высоте его ствола В загазованной зоне предпочтительное устройство ствола в виде прямоугольной пространственной решетчатой конструкции, в которой стороны, обращенные к печи , закрываются сплошной обшивкой (во избежание запыления), а остальные затягиваются сеткой Всюду, где нет угрозы загазованности лифта, для обеспечения большей надежности его работы и по экономическим соображениям, ствол следует делать в виде цилиндрической тонкостенной трубы с проемами, обеспечивающими обмен воздуха внутреннего объема лифта

8 61 Параллельно с шахтой лифта на всю его высоту устраивается лестничная шахта

Требования к технологическим конструкциям.

8 62 Технологические конструкции должны выполняться с учетом приведенных ниже требований, обеспечивающих рациональное использование стальных конструкций В последних не должны появляться разрушения и деформации, возникающие в результате изменения технологических конструкций во времени (разрушение , перегрев, температурное расширение и т п)

8 63 Футеровки и системы охлаждения сосудов и трубопроводов должны обеспечивать стабильную температуру нагрева металла оболочек в пределах величин, приведенных в разделе 5, табл 5 8, графе "временная длительная" Их конструкция и материалы должны отвечать данным и результатам расчета, учитывающего совместную работу кожуха и футеровки (см Раздел 7) Решение футеровки и свойства ее материалов должны обеспечивать стабильный уровень напряженного состояния и температуры нагрева печи во время ее эксплуатации

8 64 Высота ребер чугунных холодильников доменной печи должна обеспечивать охлаждение этих ребер во избежание необратимого температурного роста указанных холодильников

8 65 Под холодильниками, имеющими жесткую связь с кожухом печи, должна предусматриваться упругая набойка, обеспечивающая вертикальное температурное расширение нижележащей кладки, такие же зазоры должны быть устроены выше или ниже защитных сегментов колошника (в зависимости от их конструкций)

8 66 Доля протяженности вертикальных и горизонтальных зазоров между сплошными плитовыми холодильниками от общей длины охлаждаемой зоны должна определяться расчетом согласно методике, учитывающей совместную работу холодильников , кладки и кожуха

8 67 Врезаемое в кожухи доменных печей, воздухонагревателей и других сосудов оборудование и подводы к нему, для уменьшения угрозы образования трещин, следует делать только с плавными переходами, например, раму летки для выплавки чугуна - овальной формы, а холодильники - с закругленными краями

8 68 Для футеровки печи и огнеупорного пня не допускается применение материалов, обладающих большим коэффициентом температурного расширения или способностью необратимого температурного роста (например, динасовой щебенки)

8 69 Конструкция устанавливаемых на сосудах литых фланцев должна обеспечивать возможность их приварки к основному металлу оболочки агрегата с вырубкой и подваркой корня шва

8 70 Кладка воздухонагревателей с плоским листовым (гибким) днищем в нижней части (на высоту не менее 1 5 м) должна быть выполнена с зазором между кожухом и кладкой не более 15 мм, что обеспечит максимальное погашение подъемной силы от внутреннего давления массой периферийной кладки По всей остальной высоте зазор определяется расчетом и заполняется упругими матами, компенсирующими температурное расширение футеровки

8 71 Конструкция куполов воздухонагревателей должна давать возможность вертикального температурного роста периферийной кладки

8 72 В футерованных газопроводах в местах постановки компенсаторов конструкция кладки должна отвечать компенсационной способности металла

8 73 В периферийной кольцевой кладке необходимо предусматривать горизонтальные швы, заполняемые упругими матами МТКУ толщиной 30 мм, компенсирующими вертикальное температурное расширение футеровки, Расстояние между этими швами должны быть не более диаметра кожуха воздухонагревателя, При этом швы рекомендуется назначать в местах изменения конструкции футеровки

8 74 Конструкция насадки должна исключать передачу давления от ее температурного расширения на кольцевую кладку воздухонагревателя

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблицы коэффициентов и физико-механические свойства материалов футеровки.

Коэффициенты тепловосприятия $\lambda_в$ в зависимости от температуры воздуха"Т" внутри воздухонагревателя и воздухопровода горячего дутья и доменной печи

Таблица 1

Т	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
$\lambda_в$	20	30	40	55	70	90	120	150	180	200	220	240

Поправочные коэффициенты для увеличения скорости ветра при расчете коэффициента теплоотдачи $\lambda_н$

Таблица 2

Высота над поверхностью земли в (м)	до 10 м	20	40	100*
Поправочный коэффициент К	1 0	1 15	1 3	1 5

* Для промежуточных высот коэффициент К определяется по линейной интерполяции

Коэффициенты теплопроводности материалов в зависимости от температуры λ_t

Таблица 3

№	Наименование материалов	Температура внутренней поверхности слоя	Коэффициент теплопроводности λ_t ккал-м час гр
1	Шамот класс А и Б	-	1 0
2	Каолин(-42%)	500-1300*	1 4-1 8
3	Высокоглинозем (ВГО-50)	500-1300	1.2-1 4
4	Высокоглинозем(МЛО-62)(ВГО-62)	500-1300	0 8-1 4
5	Высокообожженный малоразрыхляющий динас	500-1300	1 15-2 0
6	Шамот-легковес	-	0 5
7	Граншлаг с асбестом	-	0 2
8	Трепельная засыпка	-	0 15
9	Трепельный кирпич	-	0 4
10	Сталь	-	50 0
11	Мулито-корундовый (МКО-72) (ВГО-72)	600-1500	1 0-1 6
12	Каолиновый легковес Кл-1.3	600-800	0 52-0 58
13	Динасовый легковес ДЛ-1.2	600-1200	0 55-0 66
14	Каолиновая вата (маты уплотненные на 50%)	100-1100	0 05-0 2
15	Асбестовермекулит	100-400	0 1-0 15
16	Торкрет масса	-	0 41
17	Асбестовые картон	100-400	0 14-0 18
18	Свободно выгорающий зазор или тонкий шов	-	10^{-4}
19	Углеродистые блоки	-	5 0
20	Алюмо-силикатный кирпич	-	1 0
21	То же. с пропиткой чугуном	-	2 5
22	Углеродистая набойка	-	1 0
23	мертель	-	0 3
24	Чугун	-	2 0

* Для температур. лежащих в указанных интервалах. коэффициенты определяются по линейной интерполяции При температурах выше или ниже указанных. коэффициенты принимаются соответственно по верхнему или нижнему значению

Коэффициенты податливости материалов деформативных слоев в зависимости от радиальных давлений P_1.

Таблица 4

№	Наименование материала деформативного слоя	№№ стр	Пределы изменения давления на деформат слое	m_1	n_1
1	2	3	4	5	6
1	Трепельная крошка	1	0 ≤ P ≤ 6	0 032	0
		2	P > 6	0 012	0 12
	Трепельно-асбестовые засыпки				
2	75% трепельная крошка	1	0 ≤ P ≤ 6	0 0230	0
	25% асбестит	2	P > 6	0 0080	0 090
3	50% трепельная крошка	1	0 ≤ P ≤ 6	0 0260	0
	50% асбестит	2	P > 6	0 0080	0 1080
4	25% трепельная крошка	1	0 ≤ P ≤ 6	0 0320	0
	75% асбестит	2	P > 6	0 0090	0 1380
	Граншлако-асбестовые засыпки				
5	70% граншлака	1	0 ≤ P ≤ 6	0 0230	0
	30% асбестита	2	P > 6	0 0070	0 0960
6	50% граншлака	1	0 ≤ P ≤ 6	0 0260	0
	50% асбестита	2	P > 6	0 0080	0 1080
7	30% граншлака	1	0 ≤ P ≤ 6	0 0320	0
	70% асбестита	2	P > 6	0 0090	0 1380
8	15% граншл.,85% асбест	1	0 ≤ P ≤ 6	0 0360	0
	0% граншл ,100% асбест	2	P > 6	0 0140	0 1320
9	Шамотный порошок	1	0 ≤ P ≤ 4	0 0188	0
		2	P > 4	0 00341	0 0614
10	Мертель	1	0 ≤ P ≤ 4	0 0215	0
		2	P > 4	0 0060	0 062
11	Шлак	1	0 ≤ P ≤ 6	0 0211	0
		2	P > 6	0 00687	0 0852
12	Каолиновая вата(маты уплотненные на 50%)	1	0≤ P ≤0 5	0 44	0
		2	P >0 5	0 036	0.202
13	Асбесто-вермикулитовые плиты	1	0 ≤ P ≤ 2	0	0
		2	P > 2	0 02	-0 04
14	Асбестовый картон	1	0 ≤ P ≤ 6	0 0046	0
		2	P > 6	0 00385	0 045
15	Свободно выгорающий зазор	1	0≤ P ≤100	0	1
		2	-	-	-
16	Тонкий слой между слоями футеровки	1	0≤ P ≤100	0	0
		2	-	-	-
17	Углеродистая набойка со смолой 80 20 с трамбованием	1	0 ≤ P ≤ 6	0 010	0
	раскаленным прутком	2	P > 6	0 005	0 03
	Углеродистая набойка со смолой 80 20 с предварительным обжатием				

1	2	3	4	5	6
18	-7 кг/см^2	1	0 ≤ P ≤ 6	0 011	0
		2	P > 6	0 008	0 02
19	-5 кгсм2	1	0 ≤ P ≤ 6	0 014	0
		2	P > 6	0 009	0 005
20	-3 кгсм2	1	0 ≤ P ≤ 6	0 018	0
		2	P > 6	0 010	0 005
21	-0 2 кгсм2	1	0 ≤ P ≤ 6	0 025	0
		2	P > 6	0 010	0 010
	Углеродистая набойка с асбеститом и смолой с предварительным обжатием 0 2 кгсм2				
22	-70 10 20	1	0 ≤ P ≤ 6	0 03	0
		2	P > 6	0 01	0 015
23	-60 20 20	1	0 ≤ P ≤ 6	0 040	0
		2	P > 6	0 010	0 020
24	-40 40 20	1	0 ≤ P ≤ 6	0 045	0
			P > 6		
25	Масса для чеканки холодильников	1	0≤ P ≤100	0 0005	0

