

Э.А. Козловский, А.Э. Козловский, И.А. Повтарев

БАРАБАННЫЕ ВРАЩАЮЩИЕСЯ АППАРАТЫ

Учебное пособие

**Иваново
2019**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Ивановский государственный химико-технологический университет

Э.А. Козловский, А.Э. Козловский, И.А. Повтарев

БАРАБАНЫЕ ВРАЩАЮЩИЕСЯ АППАРАТЫ

Учебное пособие

Иваново 2019

УДК 66-7 (07)
ББК 34.724.1я7
К592

Козловский, Э. А. Барабанные вращающиеся аппараты : учеб. пособие / Э. А. Козловский, А. Э. Козловский, И. А. Повтарев ; Иван. гос. хим-технол.ун-т. – Иваново : ИГХТУ, 2019. – 106 с.

В пособии рассматриваются аппараты с вращающимся барабаном, применяемые для проведения тепловых и комбинированных процессов в химической и других отраслях промышленности. Приведены основные сведения по конструированию и расчету основных элементов и узлов, выбору наиболее современных конструкций и материалов для их изготовления.

Рассмотрены тепловые деформации корпусов барабанов и их влияние на работу отдельных конструктивных элементов аппаратов. Приведены сведения об основных свойствах футеровочных материалов, даны рекомендации по их выбору с учетом температурного режима.

Описаны устройства для сжигания газообразного и жидкого топлива, для очистки отходящих газов от пыли, устройства для питания и выгрузки продукта и его охлаждения.

Приведены рекомендации по эксплуатации и техническому обслуживанию аппаратов, направленные на повышение надежности и долговечности.

Учебное пособие предназначено для студентов-бакалавров и магистрантов, обучающихся по направлению «Технологические машины и оборудование» дневной и заочной форм обучения.

Табл.:2. Ил.: 76. Библиогр.: 19.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Ивановского государственного химико-технологического университета

Рецензенты:

кафедра «Технологические машины и оборудование» Ивановского государственного политехнического университета;

кандидат технических наук Е.В. Гусев (Ивановский государственный энергетический университет)

© Козловский Э.А., Козловский А.Э.,
Повтарев И.А., 2019

© ФГБОУ ВО «Ивановский государственный

химико-технологический университет», 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	5
2. СТАНДАРТИЗАЦИЯ И НОРМАЛИЗАЦИЯ АППАРАТОВ С ВРАЩАЮЩИМИСЯ БАРАБАНАМИ.....	9
3. СУШИЛКИ С ВРАЩАЮЩИМСЯ БАРАБАНОМ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	10
4. ПЕЧИ С ВРАЩАЮЩИМСЯ БАРАБАНОМ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	12
5. ПЕЧИ ДЛЯ ОБЖИГА ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА (ЦЕМЕНТНЫЕ ПЕЧИ).....	14
6. ПЕЧИ ПРОИЗВОДСТВА КАЛЬЦИНИРОВАННОЙ СОДЫ.....	18
7. ФУТЕРОВКА БАРАБАНОВ.....	21
8. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ.....	24
9. ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ И ДЕТАЛИ БАРАБАННЫХ АППАРАТОВ.....	27
9.1. Корпус барабана.....	27
9.1.1. Тепловые деформации корпуса барабанов.....	29
9.1.2. Внутренние устройства барабанов.....	30
9.2. Опорные станции барабанных аппаратов.....	32
9.2.1. Опорные ролики.....	33
9.2.2. Упорные ролики.....	39
9.2.3. Подшипники роликов.....	42
9.2.4. Бандажи.....	44
9.3. Привод барабанных аппаратов.....	49
9.3.1. Венцовая зубчатая передача.....	51
9.3.2. Электродвигатели и редукторы.....	55
9.4. Уплотнительные устройства.....	56
9.4.1. Лабиринтные уплотнения.....	57
9.4.2. Уплотнение с прорезиненной лентой.....	58
9.4.3. Уплотнение с секторным подвижным кольцом.....	59
9.4.4. Уплотнение с подвешенным кольцом.....	60
9.4.5. Уплотнение с промежуточной обечайкой.....	61
9.4.6. Торцевые уплотнения.....	63
9.4.7. Аэродинамические уплотнения.....	64
9.5. Питание и разгрузка барабанных аппаратов.....	67
9.6. Устройства для очистки отходящих газов.....	71
9.7. Устройства для сжигания топлива.....	79
9.8. Дымовые трубы.....	81

10. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ БАРАБАНЫХ АППАРАТОВ НА ПРОЧНОСТЬ.....	84
10.1. Расчет корпуса барабана на прочность.....	84
10.2. Расчет корпуса многоопорного барабанного аппарата.....	88
10.2.1. Определение опорных изгибающих моментов.....	88
10.2.2. Определение реакции опор.....	89
10.2.3. Определение межопорных изгибающих моментов.....	91
10.3. Расчет бандажей и опорных роликов.....	92
10.4. Расчет упорных роликов.....	95
11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ, ПОТРЕБЛЯЕМОЙ БАРАБАНЫМИ АППАРАТАМИ.....	97
12. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ БАРАБАНЫХ АППАРАТОВ.....	99
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	104

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Аппараты с вращающимся барабаном получили широкое распространение во многих отраслях промышленности: химической, горно-химической, лесохимической, промышленности строительных материалов и др. Они предназначены для тепловой, химической и комбинированной обработки самых различных материалов. К барабанным аппаратам относятся трубчатые и муфельные печи, содовые печи, барабанные сушилки, сушилки-грануляторы, холодильники с воздушным и водяным охлаждением, кристаллизаторы и другие аналогичные аппараты, основным элементом которых является полый цилиндрический барабан.

Печи используются для процессов обжига, спекания, прокаливания, кальцинации, восстановления и др.; сушилки – для сушки сыпучих и кусковых материалов; холодильники – для охлаждения материалов, прошедших термическую обработку; кристаллизаторы – для кристаллизации различных неорганических и органических веществ и их растворов; сушилки-грануляторы – для получения сложных минеральных удобрений.

Наиболее широко распространены в промышленности барабанные аппараты в качестве печей и сушилок.

Характерной особенностью аппаратов барабанного типа является то, что в них можно реализовывать совмещенные процессы, например, грануляцию и сушку.

Простота конструкции, надежность работы, достаточно высокая экономичность, незначительная степень пылеуноса, простота обслуживания, возможность полной механизации и автоматизации проводимого процесса, возможность реализации периодических и непрерывных процессов, возможность обрабатывать материалы с различными физико-химическими свойствами, а также возможность создания аппаратов большой производительности – основные достоинства, благодаря которым аппараты с вращающимися барабанами нашли широкое применение в промышленности.

Аппараты с вращающимся барабаном представляют собой технические устройства, включающие в себя, кроме основного элемента – барабана, следующие узлы: узел загрузки исходного материала в барабан; узел выгрузки готового продукта; устройство для сжигания топлива и подачи теплоносителя в барабан; пылеулавливающие устройства для очистки отходящих газов; устройства для охлаждения готового продукта; устройства для отсоса отходящих газов и создания разрежения в аппарате (дымососы); устройства для выброса отходящих газов в атмосферу (дымовые трубы); система приборов для контроля и регулирования технологических и технических параметров проводимых процессов и оборудования.

Линейные размеры барабанов общего назначения изменяются в широких пределах: диаметр от 1,0 до 5,0 м, длина – от 4,0 до 70 м. У аппаратов специального назначения линейные размеры отдельных аппаратов достигают значительных размеров. Так диаметр печей обжига цементного клинкера достигает 7,0 м, длина – до 230 м.

Угловая скорость вращения барабанов составляет от 0,2 до 3,0 об/мин и редко более 8,0 об/мин. Окружная скорость обычно не превышает 1,0 м/с.

Число опор зависит от длины и массы аппаратов. Выпускаются барабанные аппараты с числом опор от 2 до 7. Устанавливаются аппараты горизонтально или наклонно с углом наклона от 1,0 до 4,0 градусов.

Барабаны могут быть футерованными изнутри или без футеровки, гладкими или с внутренними устройствами (насадкой). По концам барабанов устанавливаются камеры для загрузки и выгрузки материала, а также для подвода теплоносителя и отвода отходящих газов.

Печи оборудуются откатными головками, представляющими собой подвижные камеры.

Запыленные отходящие газы проходят систему очистки.

Подвод тепла может осуществляться путем подачи теплоносителя внутрь барабана или через стенку (наружный обогрев) – муфельные, содовые печи и др. Последний вариант применяется в том случае, если аппарат предназначен для тепловой обработки материалов, не допускающих непосредственного соприкосновения с топочными газами, которые могут загрязнять конечный продукт или снижать концентрацию технологического газа, полученного в результате химической реакции. В этом случае барабан помещается в пламенную или электрическую нагревательную камеру.

Аппараты с наружным обогревом имеют ряд недостатков. Так как передача тепла реакционной массе производится через стенку барабана, то барабан нельзя футеровать и защищать его от коррозии. Это значительно снижает срок службы корпусов барабанов. Длина барабана таких аппаратов ограничена из-за наличия двух опорных станций, расположенных между нагревательной камерой.

Барабанные аппараты могут работать по принципу прямотока или противотока. В первом случае горячие газы и твердый материал движутся в одном направлении, во втором – навстречу друг другу.

Противоток применяется в тех случаях, когда обрабатываемый материал необходимо нагревать до высоких температур на конечной стадии процесса (например, прокалочные печи, цементные печи и др.).

На рис.1.1 приведена схема двухопорного аппарата с вращающимся барабаном.

Основной частью аппарата является корпус барабана цилиндрической формы (1). При помощи бандажей (8) барабан опирается на опорные ролики (9). Для предотвращения осевого сдвига барабана служат упорные ролики (10). Привод барабана осуществляется от электродвигателя через редуктор, подвенцовую шестерню (12) и зубчатый венец (11), закрепленный на барабане. Зазор между корпусом барабана и стенкой камеры уплотняется с помощью уплотнительного устройства (3).

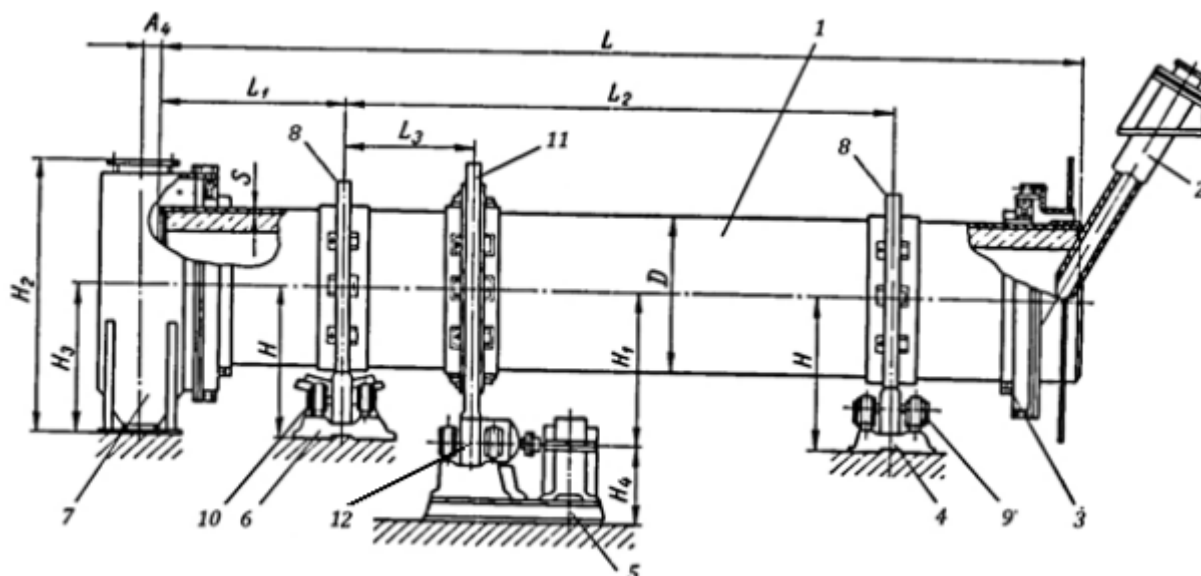


Рис. 1.1. Схема двухопорного аппарата с вращающимся барабаном:
 1 – барабан; 2 – течка для подачи материала; 3 – уплотнение; 4 – опорная станция; 5 – приводной механизм; 6 – опорно-упорная станция; 7 – разгрузочная камера; 8 – бандаж; 9 – опорный ролик; 10 – упорный ролик; 11 – зубчатый венец; 12 – подвенцовая шестерня

Муфельные вращающиеся печи (рис. 1.2) по конструкции аналогичны обычным барабанным аппаратам. Они относятся к печам с наружным обогревом.

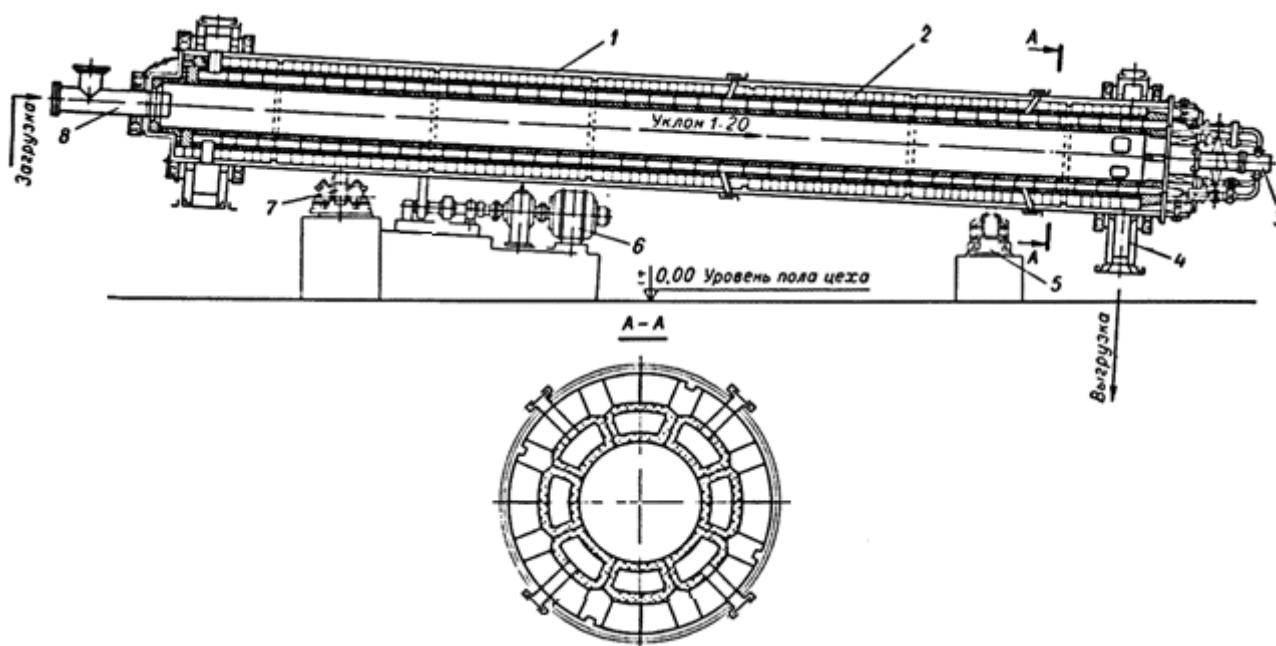


Рис. 1.2. Муфельная печь с вращающимся барабаном:
 1 – барабан; 2 – фасонный кирпич; 3 – горелочная головка; 4 – устройство для разгрузки; 5 – опорная станция; 6 – механизм привода; 7 – опорно-упорная станция; 8 – устройство для загрузки

Печь состоит из сварного металлического барабана, внутри которого, кроме обычной огнеупорной футеровки, предохраняющей корпус от перегрева и уменьшающей потери тепла в окружающую среду, имеется второй слой

специальной футеровки из фасонных огнеупорных блоков, внутри которых имеются каналы.

Смонтированные блоки образуют один центральный канал (муфель) и несколько периферийных продольных каналов. Центральный канал является реакционной камерой, где происходит тепловая обработка материала, а по периферийным каналам движется топочный газ.

Передача тепла от топочного газа к материалу, находящемуся в центральном канале, происходит через стенки периферийных каналов.

Муфельные печи значительно сложнее по конструкции и дороже в эксплуатации.

Электropечи сопротивления непрерывного действия с наружным обогревом барабана (рис. 1.3) предназначены для тепловой обработки и проведения процессов восстановления сыпучих порошкообразных материалов, которые не комкуются и не прилипают к стенкам герметичного вращающегося барабана во время нагрева в нейтральной или восстановительной среде.

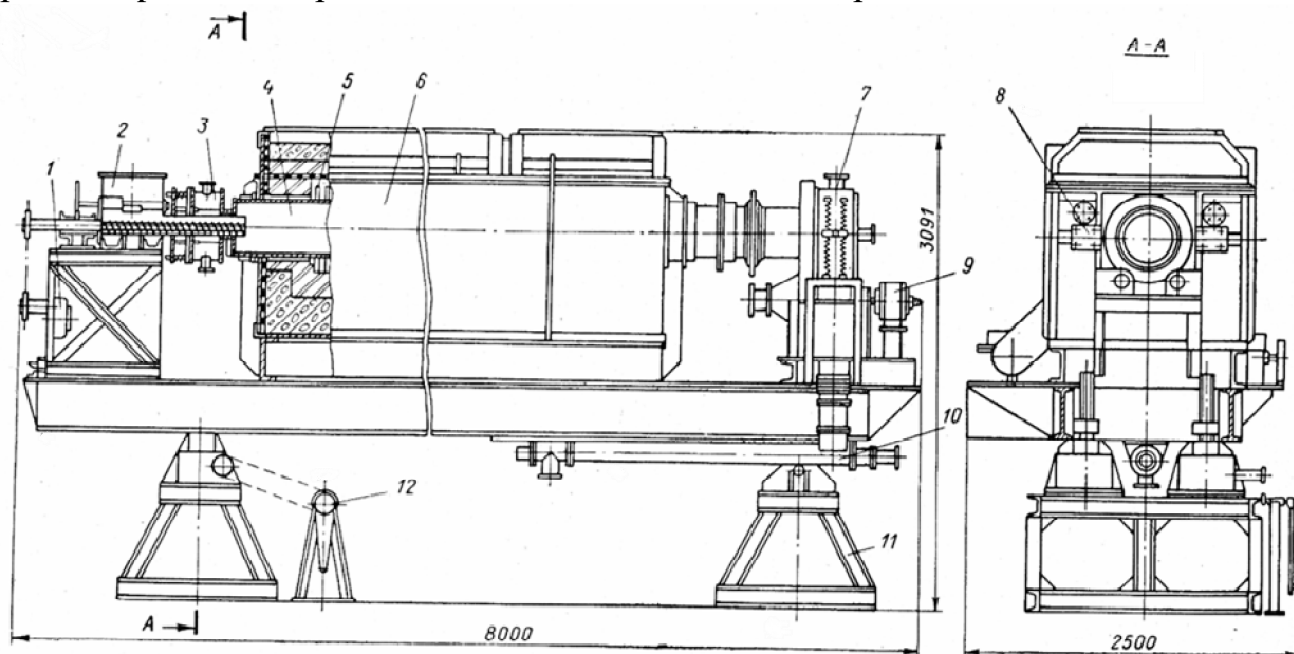


Рис. 1.3. Вращающаяся барабанная печь с электрообогревом:

1 – привод механизма загрузки; 2 – механизм загрузки; 3 – загрузочная головка; 4 – барабан; 5 – нагреватель; 6 – нагревательная камера; 7 – разгрузочная головка; 8 – упорные ролики; 9 – привод барабана; 10 – механизм разгрузки; 11 – стойка с шарнирной опорой; 12 – домкрат

На рис. 1.3 показана конструкция электropечи типа СБЗ-4,40/9С. Основными узлами электropечи являются: нагревательная камера (6), барабан (4), загрузочный (2) и разгрузочный (10) механизмы. Нагревательная камера состоит из стального сварного каркаса, футеровки, свода и нагревателей.

Для удобства обслуживания и ремонта свод нагревательной камеры сделан съемным. Нагреватели (5) электropечи изготавливаются зигзагообразной формы из нихромовой проволоки и монтируются на штырях, закрепляемых в футеровке боковых стенок камеры.

В некоторых конструкциях печей нагреватели изготавливаются в виде отдельных рамок из нихромовой ленты, располагаемых на своде и подпечи. Нагреватели питаются через понижающие трансформаторы.

Все узлы электропечей монтируются на сварной раме, установленной на четырёх опорах. Из них две опоры шарнирные (11), а остальные – в виде домкратов (12), с помощью которых изменяется угол наклона барабана.

2. СТАНДАРТИЗАЦИЯ И НОРМАЛИЗАЦИЯ АППАРАТОВ С ВРАЩАЮЩИМИСЯ БАРАБАНАМИ

Основные параметры и размеры аппаратов с вращающимися барабанами общего назначения установлены ГОСТ 11875-88. К таким аппаратам относятся печи, сушилки и холодильники. Стандарт не распространяется на аппараты специального назначения: цементные и муфельные печи, кристаллизаторы и др.

ГОСТ 11875-88 устанавливает основные параметры аппаратов: номинальную нагрузку на опору, номинальную угловую скорость барабана, число опор, линейные размеры барабанов и предельное значение углов наклона барабана. Углы наклона барабанов печей – от 1,0 до 3,0°, сушилок и холодильников – от 1,0 до 4,0°.

Действительная угловая скорость барабана не должна отличаться от номинальной более чем на $\pm 10\%$.

Основные линейные размеры аппаратов: наружный диаметр барабана D , длина барабана L , длина консольной части барабана L_1 , расстояние между опорами L_2 , расстояние между крайними опорами (для многоопорных барабанов) L_3 , расстояние между опорой и местом крепления венца L_4 .

Ряды диаметров и длин барабанов, установленные ГОСТ 11875-88, построены таким образом, что каждый следующий типоразмер аппарата по рабочему объему отличается от предыдущего примерно на 20%. Это позволяет выбрать аппарат на любую заданную производительность, отвечающую заданным требованиям технологического процесса.

Принцип построения рядов и длин барабанных сушилок имеет одну характерную особенность: в необходимых случаях они содержат дублированные по рабочим объемам типоразмеры аппаратов. Например, типоразмеры сушилок 1,6x12,0; 2,0x12,0; 2,2x16,0 м соответственно дублируют типоразмеры 2,0x8,0; 2,2x 10,0; 2,5x12,0 м. Такое построение рядов позволяет рационально выбрать аппарат для обработки материалов с самым различным гранулометрическим составом и насыпной плотностью.

Установленные ГОСТ 11875-88 ряды нагрузок Q на опорные станции позволяют рационально выбрать требуемую нагрузку для определенного класса и типоразмера аппарата.

Установленные ряды угловых скоростей барабанов ориентируют проектные организации и заводы-изготовители на применение многоскоростных

электродвигателей (трех- и четырехскоростных), которые обеспечивают сравнительно большую маневренность аппаратов при доводке их до оптимальных технологических режимов.

3. СУШИЛКИ С ВРАЩАЮЩИМСЯ БАРАБАНОМ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

В химической промышленности широкое применение получили сушилки типов БН и БГ.

Сушилки типа БН предназначены для сушки взрыво- и пожаробезопасных нетоксичных сыпучих (кусковых и зернистых) материалов топочными газами или горячим воздухом.

Сушилки выпускают в двух модификациях: диаметром 500-2200 мм и длиной 2500-16000 мм и диаметром 2500-3500 мм, длиной 14000-27000 мм.

Эксплуатация сушилок допускается при температуре стенки корпуса барабана от -20 до +400⁰С. Температура корпуса в зоне уплотнения не должна превышать 100⁰С.

Приводы сушилок диаметром 500-2200 мм комплектуются редукторами, трехскоростными электродвигателями и пусковой аппаратурой на напряжение 220/380 В.

Сушилки диаметром 2500-3500 мм относятся к крупногабаритному оборудованию и, как правило, изготавливаются по индивидуальным заказам на основе унифицированных аппаратов и элементов (корпуса, насадки, приводы, камеры загрузки и выгрузки).

Приводы сушилок диаметром 2500-3500 мм комплектуются четырехскоростными электродвигателями на напряжение 380 В, редукторами и пусковой аппаратурой.

В сушилках типа БН устанавливают разные типы насадок. В начальной по ходу продукта зоне барабана установлена приемно-винтовая насадка, что обеспечивает при перемещении материала его предварительное подсушивание. Затем идет участок барабана с лопастной (подъемно-лопастной) насадкой и участок с секторной насадкой.

На рис. 3.1 показана двухпорная сушилка типа БН.

Сушилки с вращающимся барабаном типа БГ (БГС) предназначены для грануляции и сушки в производстве сложных минеральных удобрений (нитрофоски, аммофоса, двойного и тройного суперфосфата), кормовых фосфатов и других материалов с получением готового продукта в виде гранул размером 2-10 мм. Размер гранул определяется свойствами исходного продукта и технологическим режимом работы аппарата.

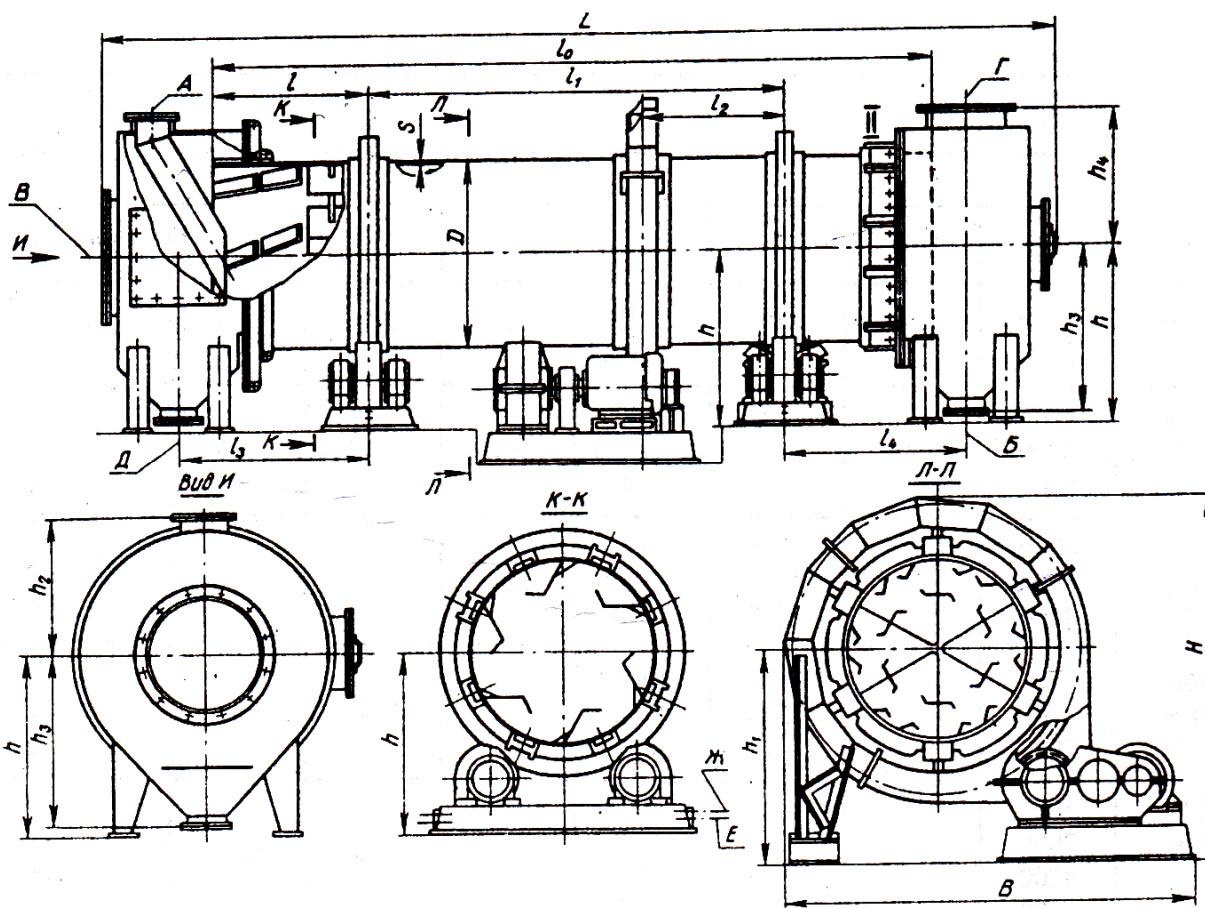


Рис. 3.1. Барабанная двухпорная вращающаяся сушилка типа БН

На рис. 3.2 показан общий вид сушилки БГ4,5-16.