Расчетные величины коэффициентов трения (при сдвиге) Таблица 5

№№ п п	Наименование материалов	f	
		min	max
1	Металл по трепельному кирпичу	0 345	0 450
2	Металл по асбестовому картону	0 360	0 460
3	Металл по асбестовермикулиту	0 295	0 390
4	Металл по каолиновой вате	0 255	0 350
5	ШЛБ-1 по асбестовому картону	0 710	0 870
6	ШЛБ-1 по каолиновой вате	0 580	0 730
7	ШЛБ-1 по асбестовермикулиту	0 635	0 900
8	Торкрет-масса по асбестовому картону	0 640	0 920
9	Торкрет-масса по каолиновой вате	0 575	0 720
10	ШЛБ-1 по ШЛБ-1	0 730	0 910

Значения $\alpha T(T)$ и $E(T)$ для несущих слоев футеровки вып из огнеупоров различных марок

Шамот класса А Таблица 6 1 Шамот класса Б Таблица 6 2 Таблица 6

T^0 C	$\alpha T(T)\ 10^2$,	$E(T)\ 10^{-4}$, кг/см^2	T^0 C	$\alpha T(T)\cdot 10^2$,	$E(T)\ 10^{-4}$, кг/см^2
100	0 060	5 0	100	0 02	5 0
200	0 140	5 0	200	0 04	5 0
300	0 200	5 0	300	0 05	5 0
400	0 260	5 0	400	0 10	5 0
500	0 320	5 0	500	0 13	5 0
600	0 400	5 0	600	0 18	5 0
700	0 480	5 0	700	0 200	5 0
800	0 570	5 0	800	0 240	5 0
900	0 700	3 750	900	0 280	3 750
1000	0 800	2 50	1000	0 280	2 50
1100	0 930	1 250	1100	0 280	1 250
1200	0 930	0 0	1200	0 280	0 0

* Для промежуточных значений величины $\alpha T(T)$ и $E(T)$ находятся по линейной интерполяции

Шамот-легковес Таблица 6 3

T^0 C	$\alpha T(T)\cdot 10^2$,	$E(T)\cdot 10^{-4}$, кг/см^2
100	0 06	1 50
200	0 120	1 50
300	0 180	1 50
400	0 240	1 50
500	0 30	1 50
600	0 860	1 50
700	0 420	1 50
900	0 540	1 125
1000	0 600	0 750
1100	0 660	0 375
1200	0 720	0 0

Каолиновый-42% Таблица 6 4

T^0 C	$\alpha T(T)\cdot 10^2$,	$E(T)\ 10^{-4}$, кг/см^2
100	0 05	5 0
200	0 14	5 0
300	0 22	5 0
400	0 30	5 0
500	0 350	5 0
600	0 40	5 0
800	0 50	5 0
900	0 50	5 0
1000	0 60	5 0
1100	0 70	5 0
1200	0 76	3.333
1300	0 83	1 667
1400	0 90	0 0

Высокоглинозем ВГО-50 Таблица 6 5

T^0 C	$\alpha T(T)\ 10^2$,	$E(T)\ 10^{-4}$, кг/см^2
100	0 030	5 0
00	0 10	5 0
300	0 170	5 0
400	0 240	5 0
500	0.280	5 0
600	0.320	5 0
700	0 380	5 0
800	0 420	5 0
900	0.500	5 0
1000	0 350	5 0
1100	0 640	5 0
1200	0 700	3 333
1300	0 800	1 667
1400	0 900	0 0

Высокоглинозем ВГО-62 Таблица 6 6

T^0 C	$\alpha T(T)\cdot 10^2$,	$E(T)\cdot 10^{-4}$, кг/см^2
100	0 02	5 0
200	0 040	5 0
300	0 110	5 0
400	0 140	5 0
500	0 160	5 0
600	0.230	5 0
700	0.270	5 0
800	0 320	5 0
900	0 450	5 0
1000	0 440	5 0
1100	0 590	5 0
1200	1 030	3 333
1300	1 700	1 667
1400	1 610	0 0

Динас высокообоженный малоразрыхляющийся Таблица 6 7

T^0 C	$\alpha T(T)$ 10^2,	$E(T)$ 10^{-4}, кг/см^2
100	0 15	3 0
200	0 545	3 0
300	0 940	3 0
400	1 030	3 0
500	1 120	3 0
600	1 140	3 0
700	1 160	3 0
800	1 1933	3 0
900	1 2266	3 0
1000	1.260	3 0
1100	1 305	3 0
1200	1.350	3 0
1300	1 340	3 0
1400	1 330	2 0
1500	1.330	1 0
1600	1 330	0 0

Муллито-корундовый ВГО-72(МКО-72) Таблица 6 8

T^0 C	$\alpha T(T)\cdot 10^2$,	$E(T)$ 10^{-4}, кг/см^2
100	0 054	6 0
200	0 108	6 0
300	0 162	6 0
400	0 216	6 0
500	0 27	6 0
600	0 324	6 0
700	0.378	6 0
800	0 432	6 0
900	0 486	6 0
1000	0 590	6 0
1100	0 682	6 0
1200	0 780	6 0
1300	0 871	4 5
1400	0 966	3 0
1500	1 065	1 5
1600	1 168	0 0

Динасовый легковес ДЛ-1,2 Таблица 6 9

T^0 C	$\alpha T(T)\cdot 10^2$,	$E(T)\cdot 10^{-4}$, кг/см^2
100	0 375	1 0
200	0 780	1 0
300	0 990	1 0
400	1 080	1 0
500	1 125	1 0
600	1 192	1 0
700	1 204	1 0
800	1 224	0 875
900	1 197	0 750
1000	1 230	0 625
1100	1 245	0 500
1200	1 245	0 875
1300	1 245	0 250
1400	1 245	0 125
1500	1 245	0
1600	-	-

Каолиновый легковес Кл-1,3 Таблица 6 10

T^0 C	$\alpha T(T)$ 10^2,	$E(T)$ 10^{-4}, кг/см^2
100	0 046	1 5
200	0 092	1 5
300	0 138	1 5
400	0 184	1 5
500	0.230	1 5
600	0 276	1 5
700	0 322	1 5
800	0 368	1 5
900	0 414	1 5
1000	0 46	1 5
1100	0 506	1 5
1200	0 552	1 0
1300	0 598	0 5
1400	0 544	0 0
1500	0 690	0 0
1600	-	-

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Расчетные формулы и графики для определения краевых напряжений от внутреннего давления в местах пересечения соосных стальных оболочек (конической и цилиндрической и двух конических)

Соосные сопряжения конусов

Меридиональные расчетные напряжения для стали в верхнем (усеченном) конусе на уровне на уровне **а - а** (максимальные, возникающие в узле)

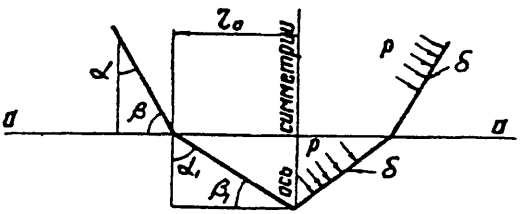


Рис. а Схема пересечения конусов

$$\frac{p r_o}{2\delta\ \cos\alpha} - \frac{p r_o \cdot \cos\beta}{2\delta}\left[\frac{r_o \cdot \left(\sqrt{\frac{r_o\ \sin\beta}{\delta}} \cdot \frac{\sin(\alpha_1-\alpha)}{\cos\alpha \cdot \sin\beta} + \frac{0654}{\sin\beta_1} - \frac{0654}{\sin\beta}\right)}{\delta\ \left(\sqrt{\sin\beta} + \sqrt{\sin\beta_1}\right)\sqrt{\frac{r_o^3}{\delta^3}}} - \frac{\sin(\alpha_1-\alpha)}{\cos\alpha\ \sin\beta_1}\right] \pm$$

$$\pm 1056\ P \cdot \sqrt{\frac{r_o}{\delta}}\ \frac{\frac{1.11 r_o\ \sin(\alpha_1-\alpha)}{\delta\ \sin\beta_1} - \frac{ctg\beta}{\sin\beta} - \frac{ctg\beta_1}{\sin\beta_1}}{\frac{1}{\sqrt{\sin\beta}} + \frac{1}{\sqrt{\sin\beta_1}}} \le mR$$

Для упрощения работы по определению местных напряжений от внутреннего давления по линиям пересечения, были построены графики упомянутых напряжений от единичного давления P=1 кг/см^2 При этом, используя наличие линейной зависимости в упругой стадии между нагрузками и местными напряжениями, по графикам можно определять местные упругие напряжения от заданного давления путем умножения значений напряжений , полученных по графикам на коэффициент, обозначающий во сколько раз заданное давление отличается от единицы

Графики построены для различных отношений радиусов к толщинам оболочек в пределах от 50 до 250 применительно к потребностям, возникающим при проектировании листовых конструкций доменных цехов

Относительные углы наклона образующих пересекающихся оболочек принимались в диапозоне от 0^0 до 90^0 через каждые 10^0

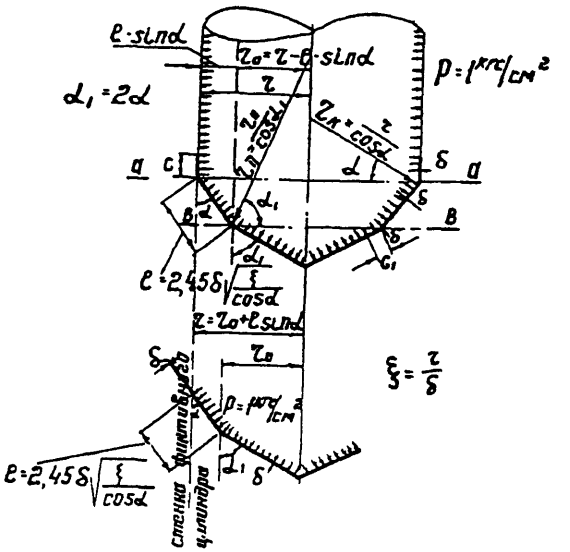


Рис. 6 Схема перехода от конуса к цилиндру через кольцевую вставку

Напряжения от внутреннего давления P=1 кг/см^2 В графиках даны функции от углов α и α_1, для различных заданных значений отношений $\xi = \frac{r}{\delta}$

Схемы и пояснения к графикам от №1 до №8 включительно

Обозначения

"Ц"- цилиндр,
"К"- усеченный конус.
"Д"- нижний полный конус,
"r"- радиус цилиндрической оболочки,
"δ"- толщина оболочки в зонах влияния краевого эффекта

Толщины всех сопрягающихся оболочек в зоне краевого эффекта приняты одинаковыми
Зоны возмущения краевого эффекта приняты настолько удаленными друг от друга, что их взаимное влияние не учитывалось

В частности, величина l принималась равной $l = 2\,45 \cdot \delta \sqrt{\frac{\xi}{\cos\alpha}}$, что равноценно значению $l = 3\ S_o$, где $S_o = 0\,78 \cdot \sqrt{r_k \cdot \delta}$,(для стали при ν=0,3), $C_1 \geq 0\,78 \cdot \sqrt{r_d \cdot \delta}$

При наличии только двух пересекающихся конусов и отсутствии цилиндрической оболочки в отношение $\xi = \frac{r}{\delta}$ может быть подставлен, в запас прочности и с достаточной

степенью точности , радиус фиктивной цилиндрической оболочки, положение стенки которой определяется по приведенной схеме на границе полного практического затухания краевого эффекта

Каждое из напряжений имеет два значения соответствующие крайним волокнам (даны фибровые напряжения)

В графиках по осям ординат отложены полные значения напряжений с учетом всех состовляющих по моентной и безмоментной теории

Знаки напряжений

\+ - растяжение,

\- - сжатие

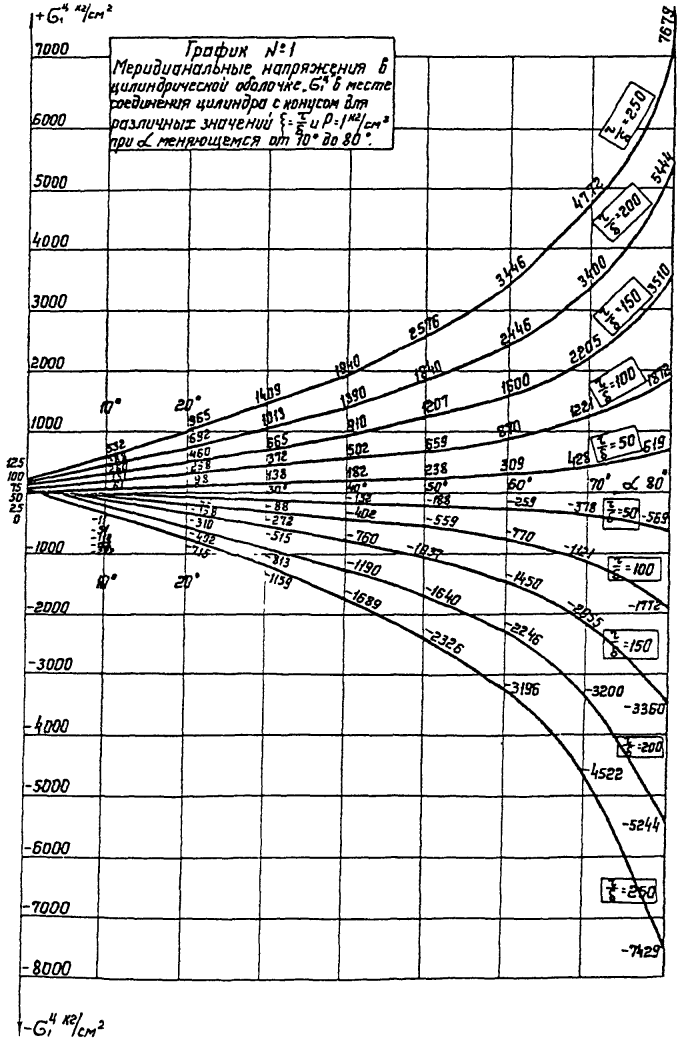
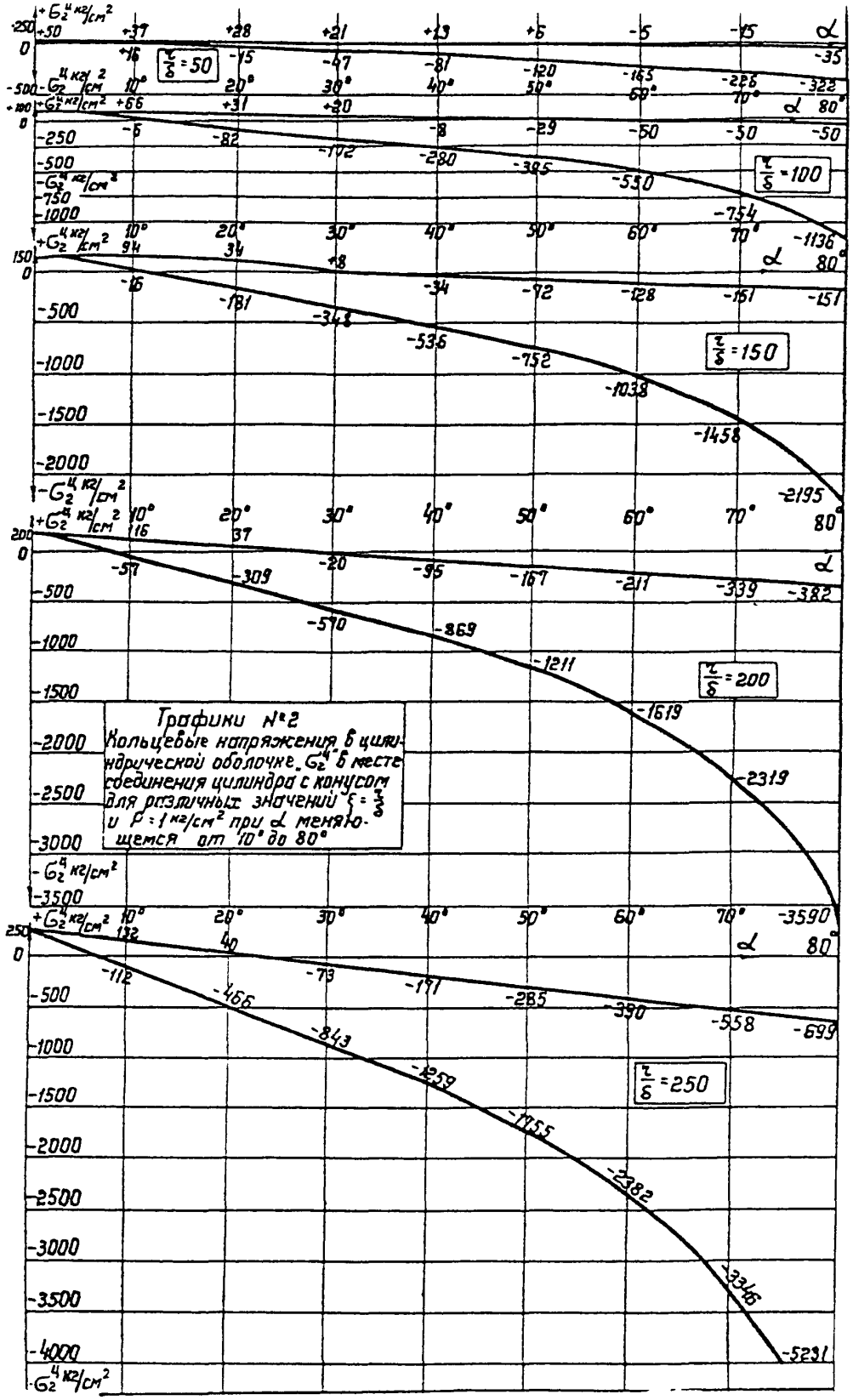
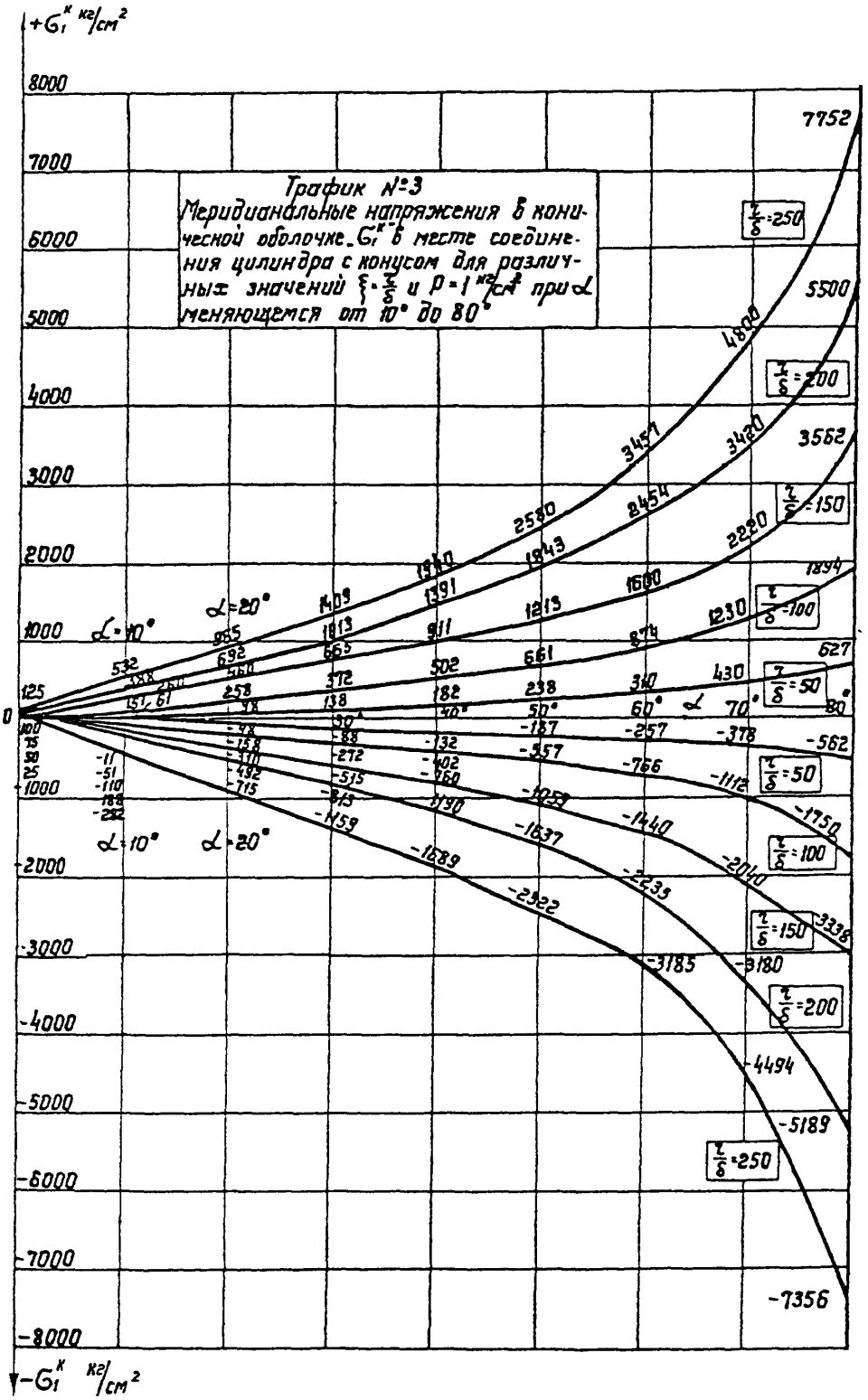