Принцип работы аппарата заключается в следующем. В барабан подается ретур, представляющий собой мелкоизмельченный продукт, который получают после измельчения фракций, размер которых больше или меньше товарной фракции, которую отбирают при расसेве продукта на грохотах.

С помощью лопастной насадки при вращении барабана создается ретурная завеса. Пульпа подается в барабан при помощи форсунок, распыляется на ретурную завесу, оседает на поверхности частиц ретура, кристаллизуется, укрупняя их. При вращении барабана частицы окатываются, приобретая форму гранул и подсушиваются. Для возврата ретура из конца барабана после классификации продукта в голову барабана в барабане установлен так называемый «обратный шнек».

Перед загрузочной камерой установлено топочно-горелочное устройство. Температура топочных газов, поступающих в барабан, не должна превышать 550°C , что исключает перегрев шихты ретура.

Вторичный воздух вентилятором подается в камеру смешения топки для разбавления продуктов сгорания топлива до температуры, установленной на входе в аппарат.

Для улучшения потребительских свойств удобрений (снижение пылимости, слеживаемости, улучшения товарного вида) готовый продукт подвергают дополнительной обработке – кондиционированию – покрытию гранул.

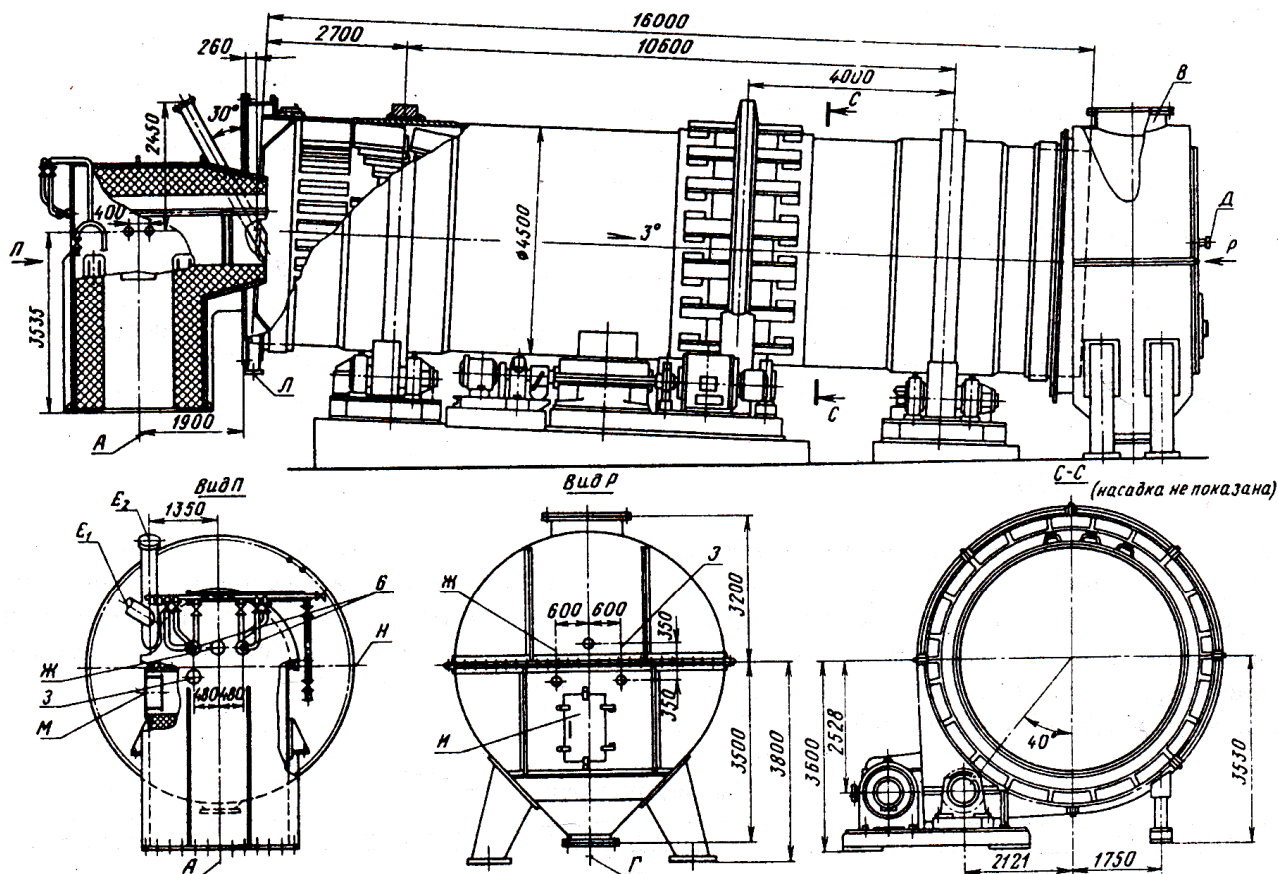


Рис. 3.2. Общий вид сушилки БГ4,5-16

Назначение штуцеров: А – вход теплоагента; Б – под форсунку для подачи пульпы; В – выход теплоагента; Г – выход продукта; Д – для терморпары; Е₁, Е₂ – для подачи ретура и прочистки; Ж – смотровое окно; З – окно для подсветки; И – люк; Л – люк для просыпи; М – люк; Н – штуцер для КИП

Кондиционирование осуществляется в барабанном аппарате, в котором смонтирована перемешивающая насадка, обеспечивающая равномерное нанесение при помощи форсунки кондиционирующей добавки на поверхность гранул.

Сушилки БГ выполняются с правым и левым расположением привода, укомплектованы основным и вспомогательным приводом для медленного вращения барабана при чистке и ремонте, а также форсунками для подачи пульпы.

4. ПЕЧИ С ВРАЩАЮЩИМСЯ БАРАБАНОМ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Печи с вращающимся барабаном в зависимости от вида производства и технологического процесса могут отличаться конструктивными особенностями.

Принято печи разделять на два вида: печи общего назначения и печи, применяемые в отдельных производствах (производство цемента, кальцинированной соды и др.)

Печи общего назначения согласно ГОСТ 27120-86 выпускаются двух видов: двухопорные и многоопорные с числом опор 3 и 4.

Двухопорные печи рассчитаны на прямоточное и противоточное движение теплоносителя и обрабатываемого материала. Параметры двухопорных печей: $D=1000-2200$ мм; $L=600-20000$ мм. Максимальная нагрузка на опору $Q=10-40$ тс. Привод двухопорных печей укомплектован электродвигателем серии АО и редукторами серии РЦТ.

Многоопорные печи рассчитаны на противоточное движение теплоносителя и обрабатываемого материала. Параметры печей: $D=2200-3500$ мм; $L=25000-70000$ мм. Максимальная нагрузка на опорную станцию – 100-200 тс. Многоопорные печи, кроме основного привода, укомплектованы вспомогательным приводом.

Одна из опор (опорно-упорная станция) оснащена упором-предохранителем с концевыми выключателями. Упор удерживает барабан печи при аварийном скольжении ее вдоль оси, а концевые выключатели останавливают электродвигатель привода.

Основной привод укомплектован электродвигателем серии АО, редуктором серии РЦТ. Вспомогательный привод укомплектован электродвигателем серии АО, редуктором серии РЦО.

Двухопорные и многоопорные печи выпускаются с правым и левым расположением привода.

На рис. 4.1 приведен общий вид четырехопорной печи с правым расположением привода.

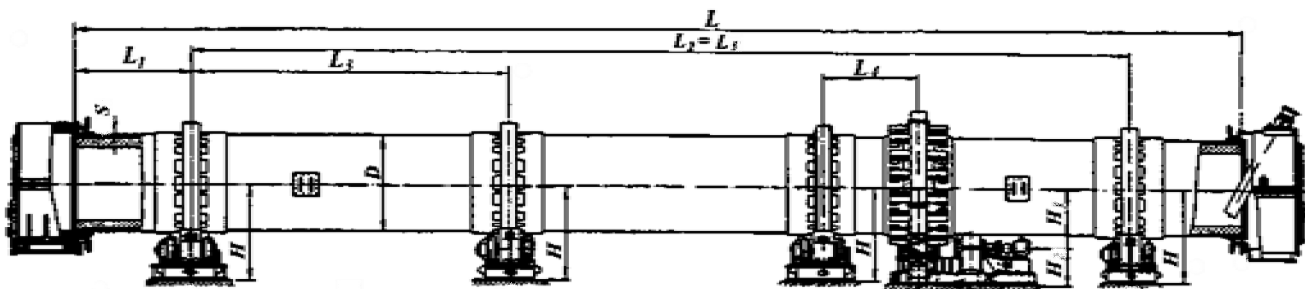


Рис. 4.1. Печь четырехопорная с правым расположением привода

Процессы, происходящие в печах с вращающимся барабаном по мере продвижения материала, зависят от характера обрабатываемого материала, температурного режима проведения процесса и других факторов.

В химических печах чаще всего происходит какой-либо один процесс. Более полно все процессы можно проследить на примере цементной печи, в которой происходят как химические, так и физические процессы.

5. ПЕЧИ ДЛЯ ОБЖИГА ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА (ЦЕМЕНТНЫЕ ПЕЧИ)

Цементные печи относятся к крупногабаритным аппаратам. Служат печи для обжига цементного клинкера, который является полуфабрикатом в производстве цемента.

Различают два способа производства цемента: мокрый и сухой.

При сухом способе сырьевые материалы после дробления и сушки подвергают тонкому измельчению. Поученная сырьевая смесь после корректирования и усреднения до заданного химического состава обжигается во вращающихся печах.

При мокром способе производства сырьевые материалы после их дробления подвергают тонкому измельчению в шаровых мельницах мокрого помола. Полученная в результате помола водная суспензия обжигается во вращающихся печах.

Сухой способ экономически целесообразен тогда, когда сырьевые материалы имеют низкую влажность и по возможности однородный химический состав. Установлено, что сухой способ экономически целесообразно применять при влажности сырья до 12%.

На отечественных цементных заводах наибольшее распространение получил мокрый способ производства. В мировой цементной промышленности примерно 2/3 цемента производится на заводах по мокрому способу.

Основой всех видов цемента является *клинкер*, получаемый путем обжига в печах сырьевой массы. Природным сырьем для получения цемента служат известняк, мергель, мел и глина. Кроме природного сырья используют шлаки металлургических производств (доменный шлак), колчеданные огарки, фосфогипс и др.

Для измельчения и перемешивания глины с водой используют валковые дробилки и глиноболтушки. Измельченный известняк до размера кусков 20-25 мм и полужидкую смесь глины с водой подвергают тонкому измельчению в шаровых мельницах.

В мельницу подают воду из расчета, чтобы готовая сырьевая масса-шлам имела влажность 36-40%. Готовый шлам центробежными насосами подается в бассейны, где он перемешивается и гомонизируется. Если шлам необходимо корректировать по химическому составу, его перекачивают из одного бассейна в другой. Все бассейны связаны между собой системой трубопроводов (шламопроводов).

Коррекционные бассейны бывают обычно вертикальные цилиндрической формы с конической нижней частью. Для хранения готового, откорректированного шлама используют бассейны цилиндрической или прямоугольной формы.

Вертикальные бассейны изготовляют диаметром 6-12 м и высотой 10-20 м, горизонтальные – диаметром 25-36,5 м и высотой до 15 м, емкостью до 12000 м³ и больше. Общая емкость шламовых бассейнов согласно правилам

технической эксплуатации должна обеспечить бесперебойную работу печей завода не менее чем на трое суток.

Шламовые бассейны оснащаются пневмомеханическими устройствами (мешалками), которые оборудованы системой трубопроводов для подачи сжатого воздуха, что обеспечивает хорошее перемешивание шлама и исключает оседание на дно бассейна твердых частиц.

Для перемешивания шлама в бассейнах применяют два типа пневмомеханических мешалок: *кранового типа* и *планетарного типа*. В бассейнах прямоугольной формы применяют мешалки кранового типа, а в бассейнах цилиндрической формы – планетарного типа.

Основой обеих типов мешалок является *мост*, сваренный из стального проката разного профиля (швеллер, уголок и др.), который при помощи катков опирается на однорельсовый путь, расположенный на торцевой поверхности стенок бассейна. К мосту подвешиваются вертикальные валы (3-4), на которых закреплены лопастные мешалки.

На рис. 5.1 приведена схема пневмомеханической мешалки кранового типа.

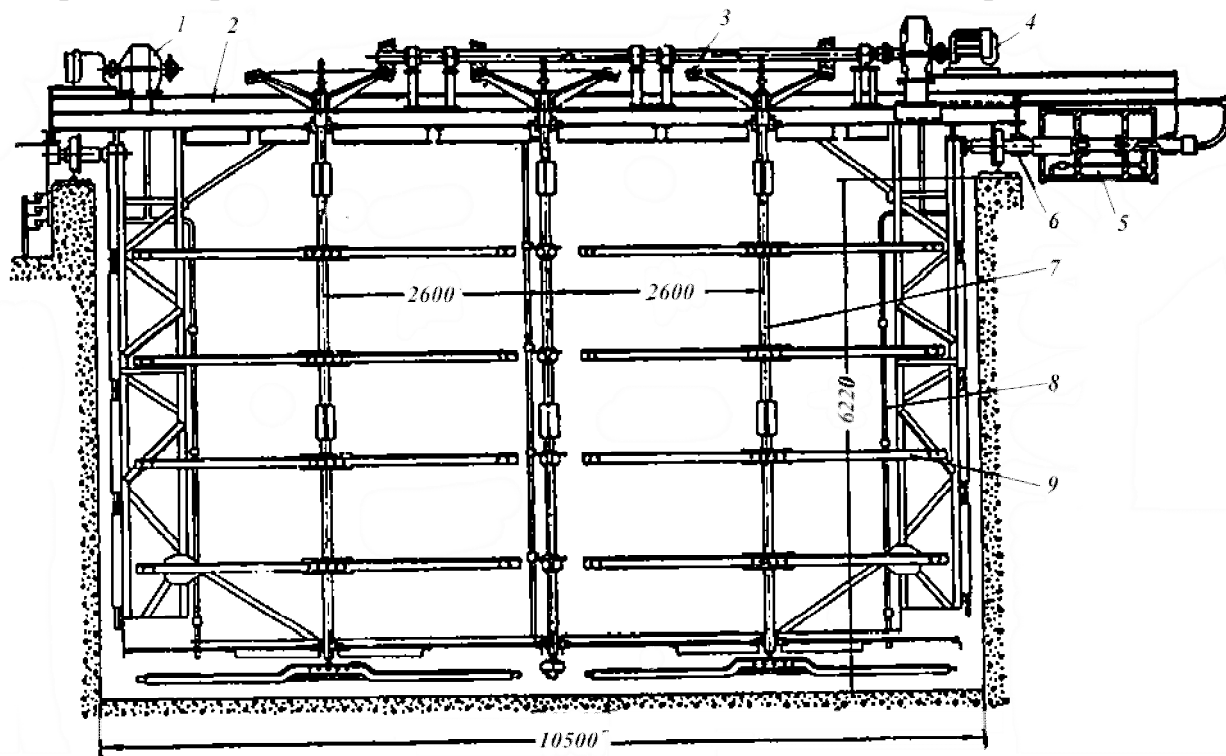


Рис. 5.1. Схема пневмомеханической мешалки кранового типа:

1 – электродвигатель привода моста; 2 – мост; 3 – приводной вал мешалок; 4 – электродвигатель привода мешалок; 5 – барабан для шланга; 6 – подвесной подшипник; 7 – вал мешалки; 8 – труба для подачи сжатого воздуха; 9 – лопасть мешалки

К мосту (2) подвешены три вертикальных вала (7), на верхних концах которых закреплены конические шестерни, которые находятся в зацеплении с шестернями, закрепленными на горизонтально расположенном приводном валу (3), имеющим привод от электродвигателя (4). Ведущие шестерни на приводном валу расположены так, что крайние вертикальные валы вращаются в одном

направлении, а средний вал в противоположном. На вертикальных валах закреплены лопасти (9), расположенные горизонтально. Лопасти среднего вала повернуты на 90^0 относительно лопастей крайних валов. При таком расположении лопастей и направлении вращения валов устраняется возможность столкновения лопастей.

Мост мешалки совершает возвратно-поступательное движение вдоль бассейна от электродвигателя (1) через редуктор и промежуточный вал. Реверсирование хода моста производится автоматически при помощи концевых выключателей.

Электродвигатель привода моста работает с большими временными перегрузками во время изменения направления движения моста и при пуске во время простоев, даже самых незначительных по времени, но сопровождающихся загустеванием шлама и осаждением твердой фазы на дно бассейна. Ввиду этого мощность электродвигателя должна в два-три раза превышать среднюю рабочую мощность, что подтверждается опытом эксплуатации мешалок.

Пневмомеханические мешалки с возвратно-поступательным движением моста вдоль бассейна достаточно хорошо перемешивают шлам, но при этом имеют существенные недостатки:

- большие габаритные размеры и масса моста со всеми конструктивными элементами не обеспечивают требуемой жесткости, что отрицательно отражается на работе приводных устройств мешалки;

- приводное устройство мешалок, состоящее из длинного вала и системы открытых зубчатых передач, занимает много места и быстро изнашивается;

- наличие двух длинных прорезиненных шлангов для сжатого воздуха, один из которых при движении моста наматывается на специальный барабан. При обратном движении моста навитый на барабан шланг свивается, а на освобожденное на барабане место навивается второй шланг.

Более совершенной по конструкции является пневмомеханическая мешалка планетарного типа, которыми оборудуются цилиндрические шламовые бассейны. Основой такой мешалки является длинный вращающийся в горизонтальной плоскости мост, расположенный вдоль радиуса от центральной опоры бассейна к его боковой стенке, который двумя скатами опирается на однорельсовый путь, расположенный на торцевой стенке бассейна. Через редуктор один из скатов связан с приводным электродвигателем, при работе которого происходит вращение моста вокруг центральной оси.

Конец моста опирается на центральную бетонную колонну бассейна. Мост мешалки делает примерно 0,25 об/мин, а вертикальные валы вращаются со скоростью 4,8 об/мин.

К мосту закреплены четыре вала, которые приводятся во вращательное движение от индивидуальных электродвигателей через редукторы и конические зубчатые пары. На валах закреплены лопастные мешалки, расположенные под углом 90^0 одна относительно другой.

По сравнению с мешалками мостового типа планетарные мешалки несколько проще по конструкции, обеспечивают хорошее перемешивание шлама,

из-за отсутствия гибких воздушных шлангов удобнее в эксплуатации, устраняется перегрузка приводного электродвигателя и др.

Готовый откорректированный шлак насосом подается в емкость ковшового питателя, расположенного у верхнего конца печи, откуда он питателем подается в печь в зону испарения влаги.

В процессе нагревания и испарения влаги происходит загущение шлама и при некоторой его вязкости образуются гранулы, которые выходят из зоны испарения с влажностью 6-12% и температурой порядка 90-100⁰С. Газовый поток поступает в зону испарения влаги с температурой 800-1000⁰С и выходит из печи с температурой 150⁰С или несколько выше.

В следующей зоне печи – зоне подогрева – процесс сводится к нагреву материала до 600⁰С. Далее следует зона кальцинирования, в которой температура материала достигает 950⁰С. При температуре около 800⁰С начинаются твердофазные реакции в местах контакта частиц взаимодействующих компонентов. Для более полного прохождения твердофазных реакций существенное значение имеет тонина помола, и однородность сырьевой смеси.

Затем наступает зона эндотермических реакций, при которых за счет выделения тепла температура материала резко повышается до 1300-1450⁰С. Происходит спекание клинкера с образованием кусков, разных по крупности.

Обожжённый клинкер, перемещаясь из зоны спекания до конца печи, где он самотеком выгружается из печи, частично охлаждается, но все же имеет высокую температуру – приблизительно 900-100⁰С. Поэтому появляется необходимость его охлаждения перед поступлением на клинкерный склад.

Применяют холодильники барабанного типа и колосниковые. В барабанных холодильниках клинкер охлаждается до 100-300⁰С. Длина холодильников выбирается равной примерно 30% длины печи, а диаметр составляет в среднем 70-100% ее диаметра.

В отечественной и зарубежной практике широкое применение получили так называемые *рекуператорные холодильники*. Такие холодильники состоят из нескольких барабанов (до 10) малых размеров, которые одним концом крепятся к барабану разгрузочного конца печи и вращаются вместе с ней.

Барабаны располагаются параллельно корпусу печи и на одинаковом расстоянии от центра ее сечения (рис. 5.2).

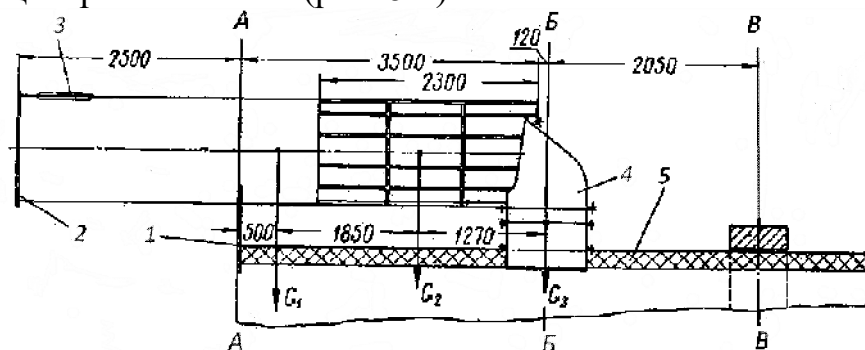


Рис. 5.2. Схема рекуператорного холодильника вращающейся цементной печи:

- 1 – опорный лист; 2 – плоское стальное кольцо; 3 – разгрузочное отверстие;
- 4 – загрузочный патрубок; 5 – корпус печи

На рис. 5.2 условно показан только один барабан в верхнем положении.

В опорном листе (1), жестко скрепленном с корпусом печи, сделаны полукруглые вырезы с радиусом, равным наружному радиусу барабанов. Каждый из барабанов жестко связан с опорным листом (1). Опорные листы не только связывают барабаны с корпусом печи, но и все барабаны между собой. Барабаны также прикреплены к корпусу своим загрузочными патрубками (4). Для придания общей системе барабанов еще большей жесткости, они соединяются между собой при помощи плоского стального кольца (2), наложенного на торцы разгрузочных концов барабанов. Против центральной части каждого барабана в кольце вырезаны отверстия, через которые затягивается холодный воздух во внутреннюю полость барабана для охлаждения клинкера. Горячий клинкер, через загрузочные патрубки (4) попадает в барабаны, охлаждается и выгружается через разгрузочные отверстия (3).

Колосниковый холодильник представляет собой решетку с колосниками, заключенными в корпус. Решетка несет на себе слой клинкера толщиной примерно 250-300 мм, через который непрерывно продувается холодный воздух.

Охлаждение клинкера происходит довольно быстро, с резким перепадом по температуре, что вызывает изменение его физико-механических свойств, повышающих размолоспособность. Клинкер из колосниковых холодильников выходит с температурой 30-80⁰С.

На цементных заводах используются колосниковые холодильники следующих типов:

- холодильники с неподвижной, наклонно расположенной решеткой и подвижными, переталкивающими клинкер колосниками;
- холодильники с неподвижной горизонтально расположенной решеткой и с подвижными переталкивающими клинкер колосниками;
- холодильники с движущимися колосниковыми решетками.

Клинкер после охлаждения измельчают в многокамерных шаровых мельницах, работающих в замкнутом цикле с центробежными сепараторами, с добавками небольшого количества гипса и активных минеральных добавок или других веществ, придающих цементу необходимые свойства.

Готовый цемент из мельниц с помощью пневмотранспорта подается на хранение в емкости, называемые *силосами*.

Обычно силосы сооружаются из железобетона диаметром 8-18 м и высотой 25-40 м. Емкость силосов составляет 2500-4000 т и больше.

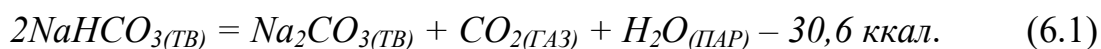
Силосы оборудуются устройствами для разрыхления, аэрации и выгрузки цемента.

6. ПЕЧИ ПРОИЗВОДСТВА КАЛЬЦИНИРОВАННОЙ СОДА

Кальцинированная сода (карбонат натрия) – Na_2CO_3 широко используется во многих отраслях промышленности: стекольной, целлюлозно-бумажной, в цветной и черной металлургии, для умягчения воды паровых котлов и др.

Получают соду путем термического разложения технического бикарбоната натрия $NaHCO_3$. Этот процесс получил название кальцинации.

Процесс кальцинации можно описать уравнением:



Кроме этой основной реакции, при нагревании бикарбоната могут протекать дополнительные реакции.

Отходящий из содовой печи газ, имеющий высокое содержание CO_2 , используют на карбонизацию и поэтому технологический процесс проводят в печах с вращающимся барабаном с наружным обогревом, что исключает снижение концентрации газа.

Качество получаемой соды в значительной степени зависит от температуры, с которой ее выгружают из барабана. Эта температура не должна выходить за пределы 140-190⁰С. При отклонении от температурного режима происходит ухудшение физико-механических свойств соды.