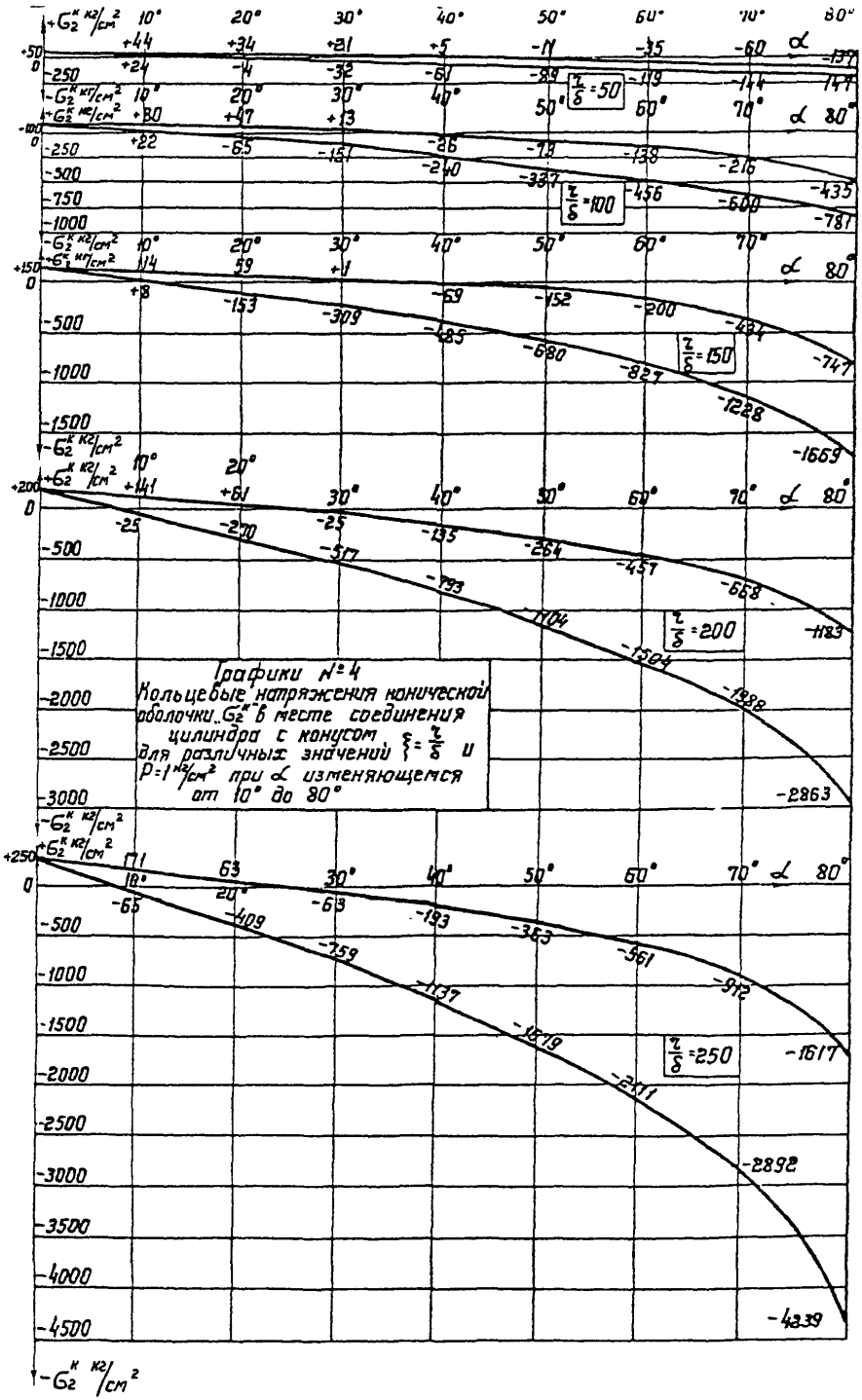
График №1
Меридианальные напряжения в цилиндрической оболочке. σ_1^4 в месте соединения цилиндра с конусом для различных значений $\xi = \frac{r}{\delta}$ и $P = 1$ кг/см² при α меняющемся от 10° до 80°.
$+\sigma_1^4$ кг/см²
$-\sigma_1^4$ кг/см²
$\frac{r}{\delta} = 250$
$\frac{r}{\delta} = 200$
$\frac{r}{\delta} = 150$
$\frac{r}{\delta} = 100$
$\frac{r}{\delta} = 50$
α 80°



Графики №2
Кольцевые напряжения в цилиндрической оболочке $\sigma_2^ц$ в месте соединения цилиндра с конусом для различных значений $\xi=\frac{r}{\delta}$ и $P=1$ кг/см² при α меняющемся от 10° до 80°



$+\sigma_1^к$ кг/см²
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-4000
-5000
-6000
-7000
-8000
$-\sigma_1^к$ кг/см²
Трафик №3
Меридианальные напряжения в конической оболочке $\sigma_1^к$ в месте соединения цилиндра с конусом для различных значений $\xi = \frac{r}{\delta}$ и $P = 1$ кг/см² при α меняющемся от 10° до 80°
$\alpha = 10°$
$\alpha = 20°$
α
$\frac{r}{\delta} = 250$
$\frac{r}{\delta} = 200$
$\frac{r}{\delta} = 150$
$\frac{r}{\delta} = 100$
$\frac{r}{\delta} = 50$
7752
5500
3562
1894
627
-562
-1750
-3338
-3180
-4494
-5189
-7356


+G2к кг/см2
10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80°
+44 +34 +21 +5 -11 -35 -60 α
+24 -4 -32 -61 -89 -119 -144 -171
τ/δ=50
-G2к кг/см2
+G2к кг/см2
+80 +47 +13 α 80°
+22 -65 -157 -260 -378 -456 -600 -781
-250 -500 -750 -1000
τ/δ=100
-G2к кг/см2
+G2к кг/см2
10° 20° 30° 40° 50° 60° 70°
114 59 +4 α 80°
+8 -153 -309 -485 -680 -827 -1228 -1669
-500 -1000 -1500
τ/δ=150
-G2к кг/см2
+G2к кг/см2
10° 20°
+141 +61 30° 40° 50° 60° 70° α 80°
-25 -210 -25 -135 -264 -457 -658 -1183
-500 -1000 -1500 -2000 -2500 -3000
τ/δ=200
-1304 -1888 -2863
Графики №4
Кольцевые напряжения конической оболочки G2к в месте соединения цилиндра с конусом для различных значений ξ=τ/δ и p=1 кг/см2 при α изменяющемся от 10° до 80°
-G2к кг/см2
+G2к кг/см2
111 63 30° 40° 50° 60° 70° α 80°
18° 20°
-65 -409 -63 -193 -363 -561 -912
-500 -1000 -1500 -2000 -2500 -3000 -3500 -4000 -4500
-759 -1137 -1879 -2411 -2892 -4339
τ/δ=250 -1617
-G2к кг/см2