Применяют два способа производства кальцинированной соды: *ретурный* и *безретурный*.

Печи для производства соды этими способами отличаются, в основном, только конструкцией узла подачи (загрузки) бикарбоната натрия.

Сырой бикарбонат натрия содержит 13-17% влаги, легко комкуется и налипает на стенки барабана с образованием твердой корки соды, что снижает эффективность теплообмена между нагретой стенкой барабана и кальцинируемой массой и может привести к прогоранию корпуса барабана.

Для уменьшения влияния этого на технологический процесс бикарбонат натрия перед подачей в барабан смешивают в определенном соотношении с горячей кальцинированной содой, выходящей из барабана, в специальном питателе-смесителе, снижая при этом влажность бикарбоната натрия до 8%.

По этой схеме работают *ретурные* содовые печи.

В *безретурных* содовых печах сырой бикарбонат натрия подается в барабан специальным питателем-забрасывателем, обеспечивающим длину траектории полета до 6,5-9,5 м. Во время полета частицы бикарбоната натрия успевают немного подсохнуть и не происходит их налипание на стенку барабана.

В конструкции содовых печей используют специальные цепи, служащие для внутренней очистки барабана, для измельчения комков соды и для ее перемешивания.

На рис. 6.1 приведена конструкция ретурной содовой печи производительностью 215 т/сутки.

Реакционной камерой печи является барабан (12), диаметром 2,8 м и длиной обогреваемого участка 24,5 м, изготовленный из углеродистой стали Вст3, с толщиной стенки 32 мм и установленный горизонтально. Частота вращения барабана – 5 об/мин. Цилиндрическая часть барабана заключена в нагревательную камеру.

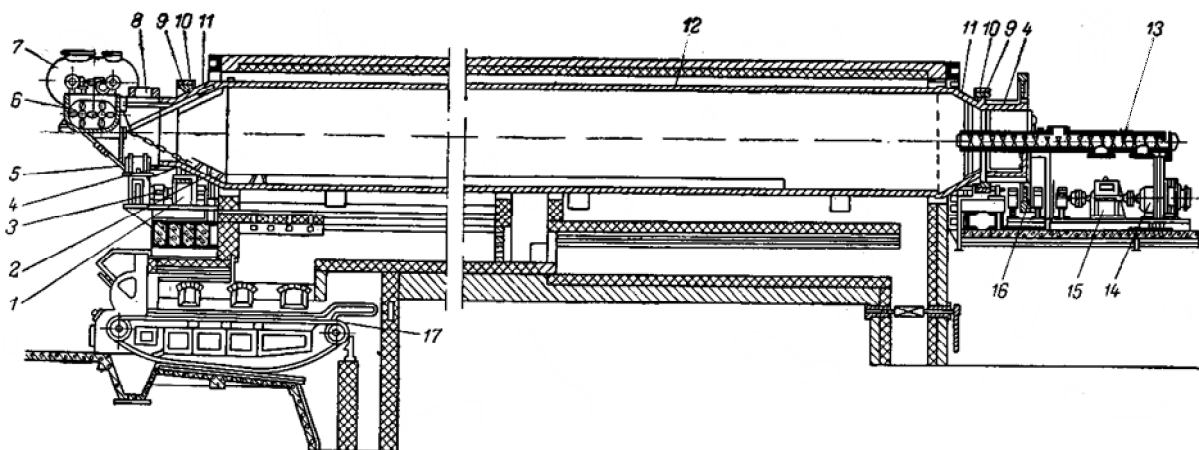


Рис. 6.1. Ретурная содовая печь:

1 – опорный ролик; 2 – цепь; 3 – подшипник; 4 – горловина печи; 5 – загрузочная камера; 6 – смеситель; 7 – питатель; 8 – штуцер для отвода газов; 9 – ободы; 10 – бандажи; 11 – конические горловины; 12 – корпус печи; 13 – выгрузочный шнек; 14 – электродвигатель; 15 – редуктор; 16 – зубчатое колесо; 17 – колосниковая решетка

К цилиндрической части барабана на загрузочном и выгрузочном концах приварены конические горловины (11), на узкой части которых закреплены ободы (9) с бандажами (10). Горловина передней (загрузочной) части барабана входит в камеру (5). Зазор между горловиной и камерой уплотняется с помощью сальникового уплотнения. В камере имеется штуцер (8) для удаления газов, выделяющихся в печи в процессе кальцинации.

К торцевой стенке загрузочной камеры с внутренней стороны при помощи шаровых шарниров прикреплена цепь (2), с наружной стороны камера соединена со смесителем (6) и питателем (7), при помощи которых производится смешение и загрузка бикарбоната натрия и ретурной соды в барабан.

В крышке горловины задней разгрузочной камеры печи (4) имеется центральное отверстие для ввода в печь шнека (13), предназначенного для выгрузки соды. Привод шнека осуществляется с помощью цепной передачи от основного приводного механизма. Вращение барабана осуществляется от электродвигателя (14) через редуктор (15) и зубчатую пару (16).

Барабан бандажами опирается на две пары роликов (1). Диаметр роликов 1100 мм. Подшипники роликов имеют водяное охлаждение. Сами ролики также охлаждаются, погружаясь при вращении в водяную ванну, в которую налито небольшое количество масла, что обеспечивает смазку поверхностей качения роликов и бандажей.

Задняя пара роликов имеет реборды, фиксирующие положение конца бандажа. Передние ролики не имеют ребордов, благодаря чему при удлинении барабана вследствие температурных деформаций смещается только передний его край.

На рис. 6.2 показана нагревательная камера безретурной содовой печи на жидком топливе (мазуте).

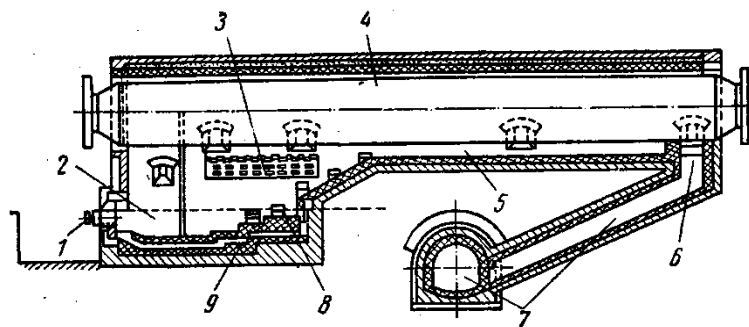


Рис. 6.2. Нагревательная камера безрeturной содовой печи на жидком топливе:

- 1 – форсунка; 2 – топка; 3 – защитный решетчатый свод; 4 – барабан печи; 5 – газоход; 6 – заслонка; 7 – боров; 8 – рассекатели; 9 – воздуховод

Футеровка камеры выполнена в два слоя: внутренний из огнеупорного шамотного кирпича, наружный из глиняного обыкновенного кирпича. В нижней части камеры имеется топка (2) и газоход (5).

Подача топлива в топку осуществляется при помощи двух форсунок (1). По воздуховоду (9) в топку подается необходимый для горения топлива воздух. Количество подаваемого мазута регулируется вентилем, установленным на трубопроводе, по которому поступает мазут к форсункам. Количество воздуха регулируют, изменяя величину тяги при помощи заслонки (6), установленной в борове (7). При нормальном соотношении мазута и воздуха факел имеет температуру порядка 1400°C .

Для предохранения барабана печи от прогара в топке иногда устанавливают решетчатый защитный свод. Для равномерного распределения топочных газов по всему сечению газохода применяют рассекатели (8), выполненные в виде колонок из огнеупорного кирпича в шахматном порядке по ходу топки.

Температура топочных газов, поступающих в газоход (5), составляет $800-900^{\circ}\text{C}$. На выходе из газохода в боров (7) она снижается до $380-420^{\circ}\text{C}$.

Отходящие топочные газы поступают в рекуператор для подогрева воздуха, идущего на горение топлива, что дает экономию топлива до 10%, или используют для получения пара в котлах-утилизаторах.

При работе содовых печей с использованием в качестве топлива природного газа или твердого топлива конструкция топок несколько отличается от рассмотренной выше.

7. ФУТЕРОВКА БАРАБАНОВ

Внутренняя поверхность вращающихся печей и барабанных сушилок для предохранения корпуса от сильного нагрева и уменьшения потерь тепла в окружающую среду футеруется огнеупорным кирпичом.

Футеруются также топочные камеры, откатные головки, газоходы и другие тепловые агрегаты.

Толщина футеровки, в зависимости от температурного режима, может быть выполнена в 1/2 кирпича (113 мм), в один кирпич или толщиной 200-300 мм фасонными кирпичами, имеющими обычно форму части кругового кольца трапециевидального сечения, очерченного строго по внутреннему диаметру корпуса барабана (рис. 7.1).

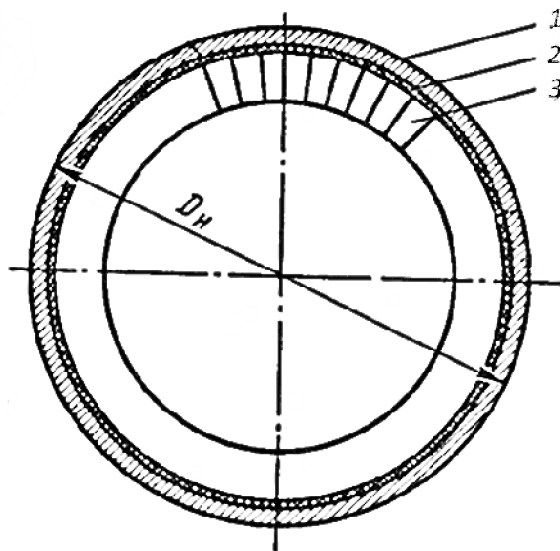


Рис. 7.1. Схема футеровки барабана:
1 – корпус; 2 – теплоизоляционный прокладочный материал;
3 – огнеупорный кирпич

Для футеровки муфельных печей применяют пустотелые огнеупорные блоки, внутренние пространства которых сообщаются между собой через каналы в их торцевых стенках, через которые проходят топочные газы.

Кладка футеровки производится в соответствии с отраслевыми нормативно-техническими документами.

Для оценки пригодности огнеупоров для конкретных условий руководствуются показателями важнейших их свойств.

Важнейшими свойствами футеровочных материалов является их огнеупорность, термическая и химическая стойкость.

Огнеупорность – свойство материалов и изделий противостоять, не расплавляясь, воздействию высоких температур.

Огнеупорность футеровочных материалов составляет:

- шамотные – 1580-1770⁰С;
- корундовые – 1800-2000⁰С;
- магнезитовые – 2000⁰С;
- доломитовые – 1950⁰С.

Термическая стойкость огнеупорных изделий характеризует способность выдерживать, не разрушаясь, резкие повторные колебания температуры.

По *химическим свойствам* различают кислые, щелочные и нейтральные материалы.

В горячих барабанах температура футеровки в разных зонах по длине барабана и колебания температуры футеровки могут изменяться значительно. Так, в цементных печах обжига наиболее высокотемпературными участками являются:

- горячая часть зоны охлаждения;
- зона спекания;
- зона экзотермических реакций.

В зоне экзотермических реакций температура внутренней поверхности футеровки достигает 1300-1450⁰С, а наружной – до 300⁰С. Колебания температуры футеровки составляют 150-250⁰С за один оборот печи и распространяются на глубину 25-30 мм. В качестве огнеупора в этой зоне применяют хромомагнезитовый кирпич.

Поверхность футеровки подвергается воздействию горячих газов и обрабатываемого материала. Это может вызвать химические реакции между обрабатываемым материалом и футеровкой, в результате которых возможно изменение химического состава огнеупора, обуславливающего его механические свойства. Все эти факторы необходимо учитывать при выборе футеровочных материалов для разных участков (зон) барабанов, топочных камер, головок.

Для заполнения швов кладки используют магнезитовый раствор на жидком стекле. Разогрев футерованных агрегатов производят после предварительной их сушки.

Для тепловой изоляции отдельных зон между стенкой барабана и наружным диаметром футеровки применяют различные теплоизоляционные материалы – листовой асбест, асбестовый картон и др.

Для продления срока службы футеровки в зоне спекания обжиговых печей применяют водяное охлаждение, что снижает температуру внешней поверхности корпуса до 80-100⁰С, вместе с тем понижается и температура внутренней (рабочей) поверхности футеровки.

На рис. 7.2 показано одно из охлаждающих устройств цементной печи.

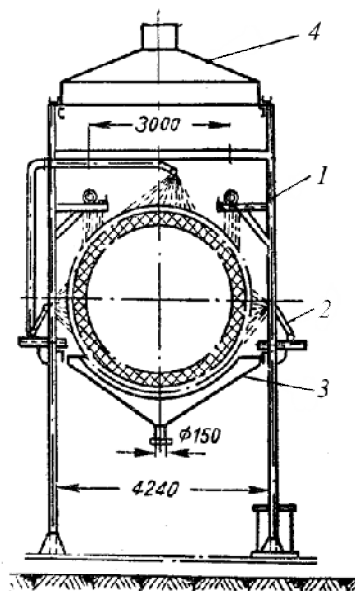


Рис. 7.2. Схема водяного охлаждения корпуса печи:

1 – каркас; 2 – форсунка; 3 – желоб для сбора воды; 4 – вытяжной колпак

8. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Вследствие вращения барабанного аппарата сыпучий материал движется относительно корпуса. Характер движения зависит от многих параметров: диаметра барабана, скорости его вращения, коэффициента заполнения, коэффициента трения материала о стенку, коэффициента внутреннего трения сыпучего материала, угла наклона барабана к горизонту, наличия и вида внутренних устройств.

В барабанных аппаратах необходимо обеспечить максимальную поверхность соприкосновения материала с теплоносителем и достаточное время пребывания материала в барабане. Это достигается за счет перемешивания материала и правильным выбором длины, скорости вращения, угла наклона барабана, типа насадки.

Согласно современным представлениям в гладких барабанах (без внутренних устройств), каждая находящаяся внутри массы материала частица, описав дугу окружности с радиусом, зависящим от её положения, скатывается на свободную поверхность. Затем она оказывается внутри массы, снова выходит на поверхность, снова обрушивается и т.д. В случае движения всей массы картина будет меняться, т.к. в движении находится не изолированная частица, а большое количество частиц. Для нормальной работы барабанных аппаратов необходимо, чтобы сыпучий материал двигался с обрушением и непрерывно перемешиваясь. Это позволяет всем частицам, а не только поверхностному слою материала, соприкоснуться с теплоагентом. Процесс скольжения и обрушения накладываются с преобладанием одного из них.

Наблюдения за работой цементных печей показывают, что обрушение массы происходит не непрерывно, а периодически с малым интервалом времени.

Обрушение массы наблюдается в большинстве барабанов по всей её свободной поверхности. Однако в барабанах с горизонтальной осью (например, содовые печи) имеет место так называемое обрушение по фронту материала, которое сопровождается также обрушением массы по всей её свободной поверхности. Исследования работы барабанных аппаратов показали, что слой материала в барабане уменьшается вдоль его оси к выходу из него. Вследствие этого свободная поверхность материала образует с осью барабана некоторый угол. Однако при расчётах этот угол обычно не учитывают.

При определении времени пребывания можно подходить следующим образом (рис. 8.1). При вращении барабана частица материала, находящаяся в точке А, поднимается до точки В. Угол γ , определяющий высоту подъема, будет зависеть от коэффициента трения между материалом и стенкой барабана и от величины сил, прижимающих частицу к стенке барабана. При малой угловой скорости вращения барабана и при перемещении не единичных частиц, а массы материала, угол γ будет практически равен углу естественного откоса материала. Поднявшись до точки В, частица соскользнёт вниз и, благодаря наклону оси барабана, попадет в точку А', снова поднимется до точки В', снова соскользнёт, попадая в точку А'', и т.д., пока не выйдет из барабана. Принимая двугранный угол

У за плоский и равный α , можно считать, что частица материала будет двигаться по винтовой линии с углом наклона α .

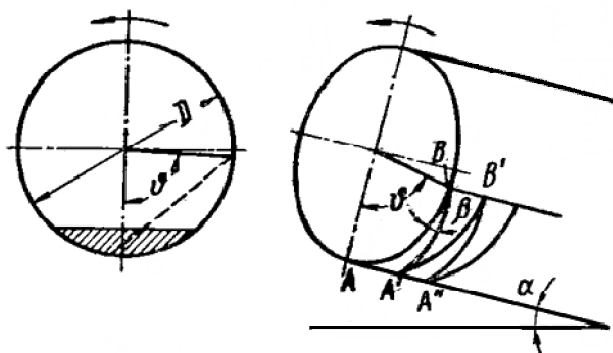


Рис. 8.1. Эскиз к определению времени пребывания материала в барабане

Ясно, что движение слоя происходит несколько иначе, чем движение одиночной частицы.

Кроме того, на движение материала оказывает влияние наличие насадки внутри барабана, направление движения газа и материала (прямоток или противоток) и др.

Угол естественного откоса материала также оказывает влияние на время пребывания материала в барабане.

На практике при расчёте времени пребывания пользуются следующими полуэмпирическими формулами.

Для барабанных аппаратов без внутренних устройств и опорных колец (порогов):

$$\tau = \frac{0,308(\alpha + 24)L}{Dni}, \quad (8.1)$$

где α – угол естественного откоса материала, град;

L – длина барабана, м;

D – диаметр барабана, м;

n – число оборотов барабана, об/мин;

i – наклон барабана, % к длине.

Формула 8.1 справедлива для барабанов с коэффициентом заполнения $\varphi = 0,1 \div 0,15$ и $\alpha = 1 \div 6^\circ$.

Если барабан имеет на выходе опорное кольцо, то формула примет более сложный вид. В литературе имеются также формулы для расчёта времени пребывания материала в барабанах с насадками.

Необходимое время пребывания диктуется длительностью технологического процесса и определяется из технологического расчёта. Например, при проектировании барабанных сушилок необходимое время пребывания находят на основании напряжения барабана по влаге A , величина которого приводится в литературе.

$$A = \frac{W}{\tau V}, \quad (8.2)$$

где W – количество удаляемой влаги, кг/час;
 V – объем барабана, м³;
 τ – время пребывания материала, мин.

При расчёте барабанных аппаратов необходимо учитывать скорость топочных газов и связанный с ней пылеунос. Обычно принимают на выходе из барабана скорость газов не более 2-3 м/сек.

На основании длительности времени пребывания материала в барабане определяется его длина, а по скорости газа, протекающего через барабан, определяется площадь и, следовательно, диаметр аппарата. Длина барабана, его наклон, конструкция насадки, число оборотов и степень заполнения выбирается с таким расчётом, чтобы время пребывания было не менее длительности технологического процесса. В барабанных аппаратах предусматривается регулирование времени пребывания. Обычно это осуществляется за счёт изменения числа оборотов барабана.

Производительность барабанного аппарата, рассматривая его как транспортную трубу с заданным временем пребывания в ней материала, можно определить по следующей формуле:

$$Q = \frac{60\pi D^2 L \varphi \rho_H}{4\tau}, \quad (8.3)$$

где φ – коэффициент заполнения барабана;
 ρ_H – насыпная плотность материала, кг/м³;
 D, L – диаметр и длина барабана, соответственно, м;
 τ – время пребывания материала, мин.

Производительность муфельных вращающихся печей можно рассчитать по формуле:

$$Q = \frac{153}{\varphi + 24} \rho_H n i \varphi D^3 \text{ кг/час.} \quad (8.4)$$

Скорость газа в каналах муфеля обычно принимают равной 6-8 м/сек.

Эффективность работы барабанных сушилок зависит от ряда факторов, в том числе от скорости газа в барабане. Эти скорости имеют определенные пределы, превышение которых приведет к слишком большому пылеуносу.

Значения максимально допустимых скоростей газа на выходе из барабана зависит от размера частиц обрабатываемого материала и от его насыпной плотности (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Насыпная плотность материала, кг/м ³	Скорость газа на выходе из барабанов, м/сек, при диаметре частиц материала, мм		
	<0,3	0,3-2,0	>2,0
350	0,5	0,5-1,0	1,3
1000	2	2-5	5,3
1400	3	3-7,5	8,0
1800	4	4-10	10,5
2200	5	5-12	13

С уменьшением размера частиц материала и со снижением его насыпной плотности значения максимально допустимых скоростей газа в барабане уменьшаются.

Таким образом, для сушки мелкодисперсных материалов вместо аппарата одного типоразмера с большей эффективностью может быть применен аппарат с тем же рабочим объемом, но с большим диаметром и меньшей длиной. В этом случае при том же рабочем объеме аппарат будет иметь большую производительность, т.к. увеличенная площадь поперечного сечения барабана позволит повысить расход газа при сохранении его скорости.

Производительность вращающихся печей и холодильников можно повысить путем увеличения диаметра и длины барабана. Повышение производительности барабанных сушилок возможно только за счёт увеличения их диаметров, а не длины барабана.

9. ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ И ДЕТАЛИ БАРАБАНЫХ АППАРАТОВ

9.1. Корпус барабана

Барабан является основной частью аппарата. Основным требованием к материалу барабана является устойчивая и длительная работа в пределах рабочих нагрузок и температур. При этом сталь должна обладать высокой пластичностью. Изготавливают барабаны из углеродистых сталей обыкновенного качества, углеродистых качественных (сталь 15, 20) и низколегированных (сталь 09Г2С и др). Для изготовления крупногабаритных барабанов применяется мартеновская сталь марки Ст.3 группы В, поставляемая по механическим свойствам с дополнительными требованиями по химическому составу. Барабан изготавливается из коротких цилиндров-царг, свариваемых между собой встык. Сварка производится качественными электродами марки ЭЧ-2 и ЭЧ-2А с контрольной подваркой. Продольный шов в одной обечайке должен быть смещен по отношению к шву другой обечайки на 100-200 мм.

Барабаны электропечей изготавливают из труб, выполненных из стали X18H10T (для 600⁰С), X23H18 (для 900⁰С), или сварной конструкции из стали X14Г14НЗТ.

Толщина листов для изготовления барабанов берется не менее 10 мм, а в больших цементных печах она доходит до 50 мм. Сильно нагруженными являются подбандажные обечайки. Их толщина обычно бывает в 1,5-2,0 раза больше, чем рядовых. В некоторых конструкциях аппаратов применяют накладные пояса жесткости, что способствует повышению жёсткости обечаек. Однако при применении одной или двух кольцевых накладок (поясов жесткости) внутренние кольца нагреваются сильнее, чем наружные, что вызывает их коробление.

Жёсткость корпусов большого диаметра часто усиливают кольцами жесткости. Такие кольца обычно имеют двутавровую форму сечения и на корпус насаживаются с зазором, величина которого определяется исходя из средней температуры корпуса и кольца при их рабочем состоянии (рис. 9.1).

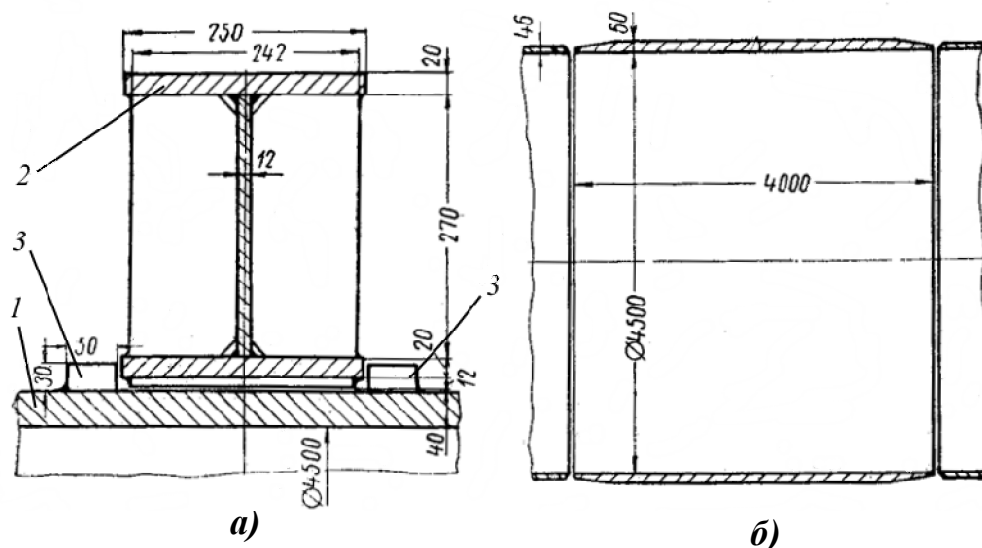


Рис. 9.1. Поперечный разрез кольца жесткости корпуса вращающейся печи (а) и схема подбандажной обечайки (б):

1 – корпус барабана; 2 – кольцо жесткости; 3 – ограничительные планки

Чтобы кольца жесткости не могли перемещаться вдоль корпуса, с обеих сторон их к корпусу приваривают ограничительные планки. Иногда кольца устанавливают и внутри барабана для предупреждения осевого смещения футеровки. Все крупногабаритные аппараты в настоящее время изготавливаются одинакового диаметра по всей длине, но в эксплуатации находятся аппараты, имеющие расширенные зоны.

Некоторые барабанные аппараты на концах имеют конические горловины, соединенные с корпусом при помощи фланцев. В этом случае удастся существенно повысить (до 0,5-0,6) коэффициент заполнения барабана.

Крупногабаритные барабаны имеют прямоугольные (600x400 мм) или круглые (диаметром 600мм) люки, предназначенные для подачи и удаления футеровочных материалов при производстве футеровочных и ремонтных работ.

Некоторые конструкции барабанных сушилок и кристаллизаторов имеют рубашки, соединенные с корпусом барабана.

В производстве искусственных волокон применяют так называемые трубы предварительного созревания, представляющие собой также барабанный многоопорный аппарат с рубашкой. Барабан состоит из секций, соединенных между собой фланцами.

9.1.1. Тепловые деформации корпуса барабанов

Такие барабанные аппараты, как цементные печи, прокалочные печи и т.п. под воздействием высокой температуры значительно нагреваются, несмотря на слой футеровки. Например, в зоне спекания цементной печи корпус нагревается до 300-400⁰С. Вследствие нагрева длина и диаметр корпуса несколько увеличиваются по сравнению с теми размерами, которые они имели в нерабочем состоянии.

При удлинении корпуса изменяется положение бандажей относительно опорных роликов, зубчатого венца относительно подвенцовой шестерни, деталей уплотнительных устройств одна относительно другой, изменяются также зазоры между бандажами и башмаками.

При монтаже барабанных аппаратов, работающих при высоких температурах, необходимо учитывать тепловые деформации корпуса. При рассмотрении тепловых деформаций вдоль оси барабана можно предположить, что бандаж, расположенный между контрольными (упорными) роликами, неперемещается при нагревании. Поэтому поперечное сечение корпуса барабана, проходящее через этот бандаж, можно принять за нейтральное сечение, от которого влево и вправо происходит удлинение корпуса.

Чтобы бандажи занимали среднее положение на опорных роликах, ролики должны быть сдвинуты при монтаже к концам корпуса относительно соответствующих им бандажей на величину:

$$\Delta l = \alpha(t_{cp} - t)L_1 \text{ мм}, \quad (9.1)$$

где α – температурный коэффициент линейного расширения материала корпуса (для стали $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$);

t_{cp} – средняя температура корпуса барабана при его рабочем состоянии по длине рассматриваемого участка (обычно определяется по графику изменения температур корпуса монтируемого аппарата), ⁰С;

t – температура окружающего воздуха, ⁰С;

L_1 – длина части корпуса от нейтрального сечения до той пары роликов, для которых определяется сдвиг, мм.

Тепловые деформации корпусов барабанов не отражаются отрицательно на их прочности и на прочности сопряженных с ними деталей, если эти деформации учитываются при конструировании и монтаже аппаратов.

Тепловые деформации могут также происходить при нарушении правил технической эксплуатации, в результате чего появляются прогибы корпуса между опорами. На корпусе могут также образовываться выпуклости и вмятины. Эти деформации могут появиться при розжиге печей, когда допускается её продолжительный прогрев без проворачивания, при внезапной остановке печи и ее продолжительном простое и т.п.

Корпуса печей могут деформироваться и из-за местного повреждения футеровки.

Снижение температуры корпусов горячих барабанов достигается путём правильного выбора необходимой толщины футеровки.

9.1.2. Внутренние устройства барабанов

Для улучшения тепло- и массообмена между обрабатываемым материалом и теплоносителем в барабанных аппаратах применяют внутренние устройства.

Так большинство аппаратов (сушилки, холодильники и др.) имеют насадки, которые изготовляют из профильного проката или полосы, соединенных между собой и стенкой барабана.

В зависимости от физико-механических свойств и гранулометрического состава материала насадкам придают определенную конструктивную форму (рис. 9.2).

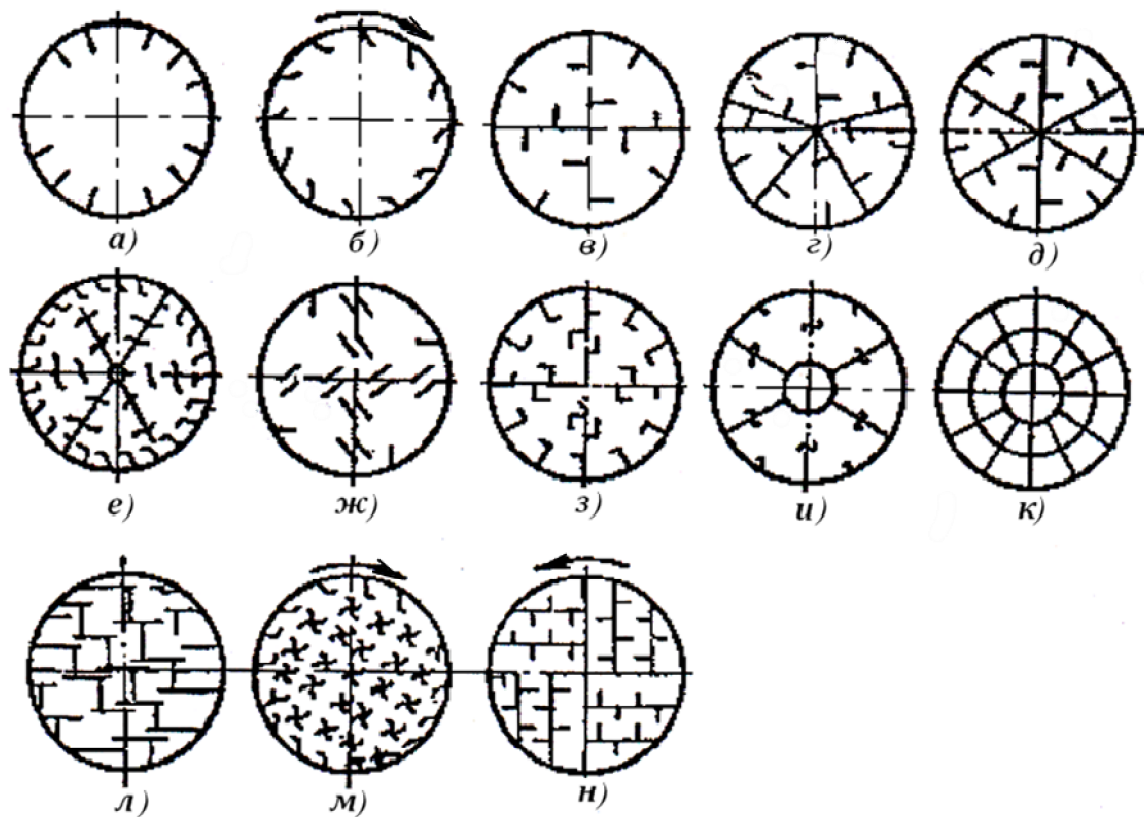


Рис. 9.2. Типы насадок барабанных аппаратов:

а, б – подъемно-лопастная; *в, г, д, е, ж, з, и* – секторная; *к* – перевалочная (ячейковая); *л, м, н* – распределительная.

Так, для крупнокусковых материалов и имеющих плохую сыпучесть применяется подъемно-лопастная насадка (рис. 9.2,а, б).

Для кусковых, но хрупких материалов применяют секторные насадки (рис. 9.2,в, г, д, е, ж, з, и), выполненные в виде отдельных не сообщающихся между собой секторов, снабженных подъемно-лопастной системой. Падение материала происходит при этом с небольшой высоты, что уменьшает опасность его измельчения и уноса из барабана.

Для мелкокусковых и зернистых материалов без наличия в них пылевидных частиц используют распределительную систему насадок (рис. 9.2,л, м, н), которая представляет собой различного рода полочки, заполняющие всю внутреннюю полость барабана и образующие сообщающиеся ячейки.

Для мелкозернистых и пылевидных материалов используют так называемую перевалочную или ячейковую насадку, состоящую из отдельных изолированных друг от друга ячеек малого сечения, в которых пересыпание материала происходит с малой высоты (рис. 9.2,к).

Часто в барабанных аппаратах со стороны загрузки материала устанавливают винтовую насадку в виде винтовых лопастей, которая служит для подачи материала в барабан и лучшего его распределения по поперечному сечению барабана.

Если свойства материала по длине барабана изменяются, то целесообразно на разных участках его длины устанавливать насадки разной конструкции, тем самым улучшая показатели работы аппарата. Например, барабанные сушилки часто имеют сначала винтовую насадку, затем подъемно-лопастную, а далее распределительную или промежуточную систему. Насадки обычно собирают из отдельных звеньев длиной около одного метра и крепят к барабану.

В барабанах без насадки, таких как, например, цементные печи, печи для кальцинирования соды, внутри барабана помещаются цепи. Назначение цепей может быть различным. Так в цементных печах, работающих по мокрому способу, цепные завесы служат для интенсификации процесса сушки шлама и теплообмена между обжигаемым материалом и газовым потоком в зоне сушки.

Подвеска цепей может производиться по двум схемам: каждый из отрезков цепи крепится к корпусу печи одним концом (свободновисящие цепи) или подвешивается обоими концами (гирляндная подвеска). Иногда цепи подвешивают со стороны загрузки материала у сушильных барабанов.

Свободновисящие цепи подвешиваются к балкам из швеллера, приваренным через равные промежутки по окружности к корпусу печи.

Каждый последующий ряд цепей смещен на некоторый угол, так что в целом образуется навеска в шахматном порядке, что улучшает транспортирование материала вдоль печи.

По показателям эффективности теплообмена, свободно свисающие цепи значительно уступают гирляндным системам подвески. Длина цепи обычно составляет 0,6-0,7 внутреннего диаметра печи по футеровке.

Общая длина цепей в современных длинных печах составляет более 2000 м, а их поверхность – более 1500 м². Применяются цепи с овальными и круглыми звеньями. Цепи с круглыми звеньями характеризуются большей поверхностью на

один погонный метр длины и более высокой механической стойкостью. Изготавливаются цепи из стального прутка диаметром 16-26 мм.

Длина цепной завесы зависит от типоразмера печи. Так, для печи 5 x 185 м эта длина составляет 40 м. Вес цепной завесы печи 4,5x 170 м составляет 100 т.

В содовых печах внутри барабана находится одна цепь, расположенная вдоль барабана. Цепь состоит из отдельных чугунных звеньев весом до 135 кг каждое, шарнирно соединенных друг с другом.

На рис. 9.3. показан профиль звена цепи.

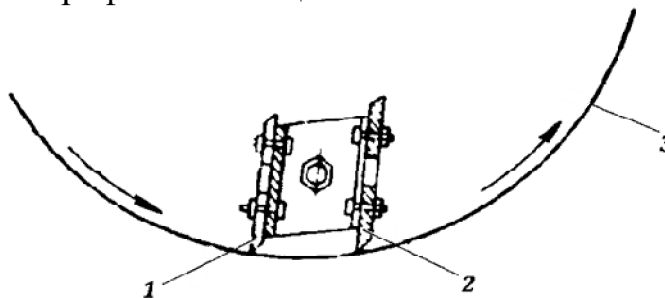


Рис. 9.3. Профиль звена цепи содовой печи:

1 – зубчатый нож; 2 – сплошной нож; 3 – барабан печи

Зубчатый стальной нож (1) прорезает канавки в корке материала, налипшего на поверхность барабана (3), а сплошной нож (2) затем снимает его со стенки. Кроме того, цепь разрушает крупные комки соды и способствует её перемешиванию. В одних содовых печах цепь крепится с одной стороны (печи с ретурным питанием), в других - безретурных – с обоих концов. При вращении барабана цепь поднимается на некоторую высоту, а затем падает вниз, скользя по поверхности барабана.

К внутренним устройствам цементных печей можно отнести теплообменники различных конструкций и фильтры-подогреватели, которые служат как для улучшения теплообмена между газовым потоком и материалом, так и для улавливания пыли из газового потока.

9.2. Опорные станции барабанных аппаратов

Опорные станции воспринимают на себя нагрузку от массы вращающегося барабана. Число станций зависит от массы и длины барабана. Обычно расстояние между опорами не превышает 18-20 м. Однако в крупных обжиговых печах (например, цементные печи) длина пролётов значительно больше. Конструктивно опорные станции выполняются в виде типовых механизмов трех типов: первый тип – опорная станция (СО), второй тип – станция опорно-упорная (СУО), третий тип – станция опорная с предохранителем – (СОП).

Станция опорная состоит из двух роликовых опор, которые установлены на сварную раму (рис. 9.4,а). Опорно-упорная станция отличается от опорной наличием двух упорных роликов, которые контролируют положение барабана на опорах (рис.9.4,б).

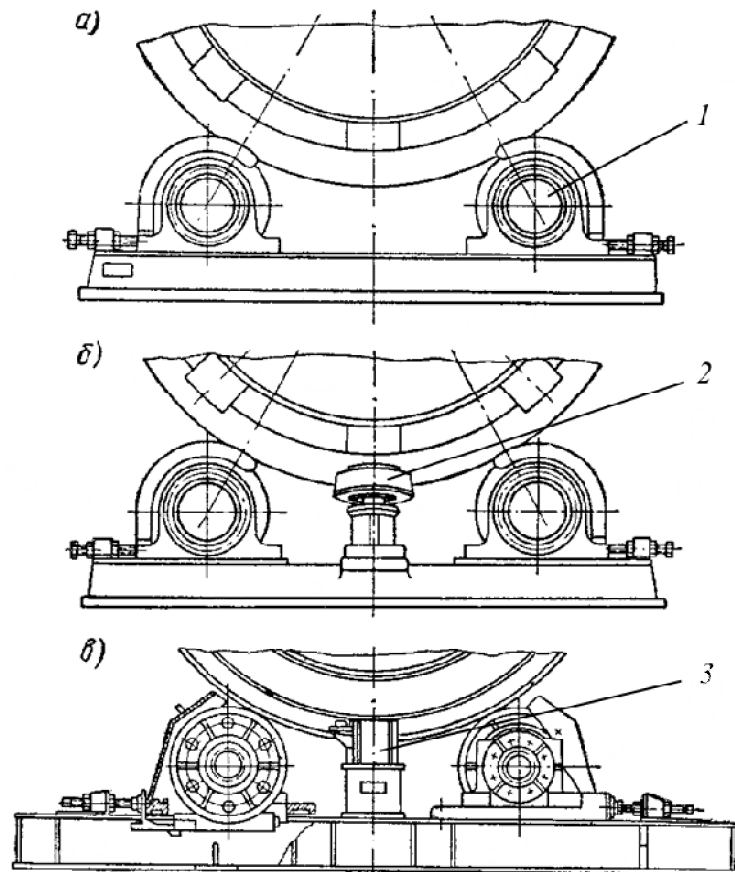


Рис. 9.4. Типовые опорные и опорно-упорные станции:

а – опорная станция; б – опорно-упорная станция; в – опорная станция с предохранителем.

1 – опорный ролик; 2 – упорный ролик; 3 – упор предохранительный

Станция опорная с предохранителем выполняется с упором, который служит для удержания барабана от его осевого смещения в случае поломки упорного ролика (рис. 9.4. в) и устанавливается при числе опорных станций более двух.

На многоопорных печах обжига предохранительные упоры устанавливают с правой и левой стороны одного из бандажей. Упоры связаны между собой стальными тягами, а также жестко закреплены на фундаментной плите. Расстояние между каждым упором и бандажом принимается на 30-50 мм больше ширины зазора между бандажом и упорными (контрольными) роликами.

Выбор необходимого размера станции и отдельных её узлов производится по наружному диаметру барабана и расчётной нагрузке на станцию.

9.2.1. Опорные ролики

Опорные ролики устанавливают симметрично по отношению к вертикали, проходящей через сечение барабана (рис. 9.5).

Расстояние между осями парных роликов обычно выбирают равным сумме радиусов бандажа и ролика, что соответствует углу $2\varphi = 60^\circ$.

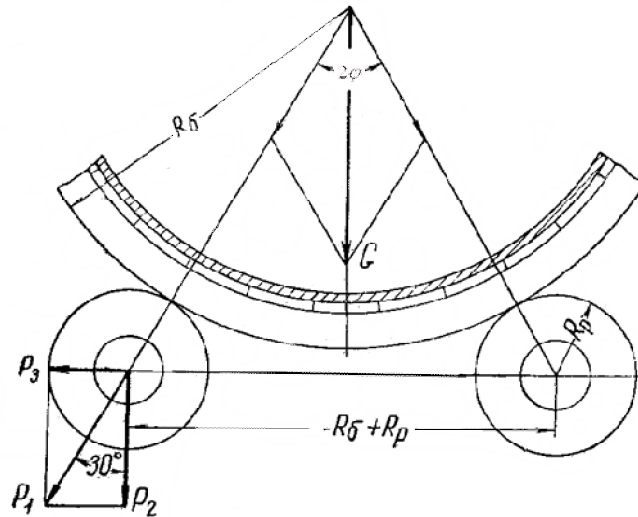


Рис. 9.5. Схема расположения опорных роликов барабанного аппарата

При таком расположении роликов давление на один опорный ролик составит:

$$P_1 = \frac{G}{2 \cos 30^\circ}, \quad (9.2)$$

а давление на один опорный подшипник составит:

$$T = \frac{1,06P_1}{2} = \frac{1,06G}{4 \cos 30^\circ}, \quad (9.3)$$

где G – сила тяжести барабана, приходящаяся на одну опору;

1,06 – коэффициент, учитывающий собственный вес опорного ролика и его оси.

Давление P_1 раскладывается на горизонтальную P_3 и вертикальную P_2 составляющие:

$$P_2 = P_1 \cos \varphi \approx 0,5G, \quad (9.4)$$

$$P_3 = P_1 \sin \varphi \approx 0,3G. \quad (9.5)$$

Вертикальная составляющая P_2 прижимает подшипник ролика к раме, горизонтальная составляющая P_3 сдвигает подшипник наружу от оси барабана. Сила P_2 создает силу трения F :

$$F = fP_2 \approx 0,5fG. \quad (9.6)$$

С учетом силы трения F сила, сдвигающая подшипник P , будет равна:

$$P = P_3 - F \approx 0,3G - 0,5fG, \quad (9.7)$$

где f – коэффициент трения подшипника о раму (чугун по стали), $f = 0,15$.

На усилие P рассчитываются упорные болты и стяжки, служащие для регулирования положения опорных роликов в горизонтальной плоскости.

При конструировании барабанных аппаратов угол 2φ обычно принимается равным 60° . Это обеспечивает необходимую устойчивость барабана на опорах и не вызывает чрезмерно большой силы реакции P_1 .

С уменьшением угла 2φ уменьшается давление на опорный ролик P_1 , но при этом повышается вероятность скатывания барабана с роликов, особенно при пуске аппарата. Слишком большой угол 2φ может привести к защемлению бандажа роликами. В барабанах, имеющих фрикционный привод, угол 2φ увеличивают до $90-100^\circ$.

Учитывая, что находящийся в барабане сыпучий материал во время его работы смещается в сторону вращения барабана, теоретически более правильна была бы установка обоих опорных роликов наклонно (асимметрично) (рис. 9.6).

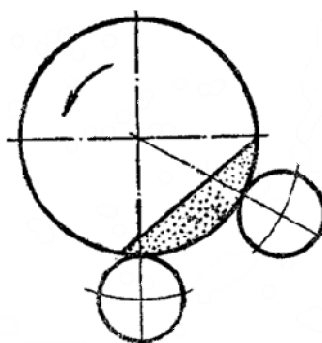


Рис. 9.6. Ассиметричная установка опорных роликов

Однако такая схема установки непригодна, т.к. при случайном изменении направления вращения барабана он может скатиться с роликов, что приведет к аварии.

Для разгрузки опорных роликов их конструктивно можно выполнить двойным роликом (рис. 9.7)

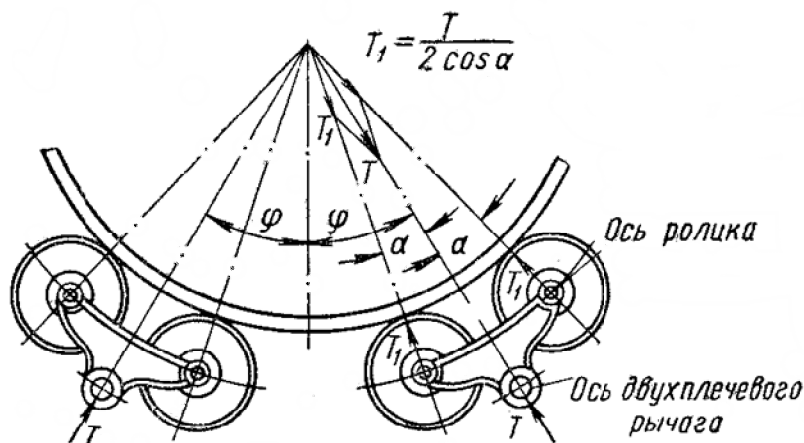


Рис. 9.7. Двойные опорные ролики

Вместо одного ролика бандаж опирается на два ролика, установленных на концах двухплечевого рычага, шарнирно закрепленного посередине на оси. Однако по конструкции двойные ролики сложнее обычных и поэтому не нашли широкого применения.

Опорный ролик состоит из цилиндрической формы тела, оси и двух упорных шайб, свободно насаженных на ось (рис. 9.8). Тело ролика изготавливается из качественной конструкционной стали марок 25, 35 и 40 или из стали 25Л, 35Л с

пределом прочности $\sigma_B \geq 500$ МПа, при этом качество отливок должно быть достаточно высоким.

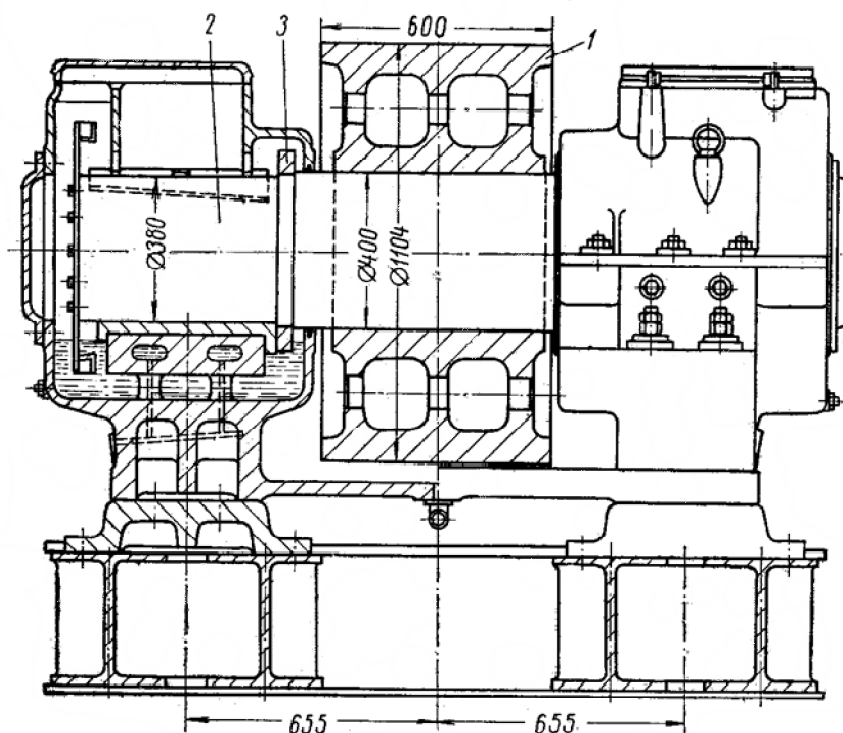


Рис. 9.8. Опорный ролик цементной печи на подшипниках скольжения:
1 – цилиндрическое тело; 2 – ось ролика; 3 – упорная шайба

Твердость поверхности качения роликов должна быть порядка 140-180 НВи на 25-30 единиц твердости меньше, чем твердость поверхности бандажа. Этим обеспечивается более быстрый износ роликов, по сравнению с бандажами, смена которых более затруднительна и требует много затрат времени. В легких барабанах ролики могут изготавливаться чугунами. Соединение ролика с осью осуществляется при помощи прессовой или горячей посадки. Оси роликов изготавливаются из стали марок 40, 45, 40Х, 38ХГН.

Упорные шайбы служат для восприятия осевого усилия, действующего на подшипники. Изготавливают их из оловянистой бронзы, для которой допускаемое удельное давление можно принимать $q = 4$ МПа.

Опорные ролики всех барабанных аппаратов одинаковые по конструкции и отличаются только размерами и весом. У крупных печей диаметр роликов достигает до 1,7 м, ширина – до 1,0 м, масса – до 50 т.

Выход из строя роликов может происходить из-за наличия дефекта в отливке или при значительной перегрузке опор.

Рабочая поверхность роликов изнашивается, что вызывает уменьшение диаметра. Износ по ширине ролика может быть неодинаковым, что приводит к образованию конусности. Образовавшиеся дефекты устраняют при проведении ремонтных работ.

В большинстве конструкций барабанов ширина роликов принимается несколько больше ширины бандажей ($B_p = (1,2 - 1,4)B_\sigma$). Это делается для того,

чтобы при перемещении барабана вдоль оси бандаж не свисал с ролика, что может вызвать его неравномерный износ по ширине.

Оси опорных роликов должны быть параллельны оси корпуса барабана и, следовательно, оси бандажа. Регулировкой роликов достигается не только равномерное распределение давления на все опоры. От правильной регулировки зависит величина силы, действующей вдоль оси барабана и вызывающей его смещение.

Для регулировки положения крупных и тяжелых барабанов на опорах часто прибегают к перекашиванию опорных роликов. При этом можно производить смещение корпуса вдоль оси в обоих направлениях.

Для того, чтобы барабан смог аксиально перемещаться, достаточно перекосить ролики в одну и ту же сторону относительно его оси на небольшой угол β (рис. 9.9, б).

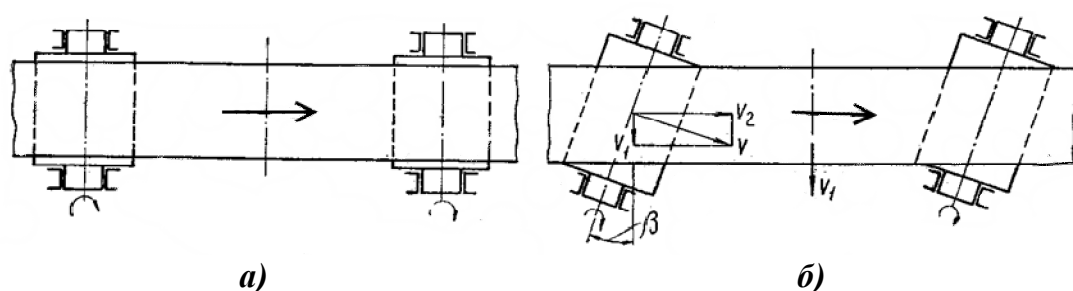


Рис. 9.9. Схемы правильного расположения опорных роликов:

а – ролики параллельны оси барабана; б – ролики перекошены относительно оси барабана в одну и ту же сторону

Скорость вращения каждого из роликов раскладывается на две составляющие скорости V_1 и V_2 , причем $V_1 = V_2 \operatorname{tg} \beta$ и направлена вдоль оси корпуса барабана (V_2 – скорость вращения бандажа).

Так как катящийся по роликам бандаж оказывает на них давление, то при движении каждой точки ролика, соприкасающейся с бандажом, возникает сила трения скольжения между этими двумя деталями. Она смещает бандажи и, следовательно, корпус печи вдоль его оси со скоростью V_1 . Если бы требовалось произвести смещение корпуса вдоль оси в обратном направлении, то ролики нужно было бы повернуть относительно оси корпуса в обратном направлении.

Перекашивание роликов имеет многие отрицательные последствия. Так, например, самперекошенные ролики и бандажи в этом случае имеют повышенный износ, приобретая конусность. Износ и искажение формы опорных деталей является одной из основных причин нарушения прямолинейного расположения корпуса на опорах.

Смещая бандажи, перекошенные ролики силой реакции сами сдвигаются в противоположном направлении, вызывая дополнительное («торцовое») трение в подшипниках. Эта же сила реакции сдвигает плиты опорных роликов по фундаментам барабана, что вызывает необходимость усиливать прочность как самих плит, так и деталей их крепления с фундаментом.

Из-за перекашивания роликов возрастает нагрузка и на приводной механизм.

Чтобы уменьшить отрицательные последствия перекашивания роликов, необходимо их перекашивать только в одном нужном направлении и только то их минимальное количество, которое определяется расчетом. Перекошенные ролики силой трения скольжения должны сдвигать корпус барабана с такой же скоростью, с какой он смещается вниз под действием силы тяжести, направленной вдоль оси.