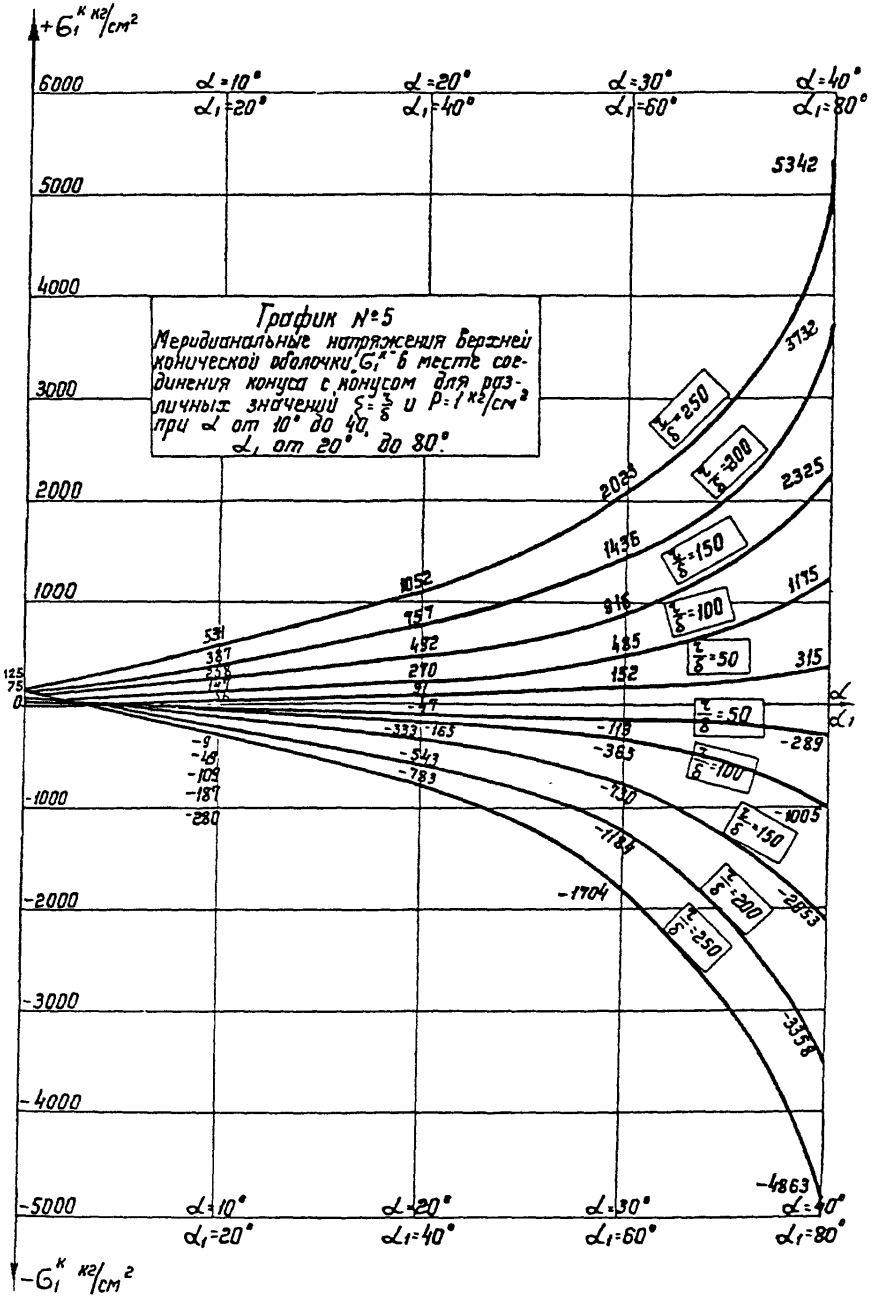
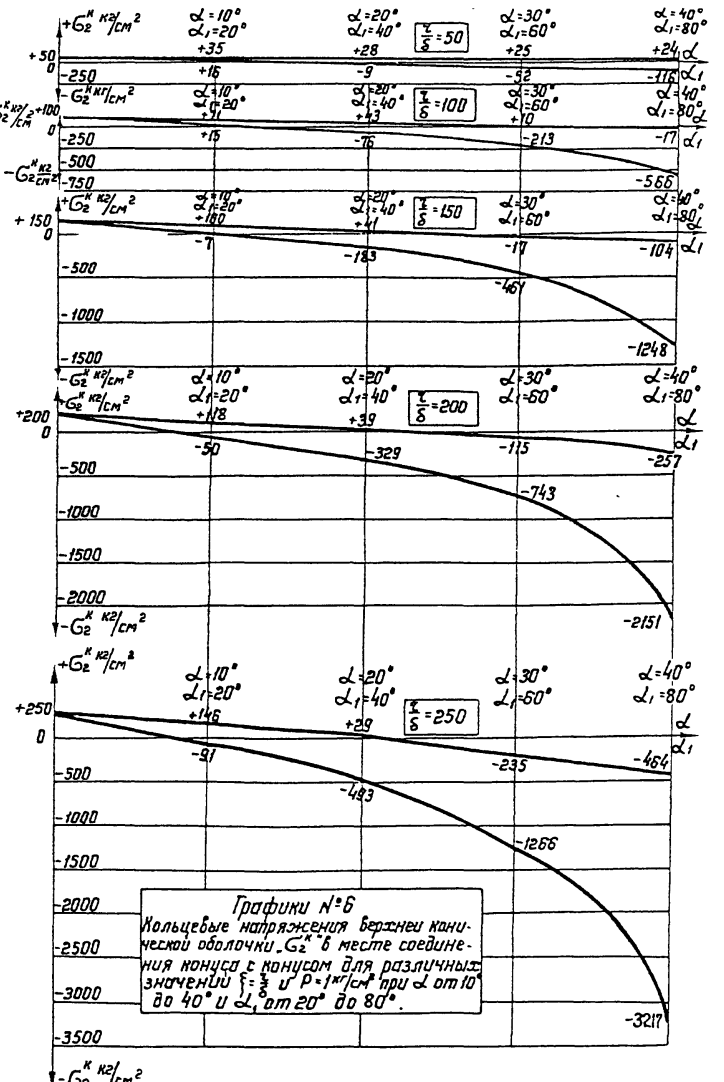
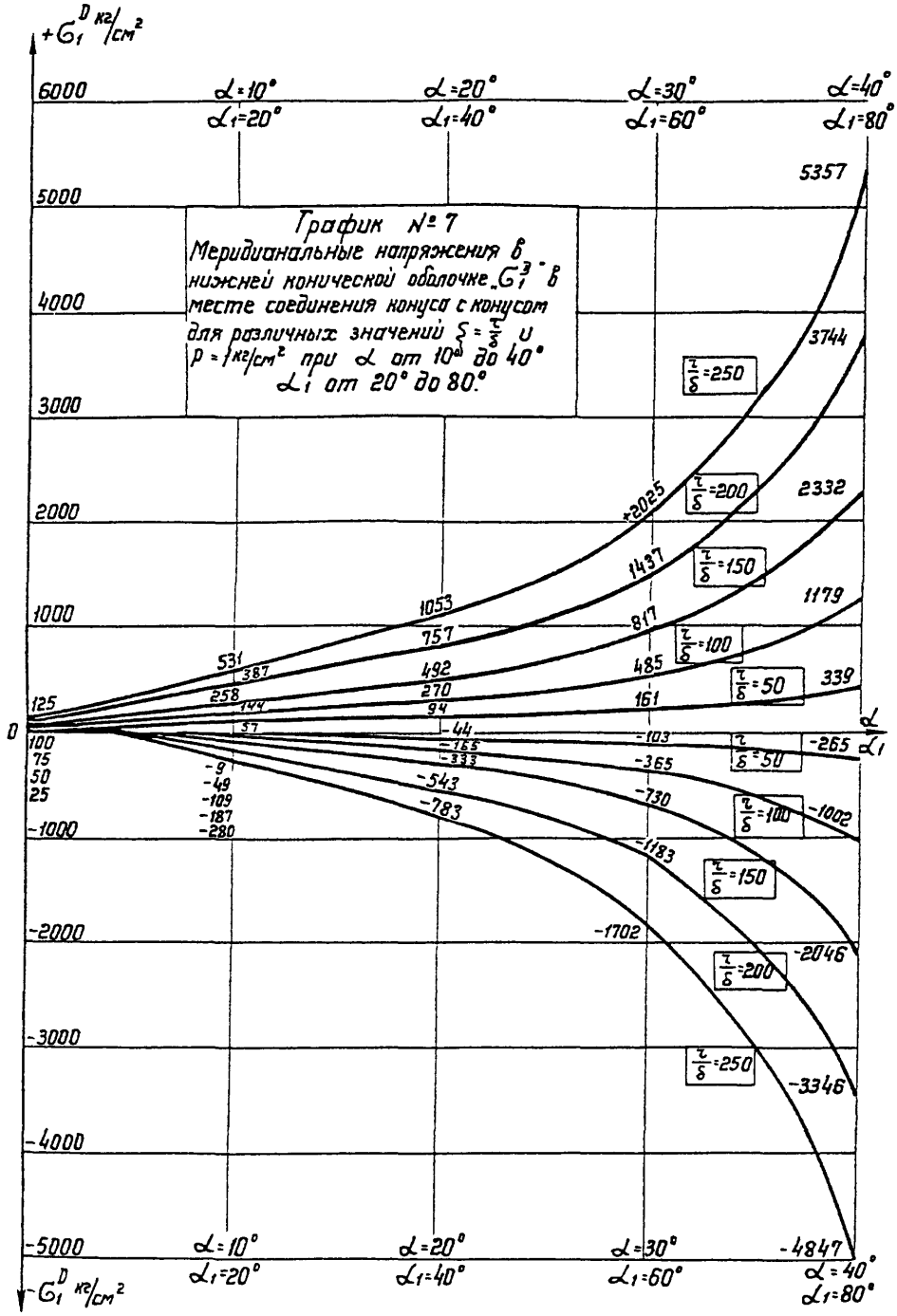
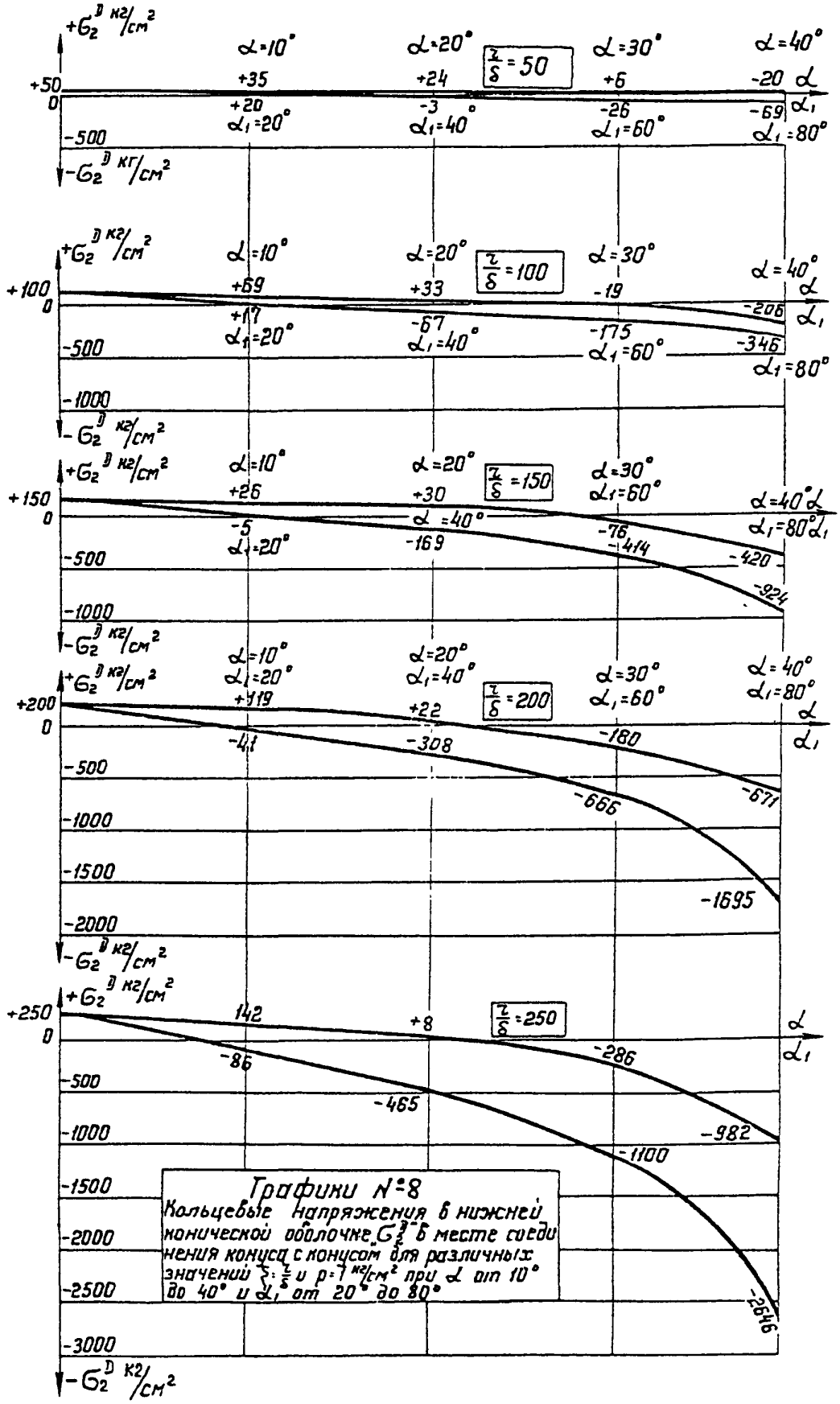