Условие равновесия корпуса на опорных роликах можно представить, следовательно, уравнением:

$$nfP_1 \geq T, \quad (9.8)$$

где P_1 – давление, производимое на один ролик;

n – количество перекошенных роликов;

f – коэффициент трения между роликами и бандажами (без смазки), равный 0,15-0,20;

T – усилие от массы барабана, направленное вдоль его оси.

Число роликов, подлежащих перекашиванию:

$$n \geq \frac{T}{fP_1}. \quad (9.9)$$

Теоретически угол наклона осей роликов должен составлять менее 1° , практически он часто достигает 2° и более, что резко повышает удельное давление, вызывающее пластические деформации бандажей и роликов, сопровождающиеся "чешуйчатым" износом.

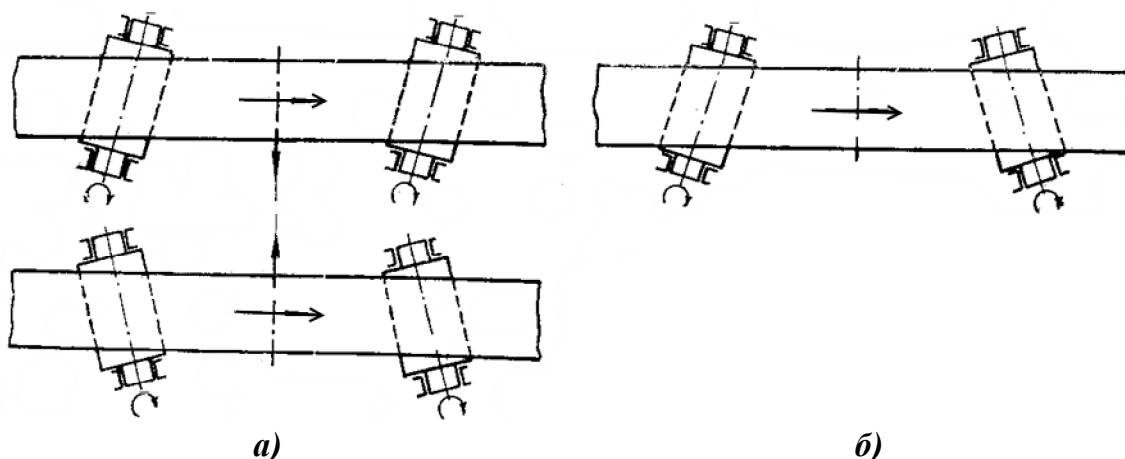


Рис. 9.10. Схемы неправильного (недопустимого) расположения опорных роликов:

а – ролики одной опоры перекошены в одну сторону относительно оси барабана, а другой – в другую; б – ролики одной опоры перекошены в противоположные стороны относительно оси барабана

На рис. 9.10 приведены две схемы расположения роликов на опорах, применение которых запрещено правилами технической эксплуатации. При перекашивании роликов на одной опоре вправо, а на соседней влево (рис. 9.10, а), их действие на бандаж уравнивается и смещение корпуса по роликам не происходит. При перекашивании одного ролика на опоре в одну сторону, а другого в противоположную (рис. 9.10, б) также не достигается нужного результата.

9.2.2. Упорные ролики

Так как барабаны расположены наклонно под углом α , то вдоль оси будет действовать сила, равная:

$$T = mg \sin \alpha, \quad (9.10)$$

где m – полная масса барабана;

g – ускорение свободного падения;

α – угол наклона барабана к горизонту.

Осевая сила будет возникать также и у горизонтально установленных барабанов при условии перекоса опорных роликов. Эта сила будет стремиться сдвинуть барабан вдоль оси и должна быть воспринята каким-нибудь упорным устройством. В простейшем случае таким упорным устройством может служить опорный ролик с ребрами (рис. 9.11). Однако они пригодны лишь для легких, горизонтально установленных барабанов.

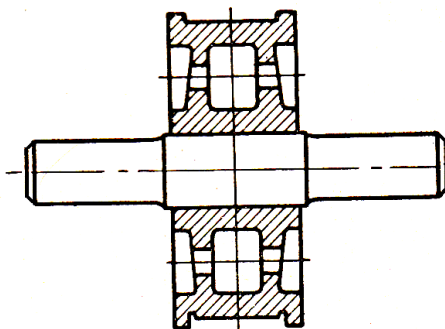


Рис. 9.11. Опорный ролик с ребрами

Опорные ролики с ребрами имеет, например, одна из опорных станций содовых печей со стороны загрузочного конца печи.

Более совершенным устройством являются упорные ролики, устанавливаемые у бандажа, ближайшего к приводу, на таком расстоянии один от другого, при котором зазор между каждым роликом и бандажом, занимающим среднее положение между роликами, равен 20-60 мм. Упорные ролики представляют собой диски сферической или конической формы, расположенные с обеих сторон бандажа. Сферические упорные ролики применяются только в легких вращающихся барабанах, т.к. они могут воспринимать сравнительно небольшую нагрузку.

Наиболее широкое распространение получили конические ролики (рис. 9.12), которые представляют собой два диска (1), укрепленных на двух вертикальных осях (2), расположенных в стойках (3).

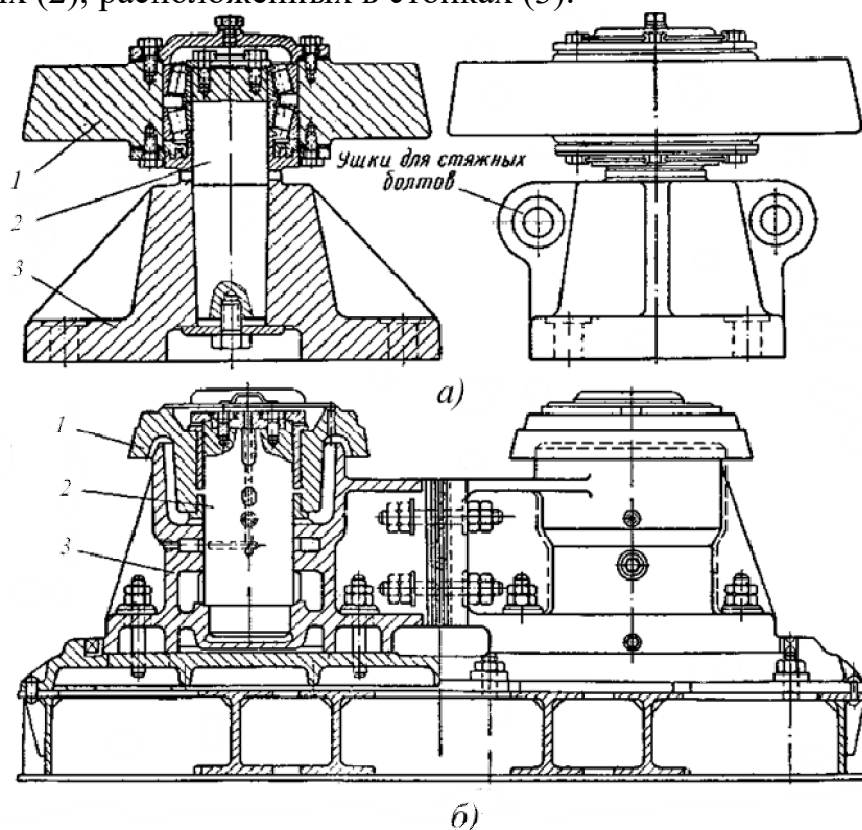


Рис. 9.12. Конструкция упорных роликов:
1 – конический диск; 2 – ось ролика; 3 – стойка

Конические ролики могут устанавливаться по двум вариантам (рис. 9.13). В первом случае (рис. 9.13, а) ось ролика перпендикулярна оси вращения барабана. Такая конструкция упрощает установку ролика, но возникает необходимость обработки на конус боковой поверхности бандажа, что удорожает конструкцию.

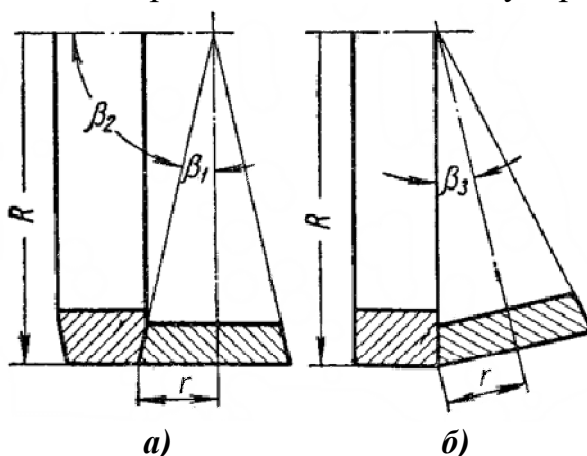


Рис. 9.13. Схемы установки конических упорных роликов:
а – ось ролика перпендикулярна оси вращения барабана; б – ось ролика наклонена по отношению к оси вращения барабана

Во втором варианте (рис. 9.13, б) ось ролика наклонена под некоторым углом к оси вращения барабана. В этом случае отпадает необходимость в обработке торцов бандажа, что не только упрощает конструкцию, но и делает её взаимозаменяемой. Аналогичная конструкция упорных роликов имеет широкое применение и в зарубежной практике, оправдавшая себя при эксплуатации.

Упорные ролики часто называют контрольными, т.к. при помощи их контролируют положение барабана на опорах. Это их основное назначение.

В пределах принятого зазора бандаж вместе с корпусом смещается по опорным роликам, не соприкасаясь с контрольными.

При дальнейшем смещении корпуса бандаж производит давление на контрольный (упорный) ролик, который начинает вращаться, сигнализируя о максимально допустимом смещении корпуса вдоль оси и о необходимости принять меры к восстановлению равновесия его на опорах.

Упорные ролики не являются постоянными упорами, противодействующими смещению корпуса по опорам вверх или вниз, но временно играют эту роль, поэтому они должны быть прочными, чтобы выдерживать давление, производимое на них бандажом, пока корпус не будет установлен в среднее положение.

Упорные ролики монтируют на одной фундаментной плите с опорными. Подшипники их соединяются между собой двумя стяжками.

Изготавливают упорные ролики из стали 35, 35Л, для легких барабанов – из стали Ст.5. Угол скоса рабочих поверхностей роликов β принимается равным 18° .

Все перечисленные явления можно устранить с помощью опорных роликов, устанавливаемых параллельно оси печи, при восприятии осевого усилия специальными гидроупорами, связанными с упорными роликами. Такие гидроупоры устанавливаются, например, на некоторых цементных печах. Единая для всех гидроупоров, установленных на нескольких опорах, гидравлическая система питается двумя расположенными параллельно насосными группами.

На этих печах при осевом перемещении в пределах 50 мм обеспечивается равномерный износ поверхностей качения бандажей и опорных роликов. У бандажа приводной опоры в обоих крайних положениях печи установлены электрические контакты. При достижении бандажом нижнего электрического контакта включается насосный агрегат, и давление в маслосистеме возрастает, создавая усилие в гидроцилиндрах, превышающее осевое усилие печи. Печь в течение 12-24 часов поднимается до верхнего электроконтакта, после чего насосная установка выключается. При движении печи вниз масло из цилиндров стекает в баки насосов. Перемещение печи может производиться насосными агрегатами с пульта управления автоматически или вручную.

Станция контрольных роликов (рис. 9.14) состоит из упорного ролика (2), гидравлического домкрата (1) и направляющих (3).

Печи с гидроупорами могут работать при смазанных поверхностях качения бандажей и опорных роликов, что позволяет снизить расход электроэнергии на 10-15 % по сравнению с агрегатами, работающими на сухих бандажах и роликах. Установка гидроупоров позволяет также резко снизить вес фундаментных рам и уменьшить размеры опорных роликов.

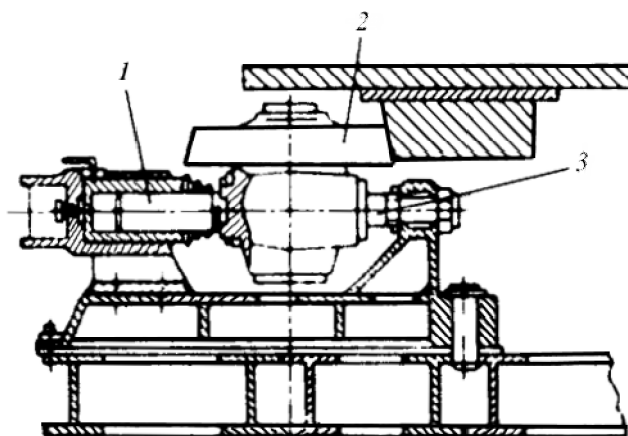


Рис. 9.14. Гидроупорное устройство:
 1 – гидравлический домкрат; 2 – упорный ролик; 3 – направляющая

9.2.3. Подшипники роликов

Конструктивно опорные и упорные ролики выполняются как на подшипниках скольжения, так и на подшипниках качения.

Применение подшипников качения вместо подшипников скольжения позволяет:

- снизить затраты мощности на вращение барабанов;
- более плавно включать агрегат в работу и более плавно переводить его с одной скорости вращения на другую, что благоприятно отражается на стойкости футеровки;
- уменьшить длину оси опорного ролика и вместе с этим уменьшить ширину всей опоры и габариты опорных станций;
- снизить нагрев подшипников;
- снизить стоимость эксплуатации опор примерно на 30% по сравнению с опорами с подшипниками скольжения;
- упрощается монтаж и демонтаж опорных станций.

Подшипники роликов работают в тяжелых условиях вследствие следующих причин:

- неравномерное распределение давления на опоры;
- загрязнение смазки подшипников абразивными механическими примесями;
- нагрев подшипников теплом, излучаемым корпусом горячих барабанов;
- трудно получить режим жидкостного трения между трущимися поверхностями цапфы ролика и вкладыша вследствие малой окружной скорости цапфы (до 0,06 м/сек) и др.

Удельное давление на вкладыши подшипников при равномерном распределении нагрузки на опоры не превышает 2,5-3,0 МПа. Для изготовления вкладышей подшипников обычно применяют алюминий-железомарганцовистую бронзу, при обязательной поверхностной закалке шеек до твердости HRC 45-50. Допускаемое удельное давление для данного материала рекомендуется принимать не свыше 4,0 МПа.

Торцы вкладышей подшипников защищаются от износа путём наложения на них сменных бронзовых накладок.

В современных конструкциях ролики обычно проектируются на подшипниках качения. С этой целью применяются в основном роликоподшипники радиальные двухрядные или конические (рис. 9.15).

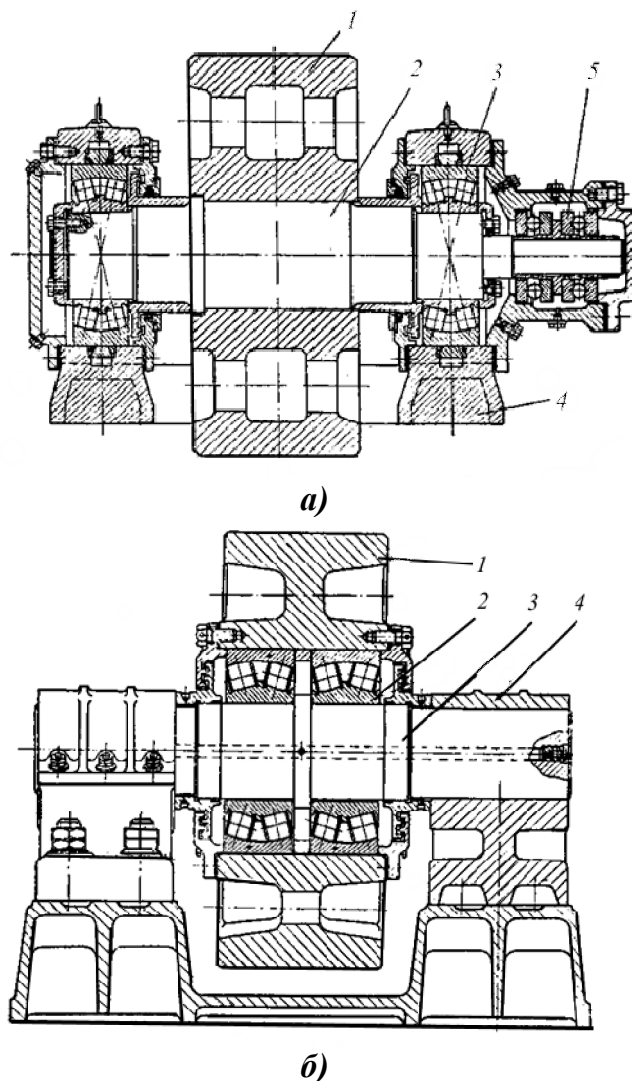


Рис. 9.15. Опорные ролики на подшипниках качения:

- а** – ролик с отдельно установленным подшипником: 1 – ролик; 2 – ось ролика; 3 – радиальный двухрядный подшипник; 4 – корпус подшипника; 5 – упорный подшипник;
- б** – ролик со сдвоенным подшипником: 1 – ролик; 2 – двухрядный сферический подшипник; 3 – ось ролика; 4 – клеммовый зажим

Упорные ролики барабанов монтируются на радиально-упорных конических роликоподшипниках. Номер подшипника определяется расчетным путем по коэффициенту работоспособности.

Барабанные аппараты изготавливаются с подшипниками опорных роликов, имеющих конструкцию сдвоенных, т.е. оба подшипника объединены в один общий опорный узел (рис. 9.15, б) или с отдельно установленными подшипниками (рис. 9.15, а). Сдвоенными подшипниками оборудуются многие крупные барабаны, что облегчает правильную установку и регулировку роликов.

Подшипники горячих барабанов часто имеют экраны против теплового излучения, корпуса их охлаждают проточной водой. Для смазки подшипников применяют как жидкие смазочные масла, так и консистентные смазки.

9.2.4. Бандажи

Бандажи представляют собой кольца прямоугольного или квадратного сечений. В практике эксплуатации барабанных аппаратов встречаются еще бандажи коробчатой формы, которые в настоящее время не изготавливаются.

Бандажи изготавливаются из качественной углеродистой стали 35Л, 40Л, 45Л или из стали 40, 45, при этом применяется мартеновская или электросталь. Применение бессемеровской стали не допускается. Твёрдость поверхности бандажей должна составлять не менее 220 НВ.

Существует несколько способов крепления бандажей на барабанах. При диаметре бандажей не более 1,0 м они могут при помощи горячей посадки насаживаться на горловины барабанов (рис. 9.16).

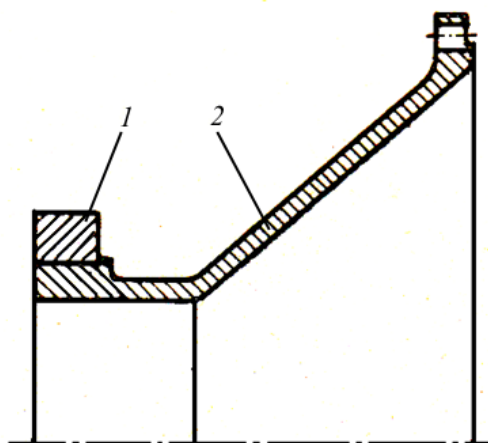


Рис. 9.16. Крепление бандажа на горловине барабана:
1 – бандаж; 2 – горловина корпуса

В других конструкциях они имеют болтовое крепление к специальному фланцу.

Наибольшее распространение получила так называемая свободная посадка бандажей при помощи башмаков (рис. 9.17). Посадка бандажей не непосредственно на обечайку, а на чугунные башмаки снижает теплоотдачу от корпуса к бандажу, способствует сохранению средней постоянной температуры бандажа и частично устраняет возможность возникновения в нем дополнительных внутренних напряжений при изменении температурного режима.

Число башмаков зависит от размера барабана и составляет 12-24 штук. Башмаки через один повернуты головками в разные стороны и должны располагаться вдоль корпуса на одной линии. Под башмаки подкладываются усиливающие подкладки (кольца жесткости) и регулирующие прокладки, служащие для центровки бандажей по отношению к барабану.

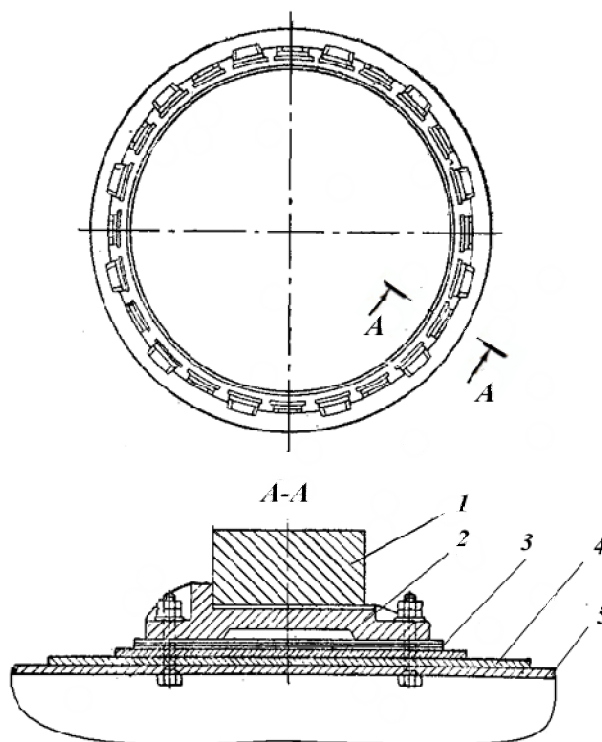


Рис. 9.17. Крепление бандажа на башмаках:
 1 – бандаж; 2 – башмак; 3 – регулирующие прокладки;
 4 – пояс жесткости; 5 – стенка барабана

К барабану башмаки крепятся при помощи болтов с простыми или потайными головками, заведенными с внутренней стороны барабана.

В некоторых конструкциях применяются башмаки, изготовленные из стали, которые крепятся к корпусу барабана электросваркой (рис. 9.18). Такая конструкция отличается простотой, но затруднительна смена бандажа.

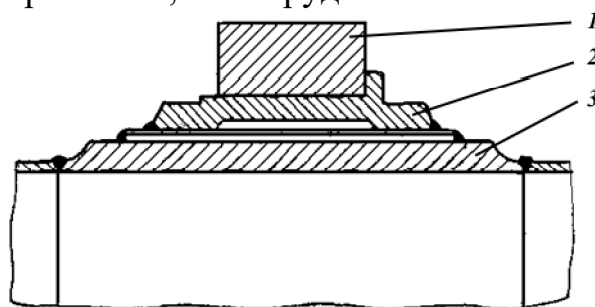


Рис. 9.18. Крепление башмака к корпусу барабана электросваркой:
 1 – бандаж; 2 – башмак; 3 – подбандажная обечайка

Институтом «Гипроцемент» разработана посадка бандажей цементных печей на башмаки в виде плоских пластин. Роль упоров выполняют кольца квадратного сечения, которые приваривают к башмакам. Жёсткость колец усиливают при помощи ребер-упоров, устанавливаемых на каждый башмак (рис. 9.19, а). Заводом «Полизиус» (ФРГ) разработана конструкция посадки бандажей по схеме, показанной на рис. 9.19, б.

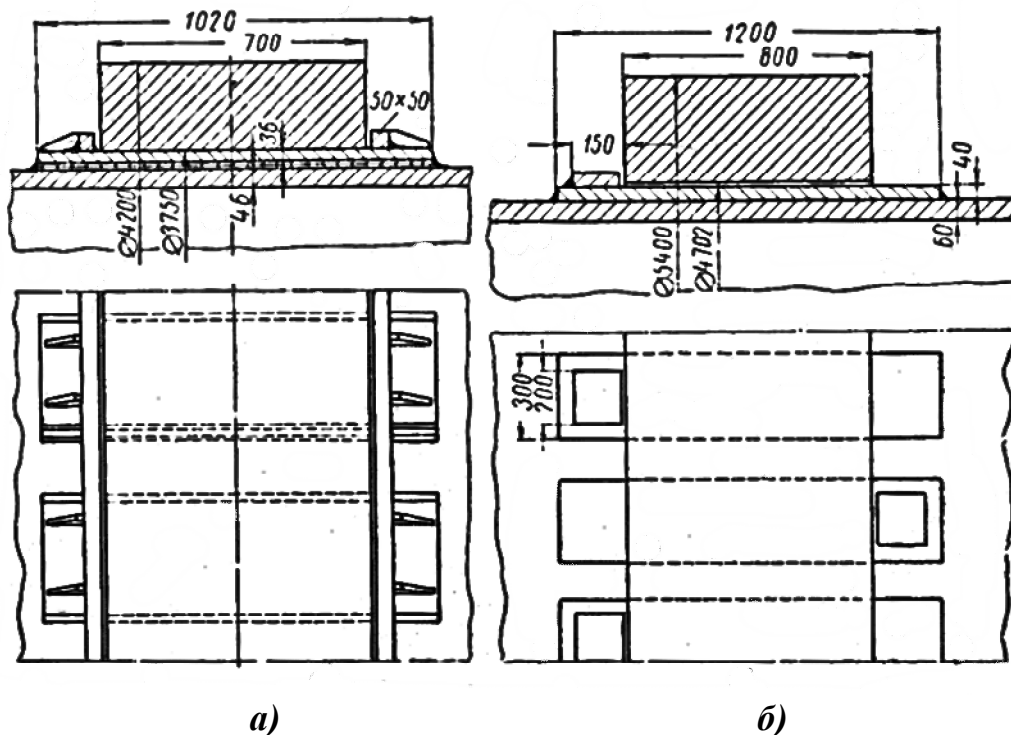


Рис. 9.19. Схема посадки бандажей на корпуса цементных печей:
 а – конструкция Гипроцемента; б – конструкция завода «Полизиус» (ФРГ)

Упорами здесь служат не кольца, а отдельные накладки, приваренные к башмакам. Такая конструкция выгодно отличается своей простотой.

Важным требованием к способу посадки бандажей является обеспечение равномерного распределения давления бандажа на башмаки и упоры, что обеспечивает в значительной степени долговечность работы узла.

Бандажи при монтаже барабана должны устанавливаться параллельно между собой и зубчатым венцом, а плоскость, проходящая через их середину, должна быть перпендикулярна геометрической оси барабана.

При свободной посадке бандажей на горячие барабаны необходимо предусматривать температурные зазоры, т.к. величина линейных деформаций корпуса и бандажей будет различной. Несоблюдение этого требования может привести к появлению чрезмерно больших краевых напряжений, которые могут сказаться на целостности отдельных деталей и вызвать выкрашивание футеровки.

Разница между приращением диаметра корпуса и бандажа учитывают при выборе толщины башмаков. Величина температурного зазора определяется по следующей формуле:

$$\Delta = \alpha [(t_1 - t_B) D_K - (t_2 - t_B) D_B], \quad (9.11)$$

где α – коэффициент линейного расширения;

t_1, t_2 – средняя температура барабана и бандажа в месте его посадки, соответственно;

t_B – температура окружающей среды;

D_K, D_B – наружный диаметр корпуса и внутренний диаметр бандажа, соответственно.

Величина температурного зазора у крупных цементных печей в зоне спекания достигает примерно 3-5мм.

При работе барабана внутренний диаметр бандажей увеличивается за счёт их раскатывания, что ведет к ухудшению условий работы барабана, является причиной разрушения футеровки. При этом наблюдается смещение бандажей относительно башмаков, сопровождаемое трением их боковой поверхности об упоры, что вызывает их износ. Кроме того, при работе барабанов имеет место проскальзывание корпуса относительно бандажей, что также вызывает их износ и увеличение зазора.

Критической величиной, требующей остановки агрегата и установки под башмаки дополнительных прокладок, является отставание бандаж от корпуса на 5 мм за один оборот барабана.

На рис. 9.20 показано так называемое шлицевое крепление бандаж, что позволяет устранить явление раскатывания и проскальзывания.

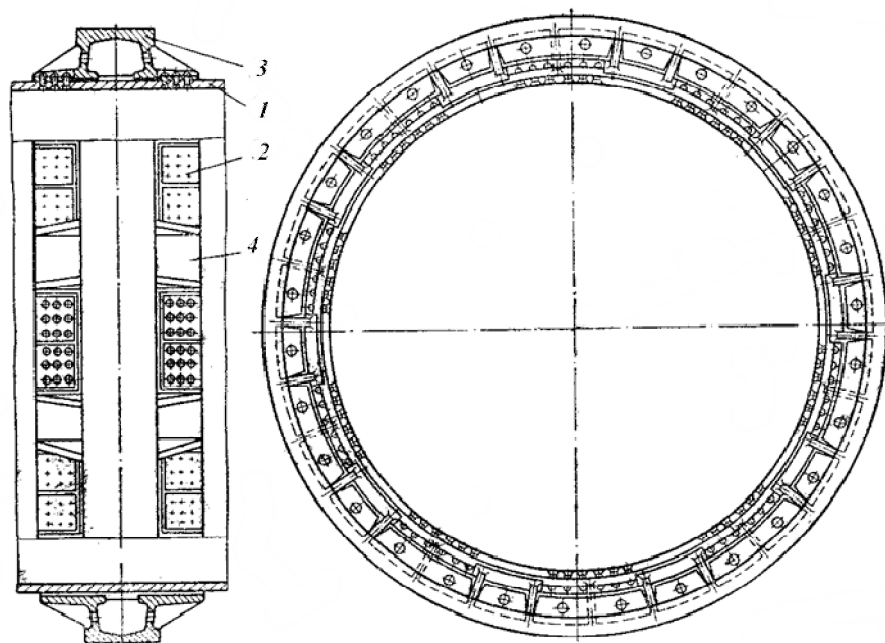


Рис. 9.20. Шлицевое крепление бандаж:

1 – корпус барабана; 2 – накладки; 3 – бандаж; 4 – выступы

Бандаж хотя и надевается с температурным зазором, но вращаться может с той же угловой скоростью, что и барабан. Для этого между приливами бандаж вставляются пластинки, прикреплённые к барабану.

Явление раскатывания особенно сильно сказывается на бандажих быстровращающихся аппаратов, что привело к разработке конструкции, позволяющей подтягивать бандажих (рис. 9.21).

Для этого внутреннюю поверхность бандажих и башмака обрабатывают с конусностью равной 0,05-0,06. Периодической подтяжкой болтов восстанавливают необходимую посадку бандажих. Однако эта конструкция не нашла широкого применения.

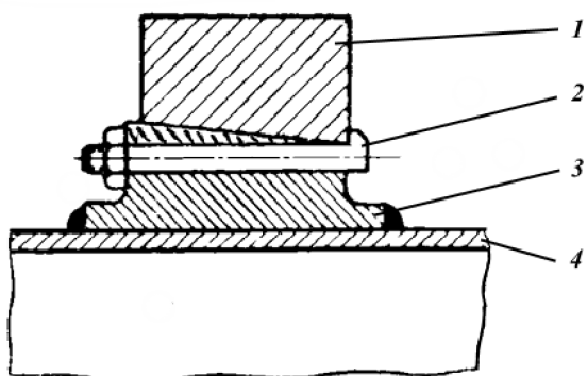


Рис. 9.21. Конструкция крепления бандажа, обеспечивающая возможность его подтягивания:

1 – бандаж; 2 – болт; 3 – башмак; 4 – подбандажная обечайка

В некоторых конструкциях крупногабаритных барабанных аппаратов крепление бандажей осуществляется непосредственно на утолщённой обечайке без промежуточных башмаков и прокладок (рис. 9.22, б) или бандаж вваривается непосредственно между обечайками барабана (рис. 9.22, а).

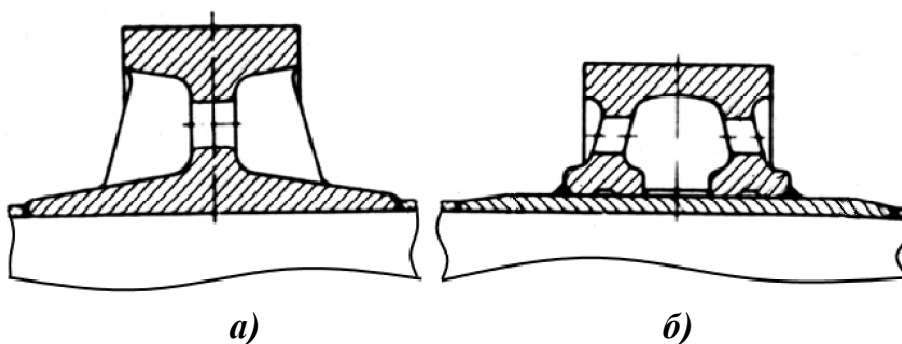


Рис. 9.22. Конструкции узла крепления бандажей:

а – для барабанов диаметром до 1600 мм; б – диаметром свыше 1600 мм

При этом достигается уменьшение веса бандажей на 15-20%.

Бандажи крупных барабанных аппаратов достигают значительных размеров и массы. Так, у цементной печи 4,5 x 170 м диаметр бандажа составляет 5400 мм, ширина – 700 мм, вес – 33 т.

В связи с возрастанием размеров бандажей возникла необходимость изготавливать их из нескольких частей, транспортировать на место монтажа барабанного аппарата и здесь уже соединять при помощи электросварки.

Бандажи являются наиболее ответственными деталями барабанных вращающихся аппаратов. Выход из строя бандажа влечет за собой длительный простой в ремонте, если ремонт связан с заменой бандажа. Эта операция достаточно сложная, трудоемкая, дорогостоящая, ослабляющая корпус. Например, для замены одного из средних бандажей в многоопорной конструкции барабана приходится вырезать часть прилегающей обечайки корпуса, заменить бандаж и снова вварить эту часть корпуса.

Замена бандажей производится, если износ их поверхностей качения превышает 20%.

Причинами замены являются сквозные трещины, конусность до 50 мм, быстро прогрессирующий раскат.

Небольшая конусность и мелкие дефекты поверхности качения устраняются путем протачивания бандажей с помощью суппорта, установленного на раме.

Проектная долговечность бандажей составляет 15-20 лет.

9.3. Привод барабанных аппаратов

Привод барабанных аппаратов включает электродвигатель и передаточные механизмы. Электродвигатель, редуктор и подвенцовая шестерня образуют приводную станцию.

Привод барабанных аппаратов осуществляется при помощи цилиндрической зубчатой передачи. Одним из основных требований к рабочим элементам привода является обеспечение наибольшей надежности в работе. Этот принцип должен быть положен при разработке всех основных узлов привода.

Кинематическая схема привода имеет следующий вид (рис. 9.23).

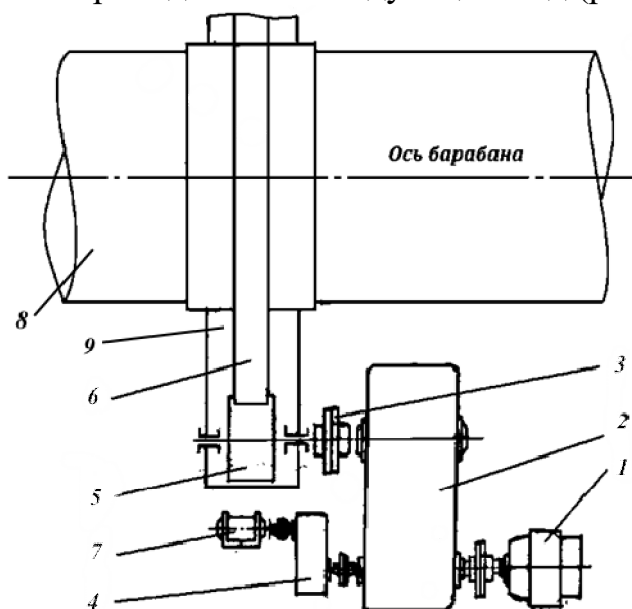


Рис. 9.23. Кинематическая схема привода аппарата с вращающимся барабаном:

1 – основной электродвигатель; 2 – редуктор основного привода; 3 – зубчатая муфта; 4 – редуктор вспомогательного привода; 5 – подвенцовая шестерня; 6 – зубчатый венец; 7 – электродвигатель вспомогательного привода; 8 – барабан; 9 – кожух

Вращение от электродвигателя (1) к редуктору основного (2) и вспомогательного привода передается чаще всего через упругую муфту типа МУВП. Передача крутящего момента от тихоходного вала редуктора к подвенцовой шестерне (5), находящейся в зацеплении с зубчатым венцом (6), осуществляется при помощи зубчатой муфты (3), которая должна компенсировать несоосность вала редуктора и подвенцовой шестерни.

Заданное число оборотов барабана обеспечивается изменением передаточного числа редуктора за счёт смены одной из пар зубчатых шестерён или за счёт изменения числа оборотов электродвигателя.

Барабанные аппараты с числом опорных станций более трех кроме основного имеют ещё и вспомогательный привод, который предназначается для медленного (1-4 об/час) вращения барабана, когда необходимо, например, повернуть его на определенный угол при ремонте, футеровке и т.п.

Медленное проворачивание разогретой печи позволяет избежать провисание корпуса в зоне наивысшей температуры при внезапной остановке основного привода.

Мощность, потребляемая вспомогательным приводом, незначительна. Значительная по величине мощность приводного электродвигателя при малых числах оборотов барабана вызывает большое окружное усилие на зубьях венцовой передачи. Поэтому модуль шестерен крупных барабанов достигает 40-50 мм.

Направление вращения подвенцовой шестерни венцовой передачи должно обеспечивать направление составляющей окружного усилия вверх как от главного, так и вспомогательного привода, что позволяет частично разгрузить опорные станции аппарата от окружного усилия. С этой целью подвенцовая шестерня устанавливается так, чтобы линия, соединяющая центры венца и шестерни, составляла с вертикальной осью барабана угол 40° (рис.9.24).

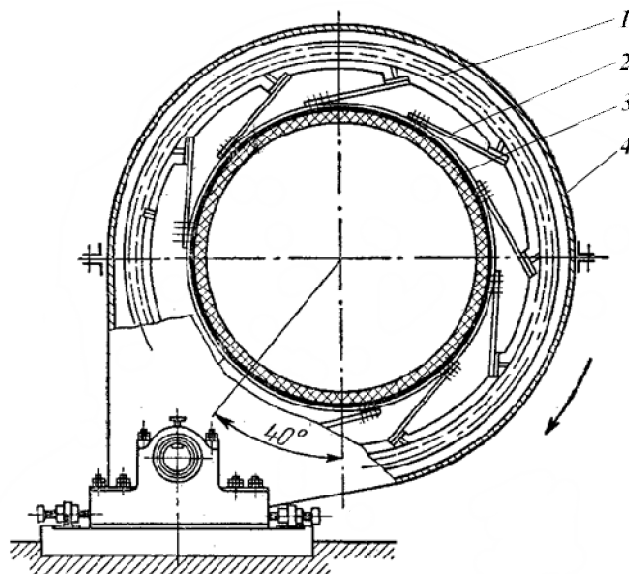


Рис. 9.24. Крепление зубчатого венца к барабану при помощи тангенциально расположенных пружин:

1 – зубчатый венец; 2 – плоская пружина; 3 – корпус барабана; 4 - кожух

Соотношение между диаметром венца и диаметром корпуса у крупных барабанов составляет 1,4-1,7. Это вызвано необходимостью несколько снизить окружное усилие, которое испытывают зубья венцовой передачи, и улучшить условия работы и обслуживания приводного механизма.

Некоторые крупные цементные печи оснащаются двумя основными приводами и двумя вспомогательными.

9.3.1. Венцовая зубчатая передача

Зубчатые венцы изготовляют из сталей марок 35Л, 45Л, 50Л, 40ГС, ХГСЛ и др. или из чугуна марки СЧ21 – для легких барабанов. После отливки стальные венцы подвергают нормализации и высокому отпуску для снятия остаточных напряжений.

Вес зубчатых венцов привода крупных барабанов достигает несколько десятков тонн. Например, вес венца цементной печи 4,5х 170 м составляет 68 т, диаметр – 7,0 м, ширина – 700 мм.

Подвенцовые шестерни изготовляют из поковок, качественных углеродистых сталей 45, 50, хромистых сталей 40Х, 45Х. Для легких двухопорных аппаратов используют углеродистую сталь обыкновенного качества Ст.5.

Для обеспечения хорошей приработки зубьев и одинаковой стойкости их против износа рекомендуется для венца и шестерни выбирать такое сочетание марок сталей, при котором поверхностная твердость зубьев подвенцовой шестерни превышала бы поверхностную твердость зубьев венца на 20-70 единиц по Брюнелю. Валы подвенцовых шестерен изготовляют из стали марки 45.

Подвенцовые шестерни подвергаются закалке до твердости НВ 240-280, а их валы нормализации до НВ 156-217.

Зацепление в венцовой передаче должно быть регулируемое, путем перемещения подвенцовой шестерни с последующей жесткой фиксацией её упорными болтами. Зубья венцовой передачи должны быть фрезерованными; угол зацепления 20° . Передача должна находиться в закрытом разъемном кожухе, нижняя часть которого служит резервуаром (ванной) для смазки зацепления.

Для уменьшения скручивания корпуса во время его вращения зубчатый венец располагают на одинаковом расстоянии от загрузочного и разгрузочного концов, но в непосредственной близости к одной из опор. Это позволяет уменьшить изгибающий момент от массы венца, увеличивающий напряжение в корпусе.

На работоспособность венцовой передачи, кроме удельного давления, большое влияние оказывает точность зацепления, сохранение параллельности валов шестерен и оси барабана, качество смазки и др. Проектный срок службы зубчатых венцов составляет 10-15 лет и более.

Крепление венца к корпусу барабана должно обеспечивать передачу значительного крутящего момента при условии свободного изменения диаметра барабана при его нагревании или охлаждении, наименьшей теплопередачи от корпуса к венцу и исключения местных деформаций барабана от окружного усилия.

На практике находят применение жесткое и гибкое крепление венца. Гибкое крепление осуществляется в двух вариантах: при помощи тангенциально расположенных плоских пружин (рис. 9.24) или при помощи пружин, установленных вдоль образующей корпуса (рис. 9.25). По первому способу крепление осуществляется при помощи 8-12 плоских пружин толщиной от 16 до 30 мм.

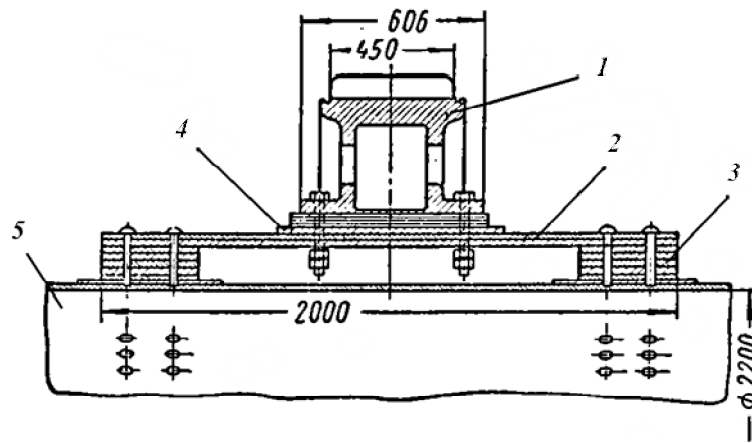


Рис. 9.25. Крепление зубчатого венца к барабану при помощи пружин, расположенных вдоль образующей корпуса:

1 – зубчатый венец; 2 – плоская пружина; 3 – пакет из пластин;
4 – регулирующие прокладки; 5 – корпус барабана

Пружины расположены на корпусе на одинаковом расстоянии одна от другой и направлены по касательной к нему. Одним концом пружины крепятся к корпусу, а вторым присоединяются к специальным приливам венца. Венец при этом оказывается подвешенным над корпусом. Такое крепление обеспечивает большую унификацию благодаря использованию венца на ряде диаметров барабана, что осуществляется за счёт изменения длины пружин и обеспечивает, наряду с этим, мягкость и плавность работы передачи и благоприятно сказывается на стойкости футеровки. Однако при этом способе крепления затруднительна центровка венца по отношению к корпусу и усложняется конструкция венца из-за наличия приливов.

Во второй конструкции узла крепления венца к барабану плоские пружины расположены вдоль оси корпуса. Венец устанавливается на 12-24 пружины (2), опирающиеся на собранные из листовой стали пластины (3). Пружины предварительно вальцуют по внутреннему радиусу венца. Длина пружин принимается в 1,5-2 раза больше ширины венца. Венец крепится к пружинам болтами. Центровка достигается за счёт регулирующих прокладок (4), которые помещают между венцом и пружинами. Конструкция достаточно проста и обеспечивает легкую центровку. Недостатком этого способа является меньшая гибкость соединения при передаче мощности. Кроме того, при температурных изменениях диаметра барабана пружины будут деформироваться и нагружать барабан изгибающим моментом, действующим в плоскости оси его вращения. При недостаточной жесткости барабана это может привести к разрушению футеровки.

Жесткое крепление венца находит применение у холодных барабанов и у барабанов, температура которых во время работы изменяется незначительно и, следовательно, отсутствует опасность возникновения температурных напряжений. Венец закрепляется на стойках (рис. 9.26).

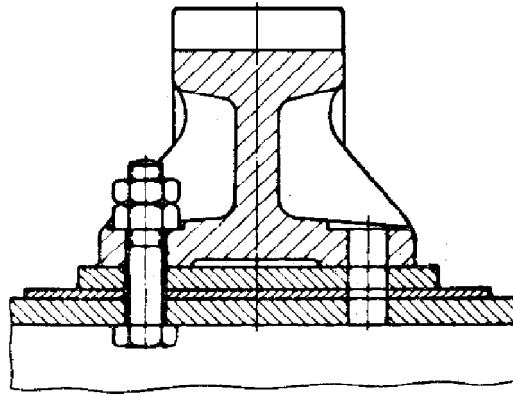


Рис. 9.26. Жесткое крепление венца к барабану

Каждая стойка передает часть усилия, возникающего от давления, на зубья венца. Окружное усилие на зубьях венца вызывает местный изгибающий момент в барабане, который стремится деформировать корпус. Это явление тем значительнее, чем выше стойки. Недостаточная жесткость барабана может служить причиной разрушения футеровки вблизи крепления венца.

В некоторых конструкциях цементных печей посадка зубчатого венца на корпус барабана осуществляется по схеме, показанной на рис. 9.27.

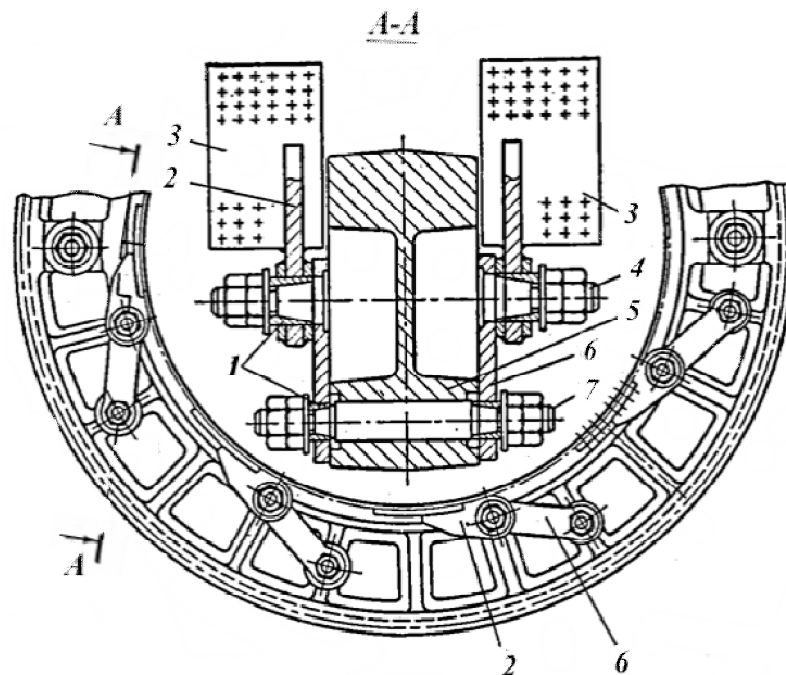


Рис. 9.27. Схема посадки зубчатого венца на корпусе печи 4,5 x 170 м:
 1 – втулки; 2 – кронштейны; 3 – пластины; 4 – установочные болты; 5 – венец; 6 – промежуточные пластины; 7 – пальцы

На ободе венца этих печей имеются приливы (5), расположенные на одинаковом расстоянии один от другого и приблизительно посередине между внешней и внутренней поверхностями обода. Венец подвешивается к корпусу печи на плоских кронштейнах (2). Кронштейны, установленные парами (один справа, а другой слева от венца), приварены к стальным пластинам (3), которые соединены с корпусом печи. Венец на кронштейны подвешивается с помощью

установочных болтов (4), пальцев (7) и промежуточных стальных пластин (6). В кольцевые зазоры между обработанными на конус установочными болтами и промежуточными пластинами, а также между пальцами и кронштейнами вставлены разъемные втулки (1) клиновидной формы.

После проверки венца на точность расположения относительно центра сечения затягивают гайки установочных болтов и пальцев. Сила трения между втулками и соприкасающимися с ними другими деталями крепления препятствует смещению венца относительно корпуса печи.

Наиболее распространенным дефектом сборки приводного механизма является эксцентричная посадка венца на барабан. Глубина зацепления зубьев при этом изменяется за время одного оборота, происходит радиально направленное скольжение зубьев, сопровождаемое сильным давлением, вызывающее вибрацию корпуса. При этом изменяется также степень перекрытия или продолжительность зацепления между зубьями. При сильной эксцентричности венца может даже нарушиться непрерывность зацепления между зубьями. Это явление может наблюдаться при значительном прогибе корпуса в пролете, на котором установлен венец.

Зубья венца и шестерни рассчитывают на выносливость по напряжениям изгиба. При этом в качестве расчетной нагрузки принимают крутящий момент на валу ведущей шестерни. После определения модуля зацепления передачи производится проверка прочности зубьев на выносливость.

В конструкции приводных механизмов цементных печей часто применяют универсальный шпindel (рис. 9.28) для шарнирного соединения валов, редуктора и подвенцовой шестерни.

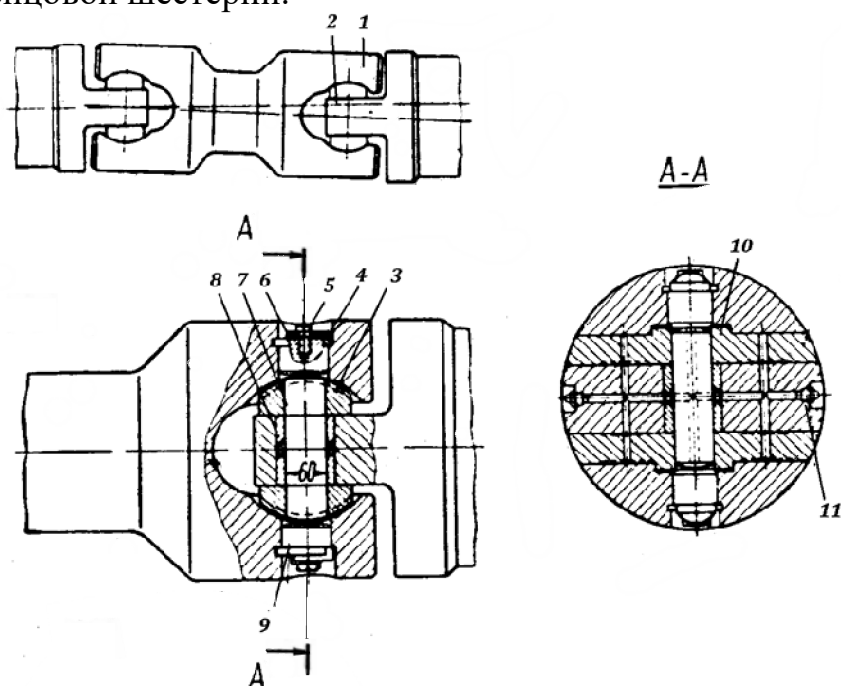


Рис. 9.28. Схема универсального шпинделя привода крупногабаритных барабанных аппаратов:

- 1 – вилка; 2 – полумуфта (лопасть); 3 – вкладыш; 4 – стопорная шайба; 5 – болт; 6 – стопорная планка; 7 – сухарь; 8 – втулка; 9 – пробка; 10 – выступ вкладыша; 11 – отверстие для смазки

Концы шпинделя имеют форму вилок (1), в которые входят концы полумуфт, имеющие форму лопастей (2). Полумуфты жестко посажены на концы соединяемых валов. Соединение лопасти вала с вилкой осуществляется при помощи двух вкладышей (3) и сухаря (7).

При несоосности валов и, следовательно, наклона шпинделей к оси вала ведущей шестерни происходит относительное перемещение рабочих поверхностей вкладыша, вилки и лопасти полумуфты, а также втулки и сухаря, сопровождающееся трением соприкасающихся поверхностей этих деталей. Для снижения трения и износа применяют смазку.

9.3.2. Электродвигатели и редукторы

Электродвигатель привода должен быть единой серии, с питанием от сети трёхфазного тока, асинхронный. Все типы электродвигателей должны выполняться в закрытом обдуваемом исполнении, в чугунном корпусе с горизонтальной станиной на лапах. Изменение числа оборотов барабана производится посредством ввода в цепь обмотки ротора сопротивления регулировочного реостата (электродвигатели с фазовым ротором), или путем изменения числа пар полюсов статора электродвигателя (двигатели с короткозамкнутым ротором). Мощность устанавливаемых электродвигателей принимается в соответствии с каталожными данными электродвигателей, единой серии.

Рекомендуется принимать электродвигатели с короткозамкнутым ротором с повышенным пусковым моментом типа АОП или АО.