График №5
Меридианальные напряжения верхней конической оболочки $\sigma_1^к$ в месте соединения конуса с конусом для различных значений $\xi = \frac{r}{\delta}$ и $P = 1$ кг/см² при α от 10° до 40, α_1 от 20° до 80°.



Графики №6
Кольцевые напряжения верхней конической оболочки $G_2^к$ в месте соединения конуса с конусом для различных значений $\frac{r}{\delta}$ и $p=1 кг/см^2$ при α от 10° до 40° и α_1 от 20° до 80°.


+σ1D кг/см²
6000
5000
4000
3000
2000
1000
125
0
100
75
50
25
-1000
-2000
-3000
-4000
-5000
-σ1D кг/см²
α=10° α1=20°
α=20° α1=40°
α=30° α1=60°
α=40° α1=80°
5357
3744
2332
1179
339
-265
-1002
-2046
-3346
-4847
+2025
1437
1053
757
531
387
258
144
57
817
492
270
94
485
161
-44
-103
-165
-333
-365
-543
-730
-783
-1183
-1702
-9
-49
-109
-187
-280
τ/δ=250
τ/δ=200
τ/δ=150
τ/δ=100
τ/δ=50
τ/δ=50
τ/δ=100
τ/δ=150
τ/δ=200
τ/δ=250
α
α1
График №7
Меридиональные напряжения в нижней конической оболочке σ1з в месте соединения конуса с конусом для различных значений ξ = τ/δ и p = 1 кг/см² при α от 10° до 40° α1 от 20° до 80°



Графики N°8

Кольцевые напряжения в нижней конической оболочке G_2^D в месте соединения конуса с конусом для различных значений $\frac{r}{\delta}$ и $p=1\ кг/см^2$ при α от 10° до 40° и α_1 от 20° до 80°

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

*Расчет осесимметричных оболочек вращения при соосных пересечениях на воздействие внутреннего давления**

1. Общие зависимости для усилий , моментов и перемещений при ν=0,3

$$N_1 = -0.389\sqrt{\frac{\delta}{r_2}}\cdot ctg\alpha\left\{\left[(c_1-c_2)\cdot\cos\beta-(c_1+c_2)\cdot\sin\beta\right]\cdot e^{-\beta}+\left[(c_4-c_3)\cdot\cos\beta-(c_3+c_4)\ \sin\beta\right]\cdot e^{\beta}\right\}+$$

$$+\frac{p r_2}{2}$$

$$N_2 = (c_1\cdot\cos\beta - c_2\cdot\sin\beta)\ e^{-\beta}+(c_3\ \cos\beta + c_4\cdot\sin\beta)\ e^{\beta}+\frac{p r_2}{2}\cdot(2-\frac{r_2}{r_1})$$

$$M_1 = -0.303\ \delta\left[(c_2\cdot\cos\beta + c_1\ \sin\beta)\cdot e^{-\beta}+(c_4\cdot\cos\beta - c_3\cdot\sin\beta)\cdot e^{\beta}\right]$$

$$M_2 = \gamma\cdot M_1$$

$$Q_x = -0.389\sqrt{\frac{\delta}{r_2}}\ \frac{1}{\sin\alpha}\left\{\left[(c_1-c_2)\ \cos\beta-(c_1+c_2)\cdot\sin\beta\right]\cdot e^{-\beta}+\left[(c_4-c_3)\cdot\cos\beta-(c_3+c_4)\cdot\sin\beta\right]\ e^{\beta}\right\}$$

$$+\frac{p r_2}{2}\ \cos\alpha$$

$$\Delta_x = \frac{r_2\ \sin\alpha}{E\delta}\left[(c_1\cdot\cos\beta - c_2\ \sin\beta)\cdot e^{-\beta}+(c_3\cdot\cos\beta + c_4\cdot\sin\beta)\ e^{\beta}\right]+\frac{p {r_2}^2\cdot\sin\alpha}{2E\delta}\cdot(17-\frac{r_2}{r_1})$$

$$\theta = \frac{1.28}{E\delta}\sqrt{\frac{r_2}{\delta}}\left\{\left[(c_1+c_2)\cdot\cos\beta+(c_1-c_2)\ \sin\beta\right]\cdot e^{-\beta}-\left[(c_3+c_4)\cdot\cos\beta+(c_4-c_3)\right]\cdot e^{\beta}\right\} \qquad (1)$$

Здесь Q_x - радиальное усилие,

Δ_x - радиальное перемещение,

θ - угол поворота касательной к меридиану

* - *Материал излагается на основе работы: Григорьев Л Я "Судовые сосуды, работающие под давлением", Судостроение, Ленинград, 1965 г.*

2. Цилиндрическая оболочка

$$r_1 = \infty\quad r_2 = r_1 = const\quad \alpha = \frac{\pi}{2}\quad \beta = \frac{1.28\ S}{\sqrt{r\delta}}$$

На краю $S = 0 \Rightarrow\ \beta = 0$ для длинных цилиндрических оболочек необходимо принимать $c_3 = c_4 = 0$

S - длина по образующей от края до рассматриваемого параллельного круга

3. Коническая оболочка

$$\alpha = const \quad r_1 = \infty \quad r_2 = \frac{r_o}{\sin\alpha} - S \cdot ctg\alpha$$

$$\beta = \frac{2.56}{\sqrt{\delta \; ctg\alpha}} \cdot \left(\sqrt{\frac{r_o}{\sin\alpha} - S \; ctg\alpha} - \sqrt{\frac{r_o}{\sin\alpha}} \right), \text{ где} \qquad (3)$$

S - длина по образующей откpая до рассматриваемого параллельного круга

Для края оболочки $S = 0$ и соответственно $\beta = 0$ В соотношениях п 1 для конической оболочки нужно принимать $c_1 = c_2 = 0$

4. Сферическая оболочка

$$r_1 = r_2 = r \quad \alpha = \varphi \quad \beta = -1.28 \cdot \sqrt{\frac{r}{\delta}} \; (\varphi_o - \varphi) \qquad (4)$$

φ_o , φ – углы сферы, см рис 6 8 а,б

На кpомке сферы $\varphi = \varphi_o$ и $\beta = 0$ Задавая различные значения φ, можно получить на основании (1) эпюру изгибающих моментов, усилий и перемещений

В соотношениях (1) для сферической оболочки нужно принимать $c_1 = c_2 = 0$

5. Торовая оболочка (рис. а)

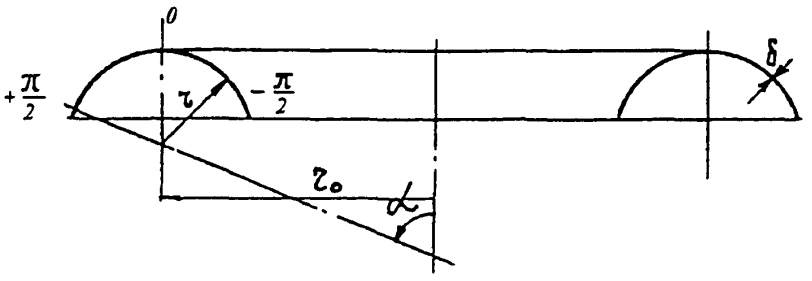
$$r_1 = r = const, \qquad r_2 = r + \frac{r_o}{\sin\alpha}$$

$$\beta = 1.28 \cdot \sqrt{\frac{\alpha_k \, r}{\delta}} \int_{\alpha_o}^{\alpha} \sqrt{\frac{\sin\alpha}{1 + \alpha_k \; \sin\alpha}} \cdot d\alpha, \text{ где } \alpha_k = \frac{r}{r_o} \qquad (5)$$

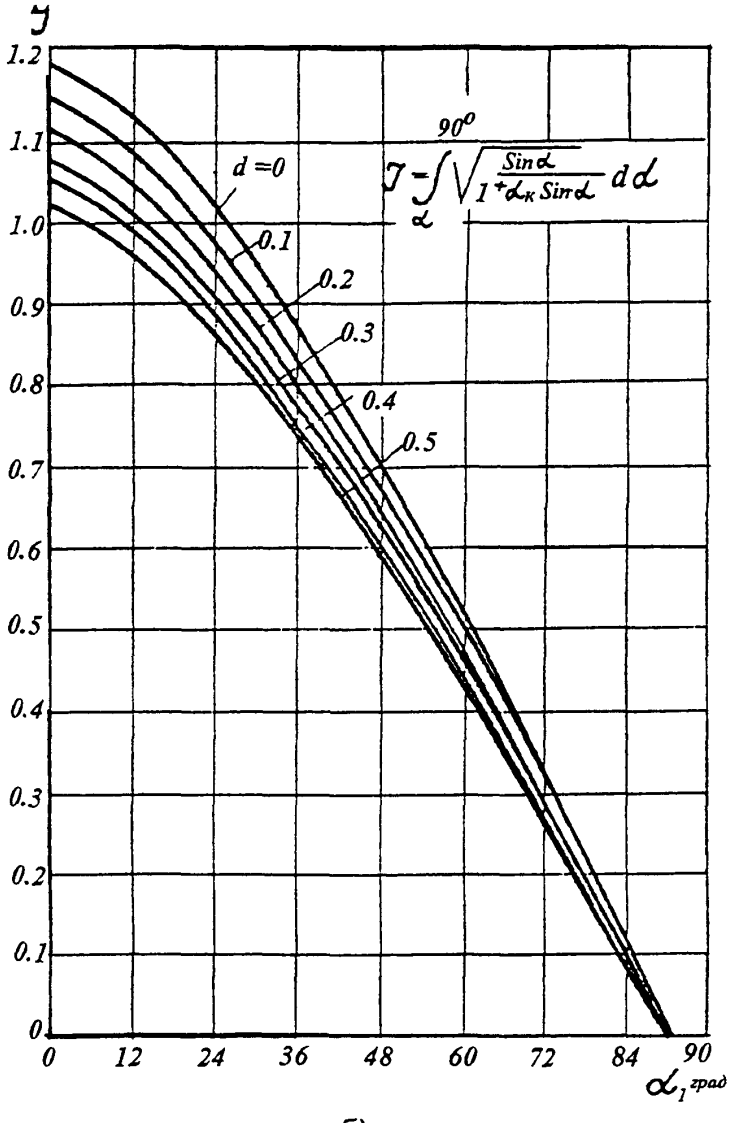
Для вычисления интеграла в (5) на рис б данного приложения приведены графики Интеграл вида $\int_{\alpha_2}^{\alpha_1}$ вычисляется по этим графикам следующим образом

$$\int_{\alpha_2}^{\alpha_1} = \int_{\alpha_2}^{90^o} + \int_{90^o}^{\alpha_1} = \int_{\alpha_2}^{90^o} - \int_{\alpha_1}^{90^o} = I_2 - I_1$$

Для вычисления интегралов в области $\alpha \succ 90^o$ необходимо воспользоваться симметрией подинтегральной функции относительно $\alpha = 90^o$, откуда следует $\int_{\alpha}^{90^o} = \int_{90^o}^{180^o - \alpha}$ Решения для торовой оболочки по формулам (1) не действительны в окрестностях $+30^o$ от особых точек $\alpha = 0$ и $\alpha = \pm\pi$


0
+π/2
-π/2
r
r₀
α
δ

а)


J
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
d=0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
$J=\int_{\alpha}^{90^0}\sqrt{\frac{\sin\alpha}{1+\alpha_к\sin\alpha}}\,d\alpha$
0
12
24
36
48
60
72
84
90
α_1 град

б)

6 Решение задачи пересечения оболочек вращения сводится к решению системы алгебраических уравнений относительно постоянных c_1, c_2, c_3, c_4 Уравнения могут быть получены из условий неразрывности деформаций и силовых граничных условий Если сопрягаются две оболочки , то граничными условиями будут равенства на общих кромках этих оболочек радиальных перемещений Δ_x, углов поворота θ, радиальных усилий Q_x и меридианальных моментов M_1 При составлении граничных условий деформационные компоненты на кромках оболочек имеют одинаковые направления, они приравниваются один другому с одинаковыми знаками при противоположных направлениях они приравниваются с различными знаками Сумма силовых компонент для узла сопряжения оболочек должна быть равна нулю, причем одинаково направленные компоненты должны иметь одинаковые знаки

Для сопряжения двух оболочек это правило выглядит так силовые компоненты приравниваются один другому с одинаковыми знаками, если они имеют противоположные направления, и с разными знаками, если они направлены одинаково

7. Пример составления уравнений.

а) Цилиндр со сферой (рис в)

$\Delta_x^u = \Delta_x^c$, $\theta^u = \theta^c$, $Q_x^u = Q_x^c$, $M_1^u = M_1^c$, если сфера примыкает к цилиндру выпуклой стороной вверх (рис г), то $\Delta_x^u = \Delta_x^c$, $\theta^u = -\theta^c$, $Q_x^u = Q_x^c$, $M_1^u = -M_1^c$

б) Цилиндр с конусом

$\Delta_x^u = \Delta_x^K$, $\theta^u = \theta^K$, $Q_x^u = Q_x^K$, $M_1^u = M_1^K$, при сопряжении конуса вершиной во внутрь цилиндра (рис е) $\Delta_x^u = \Delta_x^K$, $\theta^u = -\theta^K$, $Q_x^u = Q_x^K$, $M_1^u = -M_1^K$

в) Цилиндр с тором и со сферой

$$\Delta_x^u = \Delta_x^{T1},\ \theta^u = \theta^{T1},\ Q_x^u = Q_x^{T1},\ M_1^u = M_1^{T1},\ \Delta_x^{T2} = \Delta_x^c,\ \theta^{T2} = \theta^c,\ Q_x^{T2} = Q_x^c,\ M_1^{T2} = M_1^c \quad (6)$$

В качестве примера рассмотрим пересечение оболочек по рис к с параметрами $r_u = 50см$, $r_T = 15см$, $r_c = 84\,3см$, соответствующие радиусы для цилиндра, тора и сферы, $\delta_u = \delta_T = \delta_c = 1.0см$ Компоненты уравнений (6) с помощью (1) запишутся для данного цилиндра $\Delta_x^u = 12{,}5\ 10^{-6} \cdot (2C_1^u + 85\rho)$, $\theta^u = 4{,}55 \cdot 10^{-6}\ (C_1^u + C_2^u)$,

$$Q_x^u = 0{,}0552\ (C_2^u - C_1^u), \qquad M_1^u = -0{,}303\ C_2^u$$

для тора $\alpha = \alpha_o = \frac{\pi}{2}$ и $\alpha = \alpha' = 32^o$,

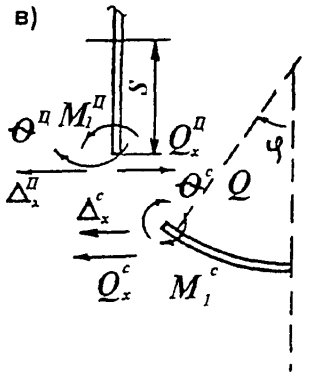
кромка с $\alpha = \alpha_o = \frac{\pi}{2}$, $r_1 = r = 15см$, $r_o = 35см$

$r_2 = r + \frac{r_o}{\sin\alpha} = 50см$, $\alpha_K = \frac{r}{r_o} = 0428$, $\beta = 0$,

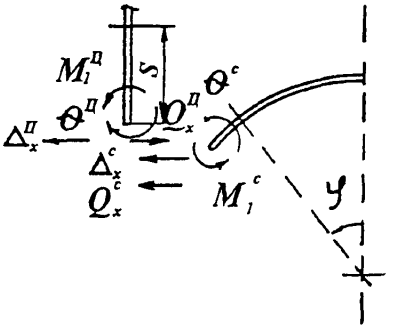
$\Delta_x^{T1} = 10^{-6}\left[25(C_1 + C_3) - 1020\,p\right]$, $\theta^{T1} = 4{,}54 \cdot 10^{-6}\ (C_1 - C_3 + C_2 - C_4)$,