Редуктор является одним из основных элементов в передаче. Применяются обычно трехступенчатые редукторы с передаточным числом, достигающим до 90 и более. Широко применяются редукторы типа РЦТ. Редукторы вспомогательного привода также, как правило, трехступенчатые с передаточным числом меньшим, чем у главного. Чаще всего применяются редукторы типа РЦО. Применение венцовой передачи с постоянным передаточным числом позволяет унифицировать и другие элементы привода, использовать редукторы одного типа и размера для привода барабанов различного диаметра. Редукторы должны обеспечить нормальный ряд чисел оборотов барабана. Отклонение фактического числа оборотов от нормального при подборе передаточного числа редуктора не должно превышать 5-7%.

В зарубежной практике находит применение гидравлический привод, состоящий из масляных двигателей, располагаемых под барабаном. На валах двигателей жестко посажены ведущие шестерни, которые находятся в зацеплении с зубчатым венцом. Двигатели приводятся в работу давлением масла, нагнетаемого в них насосами, которые работают от индивидуальных электродвигателей. Количество насосов выбирается в зависимости от мощности, необходимой для вращения барабана.

Применение гидропривода позволяет значительно сократить габариты привода и получить возможность бесступенчатого регулирования числа оборотов барабана. Это важно не только при проведении пуска наладочных и

ремонтных работ при отработке технологии процесса, но также и при эксплуатации барабанных аппаратов.

Большой диапазон регулирования, простота управления, плавность изменения передаточного числа, значительная устойчивость гидромотора, герметичность, взрывобезопасность и надёжность в работе – основные из преимуществ и достоинств, которыми обладает гидропривод.

Число оборотов барабана при вращении его от вспомогательного привода должно лежать в пределах $1/20$ - $1/30$ от числа оборотов барабана при вращении его от основного привода. Вспомогательный привод должен иметь муфту, позволяющую отключать его от главного привода, и тормоз, который должен удерживать барабан в любом положении. Электродвигатель вспомогательного привода подключается к другой силовой сети, часто используют специальные электрогенераторы, приводимые от двигателя внутреннего сгорания или дизеля.

Электроприводы барабанных аппаратов и питатели должны иметь электрическую блокировку, обеспечивающую отключение электродвигателя питателя при выключении привода барабана, а также невозможность включения привода питателя при выключенном приводе барабана.

9.4. Уплотнительные устройства

Вращающиеся барабанные аппараты работают под небольшим разрежением (до 50-250 Па), создаваемым концевыми вентиляторами (дымососами), что исключает возможность попадания в цех запыленных или токсичных газов. Однако чрезмерный подсос наружного воздуха может снизить температуру теплоагента, что вызовет дополнительный расход топлива, увеличит нагрузку на дымосос и пылеулавливающие устройства. Кроме того, может снижаться концентрация газообразного продукта (например, CO_2 в содовых печах), а в случае необходимости поддержания в зоне печи восстановительной среды подсос воздуха может сказаться и на качестве продукции. Во всех случаях желательно подсос воздуха снизить как можно больше и свести его к нулю.

Уплотнение зазоров между вращающимися барабанами и неподвижными камерами или откатными головками является одной из ответственных и достаточно сложных задач.

При проведении ряда технологических процессов уплотнение барабанов является необходимым условием их работоспособности. Разработка простых по конструкции и надёжных в работе уплотнительных устройств связана с большими трудностями, т.к. концы барабанов из-за прогиба имеют пространственное перемещение, т.е. "бьют", корпуса горячих барабанов имеют тепловые деформации, имеет место наличие отклонения формы барабана от цилиндрической и др.

Все эти факторы отрицательно сказываются на работоспособности уплотнений. Поэтому они применяются только у барабанов с коническими горловинами.

Существует множество разнообразных конструкций механических и аэродинамических уплотнений. В практике конструирования и

изготовления барабанных аппаратов находят применение два основных типа уплотнений: без касания между частями уплотняющих деталей и с касанием между ними.

9.4.1. Лабиринтные уплотнения

Лабиринтные уплотнения состоят из двух рядов concentрически расположенных колец, из которых один ряд закреплен жёстко на стальном кольце камеры или откатной головке барабана, а второй прикреплён на корпусе.

Существует два типа лабиринтных уплотнений: радиальные и аксиальные (рис. 9.29, а, б).

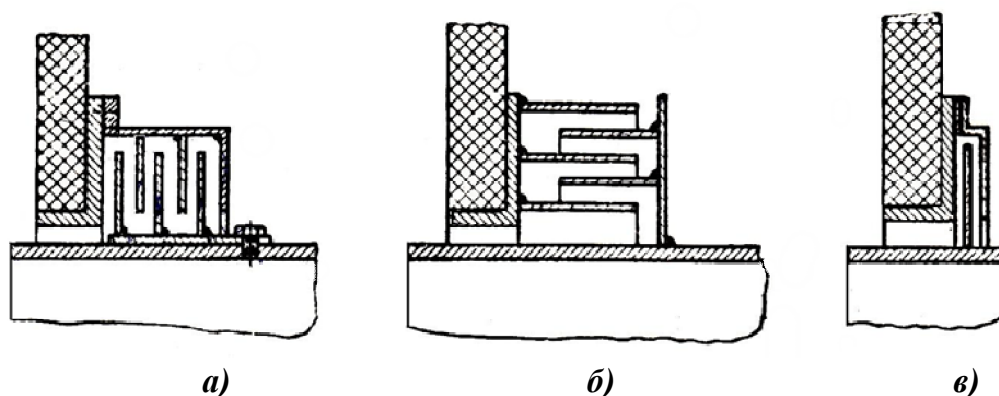


Рис. 9.29. Схема лабиринтных уплотнений:
а – радиальное; б – аксиальное; в – с плавающей пластиной

Радиальные уплотнения имеют тот недостаток, что могут устанавливаться на барабанах, которые не подвержены значительным температурным удлинениям. При больших удлинениях кольца уплотнения могут быть срезаны. Аксиальные лабиринтные уплотнения допускают значительно большие удлинения барабанов. В некоторых конструкциях горячих барабанов часть лабиринта, монтируемого на барабане, крепят не сваркой, а на специальном кольце, что позволяет после разогрева барабана передвинуть эту часть лабиринта и закрепить его в нужном положении. Кольца лабиринтных уплотнений изготавливают из листовой стали толщиной 3-5 мм и располагают на одинаковом расстоянии один от другого. Работа таких уплотнений основана на большом гидравлическом сопротивлении проникновению наружного воздуха. Чем больше колец и меньше зазор между ними, тем выше эффективность действия уплотнения.

Разновидностью радиального лабиринтного уплотнения является уплотнение с плавающей пластиной (рис. 9.29, в). Как видно из рисунка, кольцевая пластина свободно надета на барабан и может по нему передвигаться. Величина зазора между пластиной и барабаном берется достаточной для компенсации перекосов барабана. Иногда в зазор помещают прокладку, например, набивочный асбестовый шнур, что повышает герметичность конструкции, которая, при этом, допускает перемещение барабана.

Лабиринтные уплотнения имеют ограниченную степень герметичности и применимы в тех случаях, когда допустим некоторый подсос воздуха.

Лабиринтные уплотнения, простые по конструкции, надежные в работе, даже при наличии пыли и действия высокой температуры, имеют все же ограниченное применение. Они могут применяться на барабанных холодильниках печей, в сушильных барабанах и коротких вращающихся печах, перемещение которых вдоль оси незначительно.

9.4.2. Уплотнение с прорезиненной лентой

Для уплотнения «холодных» концов печей, сушилок, сушилок-грануляторов нашло уплотнение с использованием прорезиненной ленты благодаря хорошим эксплуатационным качествам и простоте конструкции.

Для уплотнения цементных печей нашло применение радиальное секторное уплотнение (рис. 9.30).

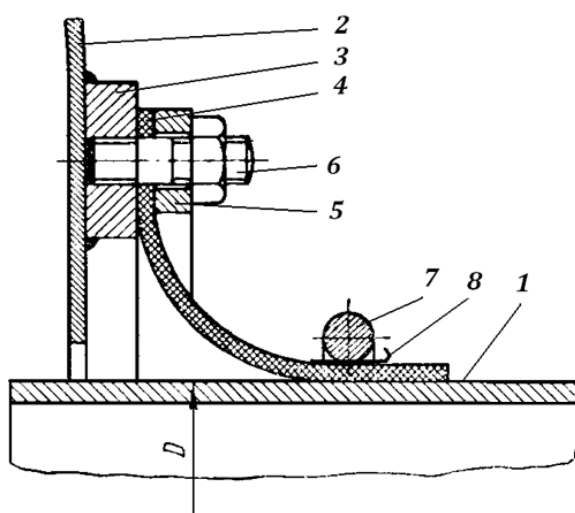


Рис. 9.30. Радиальное секторное уплотнение с прорезиненной лентой:
1 – стенка корпуса барабана; 2 – стенка камеры; 3 – кольцо; 4 – прорезиненная лента; 5 – прижимное кольцо; 6 – шпилька; 7 – стальной канат; 8 – металлическая пластинка

К кольцу (3), закрепленному на стенке камеры (2), с помощью прижимного кольца (5) и болтового соединения (6) прикрепляются отрезки прорезиненной ленты (4), располагаемые в два ряда. Отрезки ленты внутреннего и внешнего рядов соединяются в стык один к другому, так чтобы стыки внешнего ряда были несколько сдвинуты относительно стыков внутреннего ряда. Свободным концом каждый из отрезков ленты опирается на корпус печи (1). Для равномерного и плотного прижатия концов к корпусу через них переброшен стальной канат (7) диаметром 8-10 мм, один конец которого прикрепляется жестко к какому-либо неподвижному элементу, а на конце второго подвешивается груз.

Чтобы канат не смог сползти с концов ленты, под него через 1,0-1,5 м подкладываются металлические пластины (8), наружные концы которых загнуты в виде крючков. С отрезками ленты пластины соединяются при помощи болтов.

Подсос воздуха с уплотнением прорезиненной лентой исключается почти полностью. Благодаря гибкости отрезков ленты работа уплотнения не нарушается

при небольших смещениях корпуса печи вдоль оси, а также в том случае, когда конец корпуса имеет незначительные деформации.

Для уплотнения барабанных сушилок общего назначения и сушилок-грануляторов широко применяется так называемое ленточное уплотнение с использованием прорезиненной ленты (рис. 9.31).

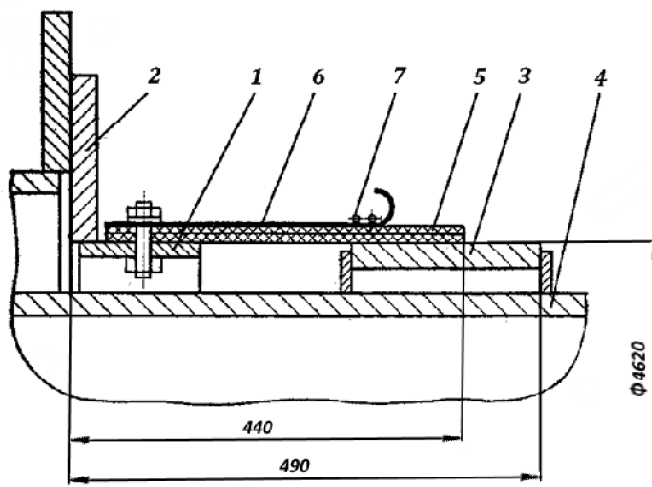


Рис. 9.31. Ленточное уплотнение сушилки-гранулятора 4,5 x 16 м:

1 – неподвижное кольцо; 2 – камера; 3 – подвижное кольцо; 4 – корпус барабана;
5 – прорезиненная лента; 6 – накладка; 7 – стальной канат

Оно состоит из неподвижного кольца (1), закрепленного на стенке камеры (2) и кольца (3), закрепленного на корпусе барабана (4). Один конец двухслойной ленты (5) закреплен на неподвижном кольце через накладку (6) болтами, другой – свободно лежит на кольце (3). Лента через накладку (6) прижимается к кольцу стальным канатом и при вращении барабана скользит по его поверхности.

Уплотнения с прорезиненной лентой недолговечны, т.к. отрезки ленты изнашиваются при трении о корпус, кроме того, сказывается воздействие температуры газового потока. Однако для восстановления уплотнения требуется немного времени и затрат. Обычно используется не новая прорезиненная лента, а бывшая в употреблении, что снижает экономические затраты.

9.4.3. Уплотнение с секторным подвижным кольцом

Уплотнение радиального зазора осуществляется при помощи металлического кольца, состоящего из секторов (рис. 9.32).

Секторы при помощи радиально расположенных пружин (4) прижимаются к предохранительному поясу (2), который служит для защиты от износа корпуса барабана (3). Регулирование силы затяжки пружин осуществляется болтами (5). Болты и пружины закреплены на кронштейнах (6), которые жестко соединены с неподвижным кольцом (7), закрепленным на стенке камеры или головке. Перекос секторов при их перемещении в радиальном направлении под действием пружин устраняется направляющими шпильками (9), жестко закрепленными в неподвижном кольце и проходящими через пазы (8), вырезанные в секторах. При вращении барабана и его осевом перемещении предохранительный пояс (2)

скользит по внутренней поверхности секторов без нарушения плотности между ними.

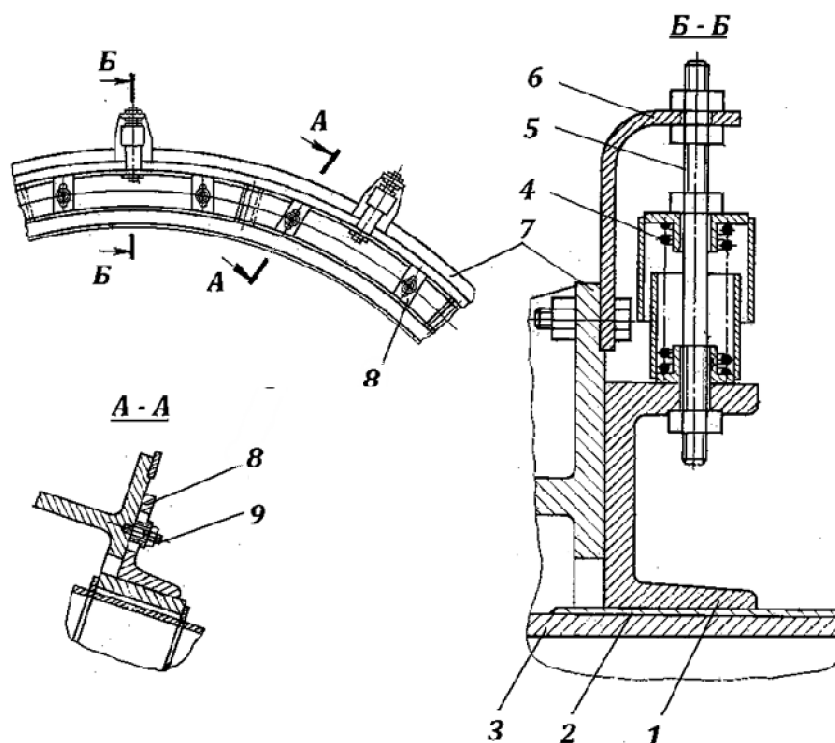


Рис. 9.32. Схема уплотнения с секторным неподвижным кольцом:
 1 – кольцо; 2 – предохранительный пояс; 3 – корпус барабана; 4 – пружина;
 5 – болт; 6 – кронштейн; 7 – неподвижное кольцо; 8 – паз сектора; 9 – шпилька

При эксплуатации таких уплотнений большое внимание должно уделяться правильному положению секторов относительно корпуса барабана и равномерной затяжке пружин.

9.4.4. Уплотнение с подвешенным кольцом

Схема уплотнения с подвешенным кольцом показана на рис. 9.33.

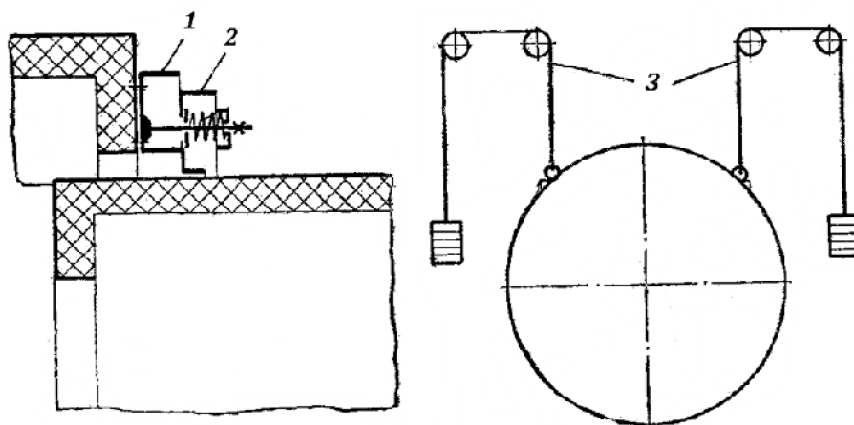


Рис. 9.33. Схема уплотнения с подвешенным кольцом:
 1 – неподвижное кольцо; 2 – кольцо, подвешенное на тросе; 3 – стальной канат

Уплотнение состоит из двух основных частей: неподвижного кольца (1), жестко прикрепленного к головке печи, и кольца (2), подвешенного над корпусом при помощи стального каната (3), на концах которого закреплены грузы. Подбором грузов достигается необходимая величина давления кольца на корпус барабана. Равномерно расположенные вокруг корпуса пружины прижимают подвешенное кольцо к неподвижному. Подсос воздуха может осуществляться только через зазор между вращающимся барабаном и подвешенным кольцом, который практически отсутствует. Такое уплотнение допускает любые температурные деформации барабана и небольшие пространственные перемещения его концов. Уплотнение отличается простотой конструкции и устойчиво работает при нормальных и повышенных температурах.

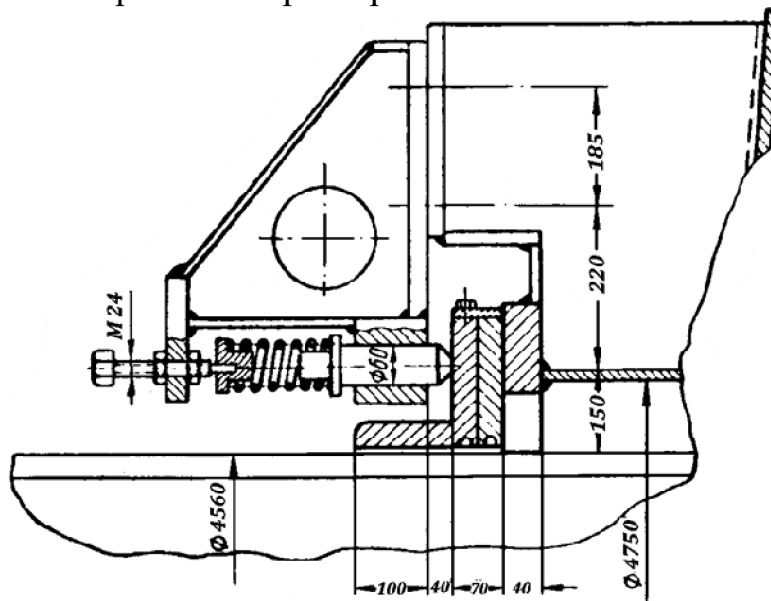


Рис. 9.34. Уплотнение холодного конца цементной печи 5 x 185 м

На рис. 9.34. показан узел уплотнения с подвешенным кольцом холодного конца цементной печи 5 x 185 м.

9.4.5. Уплотнение с промежуточной обечайкой

Этот тип уплотнения разработан заводом Сибтяжмаш. Им оборудуются крупногабаритные цементные печи.

Уплотнение состоит из трёх основных частей (рис. 9.35): неподвижного стального кольца (12), прикреплённого к стенке камеры и охватывающего корпус барабана, плоского кольца (9), жестко закрепленного на барабане и вращающегося вместе с ним, и промежуточной между корпусом и кольцом (12) обечайки (11), которая также охватывает корпус, но не соприкасается ни с ним, ни с кольцом.

Двумя пальцами (7), на которых свободно посажены ходовые ролики (15), обечайка опирается на неподвижные направляющие (5), расположенные на правом и левом кронштейнах, жестко соединенных с камерой. На неподвижные пальцы кронштейнов свободно надеты ролики (2), (3) и (8). Через ролики (2), (3) и (6) переброшен стальной канат, верхний конец которого прикреплён к ролику (8),

а на нижнем подвешен груз (1). При помощи груза (1) промежуточная обечайка непрерывно отжимается по направлению к концу барабана, при этом она своей рабочей частью производит давление на распределённые равномерно по окружности ролики (10). Оси этих роликов расположены в гнездах (13), которые жестко связаны с вращающимся кольцом (9). Место крепления пальцев (7) к промежуточной обечайке выбрано с таким расчётом, чтобы под действием своего веса обечайка проворачивалась вокруг этих осей по часовой стрелке. На концы осей надеты рычаги с грузами (4), при помощи которых обечайка поворачивается в противоположную сторону, т.е. против часовой стрелки. Изменяя величину грузов (4), выравнивают давление обечайки на верхние и нижние ролики (10).

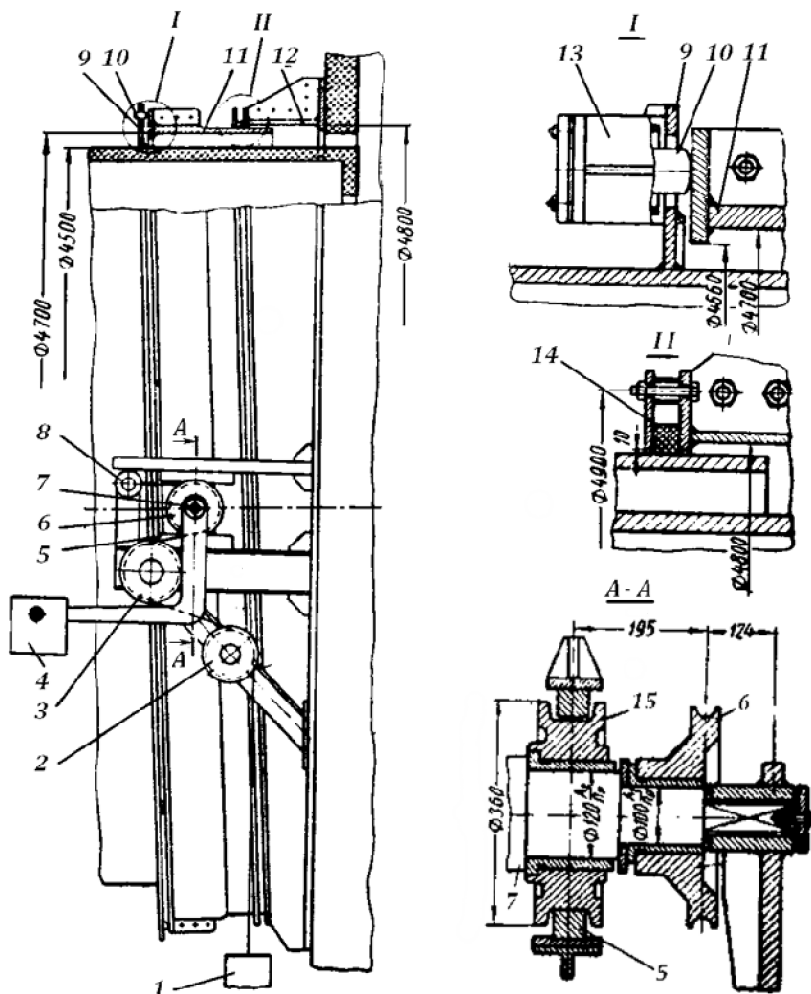


Рис. 9.35. Конструкция уплотнения с промежуточной обечайкой:

1 – груз; 2,3,6,8,10 – ролики; 4 – рычаг с грузами; 5 – неподвижная направляющая; 7 – палец; 9 – вращающееся кольцо; 11 – обечайка; 12 – неподвижное кольцо; 13 – гнездо; 14 – уплотнитель; 15 – ходовой ролик

Наличие роликов (10) снижает трение между вращающейся и неподвижной частями уплотнительного устройства. Конструкция роликов позволяет смещать их вдоль корпуса барабана, что даёт возможность выравнивать давление, производимое на них подвешенной обечайкой.

Подсос воздуха в зазор между подвешенной обечайкой и неподвижным кольцом (12) устраняется тем, что здесь помещают асбестовый шнур (14).

Единственно неуплотнённым местом является зазор между кольцом корпуса и подвешенной обечайкой (11).

9.4.6. Торцовые уплотнения

Торцовые уплотнения считаются основным типом уплотнений для вращающихся барабанов во всех случаях, когда уплотнение должно обеспечивать по возможности полную герметичность.

На рис. 9.36 показано простейшее торцовое уплотнение.

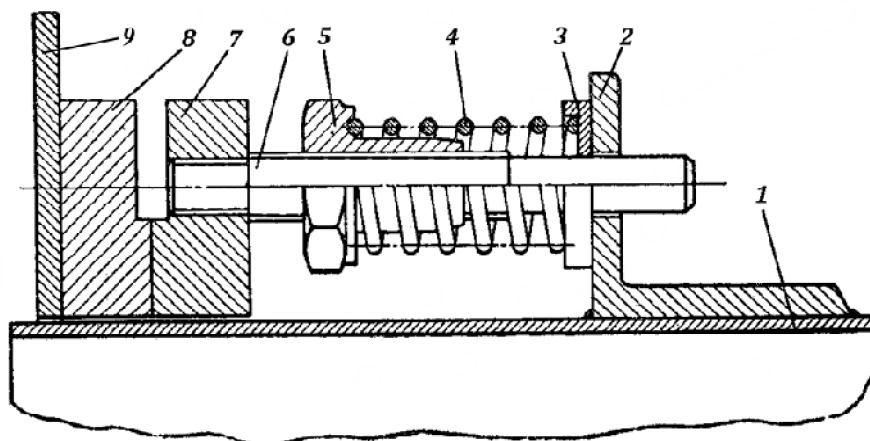


Рис. 9.36. Схема торцового уплотнения:

1 – барабан; 2 – угольник; 3 – шайба; 4 – пружина; 5 – регулировочная гайка; 6 – шпилька; 7 – нажимное кольцо; 8 – опорное кольцо; 9 – стенка камеры

Торцовое уплотнение состоит из нажимного кольца (7), закреплённого на барабане (1) и вращающегося вместе с ним. Нажимное кольцо при помощи пружин (4), расположенных равномерно по окружности барабана, прижимается к опорному кольцу (8), жёстко закреплённому на камере. Так как нажимное кольцо закреплено на барабане с зазором, то оно может оставаться прижатым к опорному кольцу по всей поверхности при любых пространственных перемещениях барабана во время работы. Поверхности контакта колец между собой шлифованы, что исключает проскок воздуха через этот затвор. Величина зазора между нажимным кольцом и барабаном невелика и берётся такой, чтобы кольцо могло скользить вдоль корпуса барабана и имело возможность перекашиваться, т.к. оно должно быть всегда плотно прижатым к опорному кольцу.