$Q_x^{T1} = -0\,0552\ (C_1 - C_2 + C_4 - C_3)$, $M_1^{T1} = -0\,303\ (C_2 + C_4)$

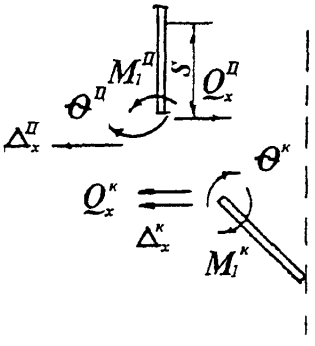
в)



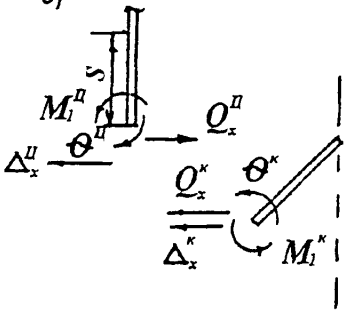
г)



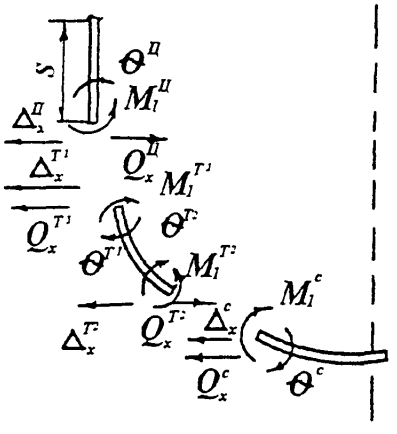
д)



е)



ж)



кромка с $\alpha = \alpha' = 32^o$

$\sin\alpha' = 0.528, \quad \cos\alpha' = 0.848, \quad ctg\alpha' = 1.6, \quad r_1 = r = 15\,см, \quad r_2 = 81.3\,см$

$\beta = 1.28\sqrt{0428\cdot 15}\cdot\int_{\pi/2}^{32}\sqrt{\frac{\sin\alpha}{1+\alpha_k\cdot\sin\alpha}}d\alpha = -2.53$, интеграл $\int_{\pi/2}^{32}\sqrt{\frac{\sin\alpha}{1+\alpha_k\cdot\sin\alpha}}d\alpha = -0\,8$

$\sin\beta = -0.573, \quad \cos\beta = -0.82, \quad e^{-\beta} = 12.55, \quad e^{\beta} = 0\,08$

$\Delta_x^{T2} = 214\ 10^{-6}\cdot(7.12C_2 - 10.3C_1 - 0066C_3 - 0046C_4) - 3240\cdot 10^{-6}\cdot p$

$\theta^{T2} = 574\cdot 10^{-6}\cdot(-17.5C_1 - 310C_2 + 002C_3 + 0112C_4)$

$Q_x^{T2} = -0\,0815\cdot(-310C_1 + 17.5C_2 + 0.112C_3 - 002C_4)$

$M_1^{T2} = -0\,303\cdot(-10.3C_2 - 719C_1 - 0066C_4 + 0.046C_3)$

Сфера $\varphi = \varphi' = 32^o, \quad r_c = r = 813\,см, \quad \beta = 0$

$\Delta_x^c = 214\ 10^{-6}\cdot C_3^c + 610\cdot 10^{-6}\cdot p$

$\theta^c = -574\cdot 10^{-6}\ \left(C_3^c + C_4^c\right)$

$Q_x^c = -0.0815\cdot\left(C_4^c - C_3^c\right) + 34.5\ p$

$M_1^c = -0.303\cdot C_1^c$

На основании представленных соотношений получаем систему (6) из 8-ми уравнений Решив получим

$C_1^u = -99{,}1\ p, \quad C_2^u = 410\cdot p, \quad C_1 = -586\cdot p, \quad C_2 = 410\ p, \quad C_3 = 9.96\cdot p,$

$C_1 = 0, \quad C_3^c = -89.3\cdot p, \quad C_4^c = -0.521\cdot p$

Если расстояние $S \succ 2.5\cdot\sqrt{r\cdot\delta}$, то система (6) распадается на две независимые системы из четырех уравнений каждая После определения постоянных C_i все усилия и моменты определяются из соотношений (1)

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Антикоррозионная защита конструкций зданий и сооружений центрального узла доменной печи.

Таблица 1

№№ групп по усл эксп	Наименование конструкции	Условия эксплуатации			Рекомендуемая защита		
		на открытом воздухе или в закрытом помещении	Температура в С	Агрессивность	Защитные покрытия	ГОСТ, ТУ	Характеристика покрытий
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Кожух доменной печи	откр закр	0–120- 50–120 возможен перегрев до 200	загрязнен воздуха. газ	Для конструкций группы №1 в открытой атмосфере лак ПФ-170	15907	Покрытие стойко до +300 в атмосфере сухой и нормальной климатических зон, а также внутри помещения с относительной влажностью воздуха до80% при концентрациях газов SO_2 -до 0 5 мг/м3, H_2S - до 0 01 мг/м3 окислы азота-до0 01мг/м3 HCl - до 0 05 мг/м3
	Кольцевая труба горячего дутья	закр	0 120 возможен перегрев до 200	загрязнен воздух. газ	3 слоя с 10-15% алюминиевой пудры, без грунта		
	Кожухи воздухонагревателей	откр Закр	+20–100 +50–120 перегрев до 200	газ. загрязн воздух	Внутри помещений допускается покрытие краской	ГОСТ 5631-	Покрытие стойко до +200°С
	Воздухопроводы горячего дутья	откр закр	+20–110 +30–140 перегрев до 200	-"-	БТ-177, 6Т-177 в 2 слоя. наносится без грунта		Ограничения по относительной влажности и загазованности воздуха то же
	Воздухопровод холодного дутья	полу-откр	-20–140	-"-			
	Наружная поверхность газопроводов вытяжной вентиляции литейного двора по всей длине	откр закр	+100–200 +150–200	загрязн воздух -"-			
	Труба для взятия печи "на тягу"	откр	-20–+200	загрязн воздух			
	Внутренняя поверхность газопроводов вытяжной вентиляции от дроссельного клапана до коллектора на внешнем участке	закр	−150–+200	колошн газ			

	Кожух пылеуловителя, газопроводы грязного и получистого газа	откр	-40–+120 перегрев до 200	загрязн воздух			
2	Колонны и площадки доменной печи	откр закр	-40÷+40 -5–+60	загрязн Воздух	Для конструкций группы №2 эмаль ПФ-115 - для открытой атмосферы 3 слоя Для закрытой- 2 слоя по грунтам ГФ-020 или ФЛ-ОЗК - в 2 слоя	ГОСТ 6465	Покрытия стойкие в сухой и нормальной климатических зонах и внутри помещений с относительной влажностью воздуха до 80%. а также стойки к периодическим воздействиям температуры до +80 Ограничения по концентрациям газов те же, что и для лака ПФ-177 (см.выше)
	Кольцевая крановая эстакада	закр	-5–+40	-"-			
	Колошниковое устройство доменной печи	откр	-40÷+40	-"-			
	Литейный двор, кроме вытяжной вентиляции и части балок рабочей площадки	откр закр	-40–+40	-"-			
	Блок пылеуловителей, кроме кожухов	откр	-40–+40	-"-			
	Лифт с опорами, площадками, мостами и электрокабельными галереями	откр	-40–+40	-"-			
	Газопровод чистого газа, воздухопровод воздуха горения, свечи и площадки блока воздухонагревателей	откр	-20–+60	-"-			
	Здание воздухонагревателей	откр	-20–+60	-"-			
	Наклонные мосты с машинным помещением	откр	-40–+40	-"-			
	Балки рабочей площадки литейного двора в местах слива чугуна и шлака	полу-откр	-20÷+150	газ, загр воздух	Для констр группы №3 Эмаль КО-198-3 слоя по грунтам ВЛ-02 или 2 слоя Эмаль КО-813-3 слоя (лак КО-815 с 6% алюм пудры	ТУ-02-841 ГОСТ 12707 ГОСТ 11066 ГОСТ 5494	Эмаль стойка к перепад температур от-60 до +300°С на открытом воздухе и внутри помещений без ограничения влажности воздуха и при концентрац газов мг/м3 SO_2.H_2S - до 200 HCl - до 10, окислы азота -до 25
	Внутренние поверхности газопровода парогазовой смеси	закр	-40–+400	колошн газ	Для конструкций группы №4 Металлизация алюминием, толщ Слоя 200-250 мкм		Стойкие к воздействию температуры до +400 на открытом воздухе и внутри помещений без ограничений влажности воздуха и концентрации газов, а также в жидких агрессивных средах
	Системы газоочистки загрузочного устройства доменной печи, скруббера каплеуловителя касательного подвода	закр	-40–+70	парогазовая смесь и техническая вода			
	Внутрен поверхность газопроводов вытяжной вентиляции литейного двора от укрытий в местах слива чугуна и шлака до первого дроссельного клапана	закр	+200–+300	-"-			

Примечание 1) Защитные покрытия следует наносить на предварительно подготовленную поверхность Подготовка заключается в полной очистке ее от продуктов коррозии, включая высокотемпературную прокатную окалину и придание очищенной поверхности необходимой шероховатости, а также в обезжиривании поверхности Оптимальные методы дробеметная, дробеструйная обработка и обработка металлическим песком

2) Газопроводы и другие конструкции на открытом воздухе при толщине проката до 12 мм включительно могут быть при экономическом обосновании выполнены из низколегированной стали марки 10ХНДП по ГОСТ 19281, 19282, ТУ- 14-1-1217 без защиты от коррозии.

gost.e-ecolog.ru