Для того чтобы торцовые уплотнения обеспечивали полную герметичность, необходимо уплотнять зазор между барабаном и нажимным кольцом. Это уплотнение должно быть гибким и не мешать перемещению нажимного кольца.

В аппаратах большого диаметра применяют торцовые уплотнения с линзовым компенсатором (рис. 9.37).

Такое уплотнение допускает пространственное перемещение барабана за счёт упругости компенсатора. Герметичность уплотнения не нарушается и тогда, когда конец барабана «бьёт». Однако уплотнение имеет недостаток в том, что компенсатор уплотнения сложен для изготовления. На работу уплотнения вредно

влияет пыль и высокая температура газового потока. Попадая в внутренние складки между пластинами, пыль лишает уплотнительную систему подвижности и может быть причиной разрыва пластин. Для удаления пыли из складок компенсатора барабан необходимо останавливать и охлаждать. Эти отрицательные качества уплотнения существенно снижают его большое положительное свойство – высокий КПД.

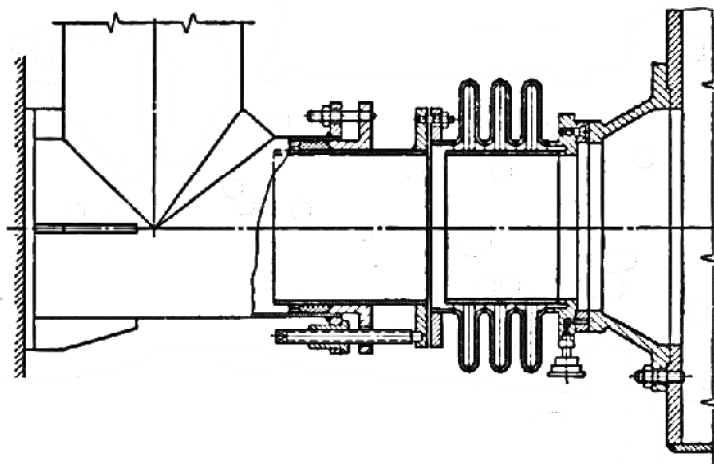


Рис. 9.37. Схема торцевого уплотнения, герметизированного линзовым компенсатором

Механические уплотнения, особенно те, работа которых основана на трении уплотняющих поверхностей, быстро изнашиваются, требуют тщательного монтажа и дополнительных затрат мощности, расходуемой на трение.

Представляет большой интерес уплотнение, в котором герметизирующим элементом служит слой густой смазки, подаваемой под значительным давлением к трущимся поверхностям. При этом образуется тонкий кольцевой слой смазки, обеспечивающий герметичность соединения. Чтобы смазка не расплавлялась при установке на горячем конце барабана, неподвижное кольцо уплотнения снабжается камерой, которая непрерывно охлаждается проточной водой.

9.4.7. Аэродинамические уплотнения

Аэродинамические уплотнения достаточно широко применяются в зарубежной практике и в некоторых барабанных аппаратах отечественного производства. Конструкция таких уплотнений проста в изготовлении, они обеспечивают надёжную герметизацию и могут быть установлены на крупных аппаратах и барабанах небольшого диаметра.

В основу конструкции аэродинамического уплотнения (рис. 9.38) положено создание необходимого противодавления путем удара струи воздуха на наружную поверхность барабана на его концах (рис. 9.39).

Поток воздуха из полостей *а* и *б* направляется с определённой скоростью под углом на поверхность барабана для создания давления и отсасывания через полость *с*.

Подачу и отбор воздуха осуществляют одним вентилятором, работающим по замкнутому циклу. Подачу воздуха через полости *а* и *б* проводят отдельно, и её регулировка зависит от давления газа в ограждаемой области. При положительном давлении газа основной ограждающий поток воздуха идёт через полость *б*, а через полость *а* подаётся поток воздуха, преграждающий его от выбивания. В полости *с* давление поддерживается около нуля.

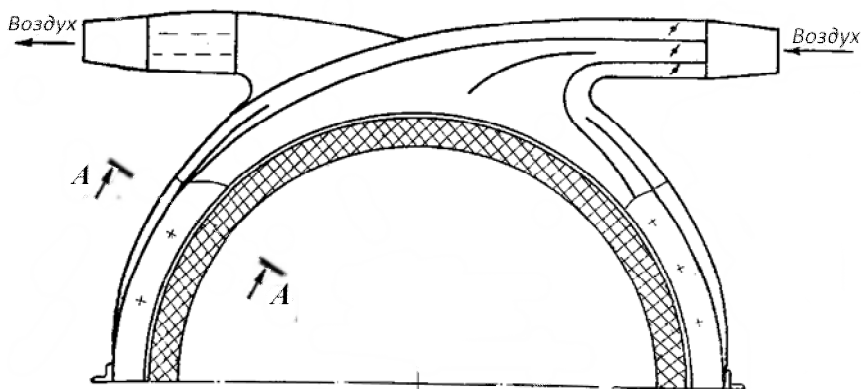


Рис. 9.38. Аэродинамическое уплотнение

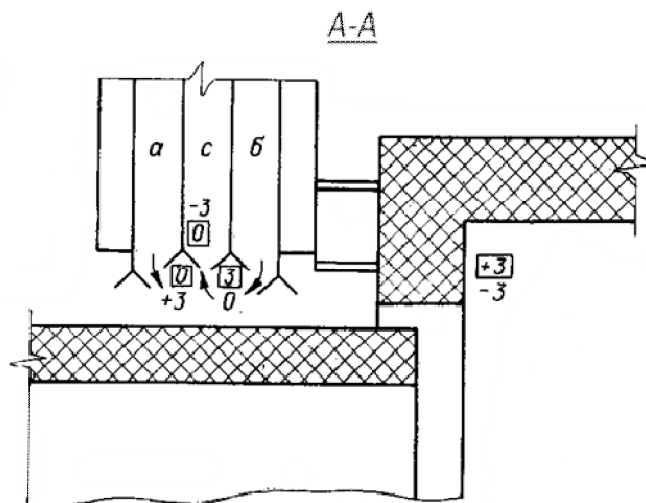


Рис. 9.39. Принципиальная схема аэродинамического уплотнения

При разрежении в ограждающей области основной поток проходит через полость *а*, а через полость *б* подаётся преграждающий поток. В полости *с* поддерживается разрежение, соответствующее разрежению в ограждаемой области.

Обычно аэродинамические уплотнения делают секционированными по периметру барабана, причём настройку каждой секции производят на давление газа, соответствующее положению секции. Количество секций на барабанах диаметром до 2,0 м обычно две (верхняя и нижняя), при диаметре барабана более двух метров – шесть секций (три верхние и три нижние).

На рис. 9.40 показана схема аэродинамического уплотнения для вращающихся цементных печей.

Плоские стальные кольца (3) и (7), составленные из отдельных секторов и охватывающие корпус, неподвижно связаны при помощи промежуточных деталей (1), (2) и (6) со стенкой камеры. В кольцевое пространство между этими деталями и концом барабана введена гильза (4), охватывающая корпус и вращающаяся вместе с ним. Через сопло (8) из нагнетательного воздухопровода во внутреннюю полость уплотнения поступает сжатый воздух, который вдувается в кольцевой зазор между корпусом печи и гильзой. Так как между гильзой и вспомогательной разгрузочной деталью (5) корпуса имеется узкая кольцевая щель, воздух, выходя из неё, отбрасывается к плоскому кольцу (3). Вследствие этого образуется препятствие для прохода воздуха через зазор между неподвижным кольцом (3) и гильзой.

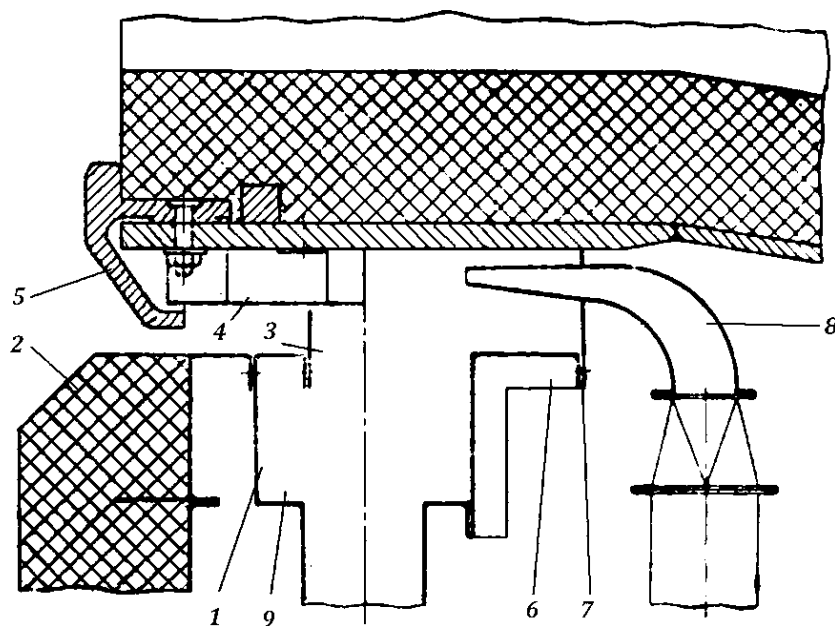


Рис. 9.40. Схема аэродинамического уплотнения цементной печи 4,5 x 170 м:

1, 2, 6 – промежуточные детали; 3, 7 – стальные кольца; 4 – гильза;
5 – разгрузочная деталь; 8 – сопло; 9 - труба

Жестко присоединённая к уплотнительному устройству вертикальная труба (9) предназначена для отвода из внутренней полости уплотнения осаждающейся здесь пыли.

На рис. 9.41 показана схема более простого по конструкции аэродинамического уплотнения. К стенке головки барабана прикреплён кольцевой канал (3), в котором с помощью вентилятора (4) поддерживается разрежение на 5-10 Па выше, чем в камере (2), что полностью устраняет подсос воздуха. Небольшие потери продуктов сгорания топлива за счёт их подсоса в кольцевой канал (3) оправдываются возможностью поддержки необходимого температурного режима в аппарате. Такие уплотнения установлены на некоторых прокаточных печах в производстве пигментов.

Имеются еще некоторые разновидности уплотнительных устройств барабанных аппаратов.

Следует отметить, что уплотнения всех конструкций хорошо работают лишь при условии, что корпус барабана в месте установки уплотнения имеет правильную цилиндрическую форму, не «бьёт» при вращении, трущиеся детали уплотнения регулярно смазывается, и очищаются от пыли.

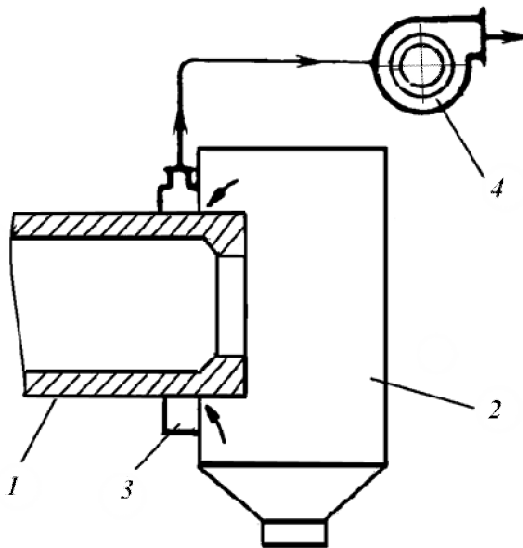


Рис. 9.41. Схема аэродинамического уплотнения прокаточной печи:
1 – корпус печи; 2 – камера; 3 – кольцевой канал; 4 – вентилятор

9.5. Питание и разгрузка барабанных аппаратов

Питание вращающихся барабанных аппаратов осуществляется питателями, установленными сверху загрузочных камер. Типы питателей выбираются в соответствии с производительностью аппаратов и физико-механическими свойствами материала (гранулометрический состав, влажность и др.)

Подача материала от питателя в барабан осуществляется посредством трубчатых, установленных наклонно к оси барабана, угол наклона которых должен превышать угол естественного откоса материала во избежание зависания его на стенках. Обычно он составляет от 60 до 70°. Применяются любые типы питателей, но наибольшее распространение получили дисковые (тарельчатые), винтовые (шнековые) и ячейковые (секторные). Два последних типа применяются в случае необходимости снижения подсоса воздуха.

В зависимости от свойств обрабатываемых материалов широкое применение находят также специальные типы питателей.

Так, например, в цементных печах для подачи шлама из шламовых бассейнов в печь применяют ковшовые питатели.

Питатели бывают с одним рабочим колесом и с двумя колесами, насаженными на горизонтальный вал. Рабочие колеса состоят из 3-4 дозирующих ковшей.

На рис. 9.42 показана схема питателя с одним рабочим колесом.

Питатель состоит из емкости (9), сваренной из листовой стали и рабочего колеса (8), собранного из четырех ковшей и жестко насаженного на

горизонтально расположенный вал (13), приводимый от электродвигателя постоянного тока.

Перегородкой (7) внутренняя полость емкости разделена на две части: загрузочную, в которой ковши колеса наполняются шламом, и разгрузочную, из которой шлам через точку (10) подается в печь. Трубопровод (12) служит для ввода шлама в питатель, а трубопровод (2) для обратного стока в шламовый бассейн излишне поданного в питатель шлама.

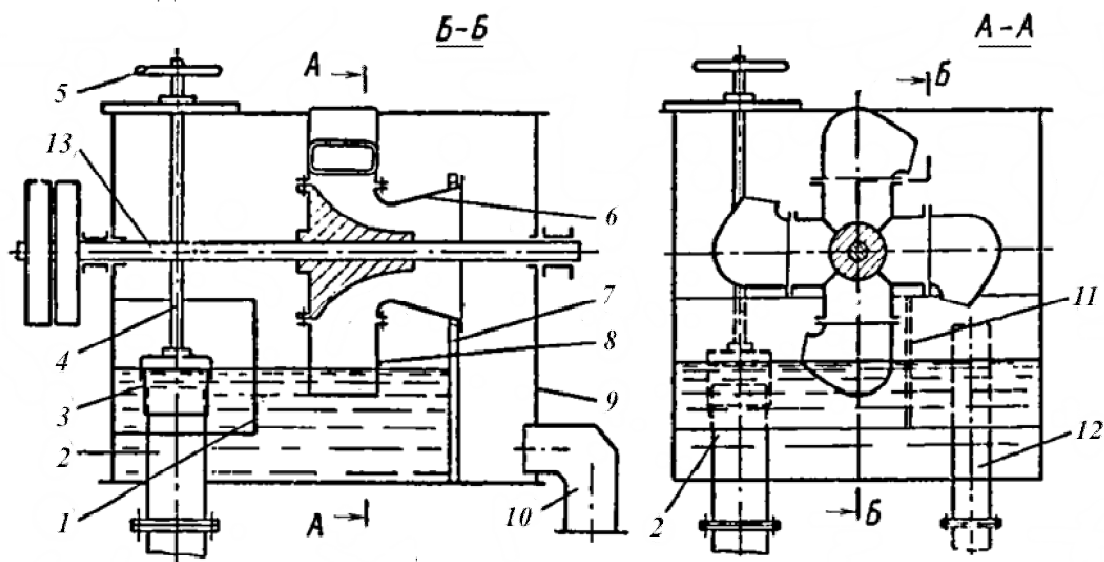


Рис. 9.42. Схема ковшового питателя цементной печи с одним рабочим колесом:

1, 11 – перегородки; 2, 12 – трубопроводы; 3 – патрубок; 4 – тяга; 5 – штурвал; 6 – патрубок; 7 – перегородка; 8 – рабочее колесо; 9 – емкость; 10 – точка; 13 – вал

На верхний конец трубопровода (2) свободно насажен патрубок (3), который при помощи тяги (4) и штурвала (5) может подниматься и опускаться. Это позволяет регулировать степень наполнения ковшей шламом и, следовательно, производительность питателя. Производительность питателя регулируется также изменением числа оборотов приводного электродвигателя.

Шламовые питатели с одним рабочим колесом просты по конструкции, надежны в работе, но имеют недостаточно высокую производительность.

Питатели с двумя рабочими колесами имеют большую производительность. Они конструктивно несколько отличаются от питателей с одним рабочим колесом.

На рис. 9.43 приведен питатель-забрасыватель сырого бикарбоната натрия безрентурных содовых печей.

Корпус (3) питателя прикреплен к стенке загрузочной камеры. Сырой бикарбонат из мешалки через приемный штуцер (1) поступает на шестигранный ротор питателя (5).

Метательная лопатка (6), закрепленная на валу (8), счищает сырой бикарбонат натрия с поверхности граней ротора питателя и забрасывает его в содовую печь. Длина траектории полета частиц может достигать 6,5-9,5 м. Во

время полета частицы бикарбоната успевают подсохнуть, что снижает вероятность их налипания на стенку барабана.

Питатель (5) и забрасывающая лопатка (6) получают вращение от электродвигателя, вращающего шкив (12). На валу шкива насажены шестерни (13) и (7). Питатель вращается от шестерни (13) через передаточную шестерню (10), питательная лопатка (6) – от шестерни (7) через передаточную шестерню (9).

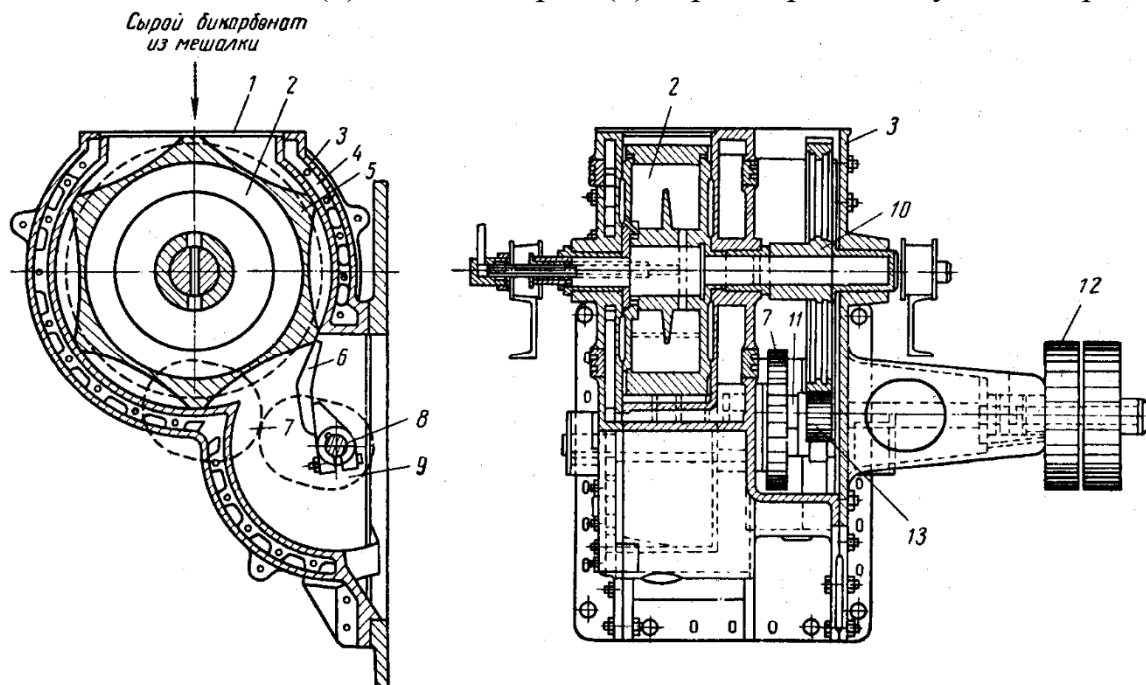


Рис. 9.43. Питатель сырого бикарбоната натрия безрeturных содовых печей:

1 – штуцер для подачи сырого бикарбоната; 2, 4 – водяная рубашка; 3 – корпус питателя; 5 – ротор барабанного питателя; 6 – метательная лопатка; 7, 11, 13 – шестерни; 8 – вал; 9, 10 – передаточные шестерни; 12 – шкив

Число оборотов шестерен и соотношение их диаметров подобраны таким образом, чтобы скорость вращения метательной лопатки (6) в шесть раз превышала скорость вращения питателя (5). При таком соотношении числа оборотов метательная лопатка за один оборот успевает счистить и забросить в печь бикарбонат натрия с одной секции питателя. Число оборотов метательной лопатки составляет 182-220 об/мин.

Корпус питателя охлаждается водой, подаваемой в рубашки (2) и (4), что уменьшает налипание сырого бикарбоната на внутренние поверхности питателя.

У рeturных содовых печей вместо питателя – забрасывателя под мешалкой сырого бикарбоната установлен смеситель для смешивания бикарбоната с рeturом-содой, поступающей из печи, с последующей подачей смеси в печь. Такой питатель называют «питатель-смеситель».

Выгрузка материала из барабанных аппаратов осуществляется в простейшем случае самотёком. Для поддержания необходимой высоты слоя материала в барабане в них делают кольцевые пороги или снабжают по концам коническими горловинами, соединенными с корпусом.

Коэффициент заполнения барабанных аппаратов составляет 0,1-0,2. Однако в некоторых аппаратах (например, содовые печи) он достигает величины 0,5-0,6. Здесь осуществляется центральная выгрузка материала при помощи выгрузочного шнека (2) (рис. 9.44).

Внутри барабана корпус шнека имеет вырез для поступления соды. Вокруг шнека вместе с барабаном вращается прикрепленное к крышке печи цилиндрическое сито (3), к внешней поверхности которого прикреплены лопатки-ковши (4) в количестве 8 штук. При вращении барабана ковши забирают соду из нижней части барабана и в верхнем своем положении ссыпают ее на сито (3).

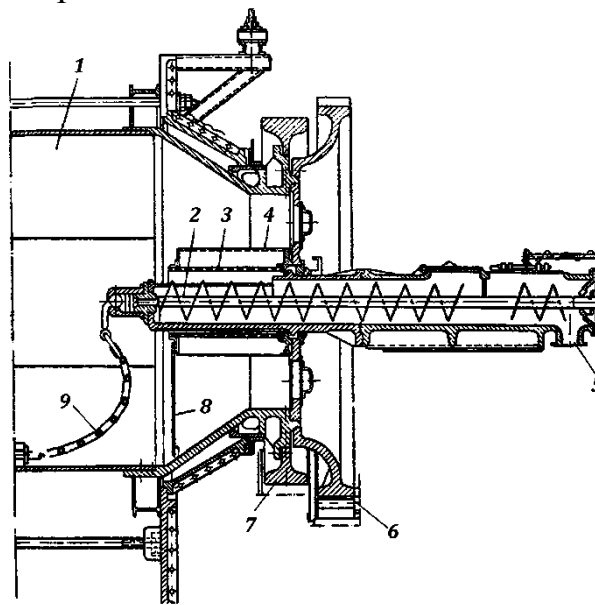


Рис. 9.44. Выгрузочное устройство ретурной содовой печи:

1 – барабан печи; 2 – шнек; 3 – сито; 4 – лопатки-ковши; 5 – штуцер;
6 – венцовая шестерня; 7 – бандаж; 8 – разгрузочная лопатка; 9 - цепь

Прошедшая через сито сода попадает внутрь шнека и перемещается в нем к разгрузочному штуцеру (5), находящемуся с правой стороны шнека. Крупные куски соды ссыпаются с сита обратно в печь, где постепенно измельчаются.

Для герметизации шнека его винт сделан с разрывом, что обеспечивает создание содовой пробки, препятствующей прорыву газа из печи.

В цементных печах с рекуператорными холодильниками выгрузка материала осуществляется через отверстия в стенке корпуса печи.

Если барабан опирается на полые цапфы, то загрузка материала и его выгрузка могут осуществляться через цапфы.

В барабанных кристаллизаторах с воздушным и водяным охлаждением объем, занятый раствором, и время пребывания раствора в кристаллизаторе регулируется высотой порога у входа суспензии за счет смены подпорной (сменной) шайбы (рис. 9.45).

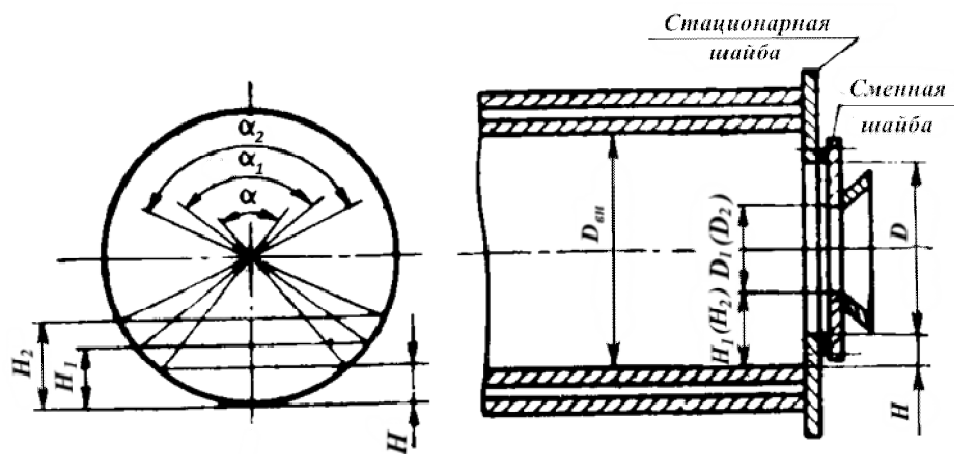


Рис. 9.45. Схема расположения высот порогов барабанных кристаллизаторов
 Регулировка объема ванны предусматривается в пределах трёх высот порогов H , H_1 и H_2 , которые определяются тремя центральными углами $\alpha = 80^\circ$; $\alpha_1 = 105^\circ$ и $\alpha_2 = 130^\circ$.

9.6. Устройства для очистки отходящих газов

Обрабатываемые в барабанных аппаратах сыпучие материалы представляет собой, как правило, смесь частиц разных размеров. Частицы, скорость витания которых меньше, чем скорость газа в барабане, будут уноситься из него.

Большой вынос пыли и выброс ее в атмосферу приводит, с одной стороны, к ухудшению санитарного состояния цехов, заводских территорий и близко расположенных населенных пунктов. Кроме того, это приводит к потере продукта.

Выбор пылеулавливающего оборудования зависит от количества и степени запылённости газового потока, его температуры, а также физико-механических свойств самой пыли. Применяются сухой и мокрый способы очистки.

Для сухой очистки используются пылесадительные камеры, циклоны, электрофильтры и рукавные фильтры.

Мокрая очистка производится в скрубберах различных типов (безнасадочные, с насадкой, центробежные, барботеры).

К пылеуловителям предъявляются основные требования:

- высокая степень очистки;
- малое гидравлическое сопротивление;
- простота конструкции и устойчивость в работе как при нормальном режиме, так и при изменяющейся температуре и влажности газового потока;
- большая производительность.

Эффективность работы пылеуловителей оценивается коэффициентом полезного действия или степенью очистки газа, который определяется как отношение среднего весового количества пыли, задержанной пылеуловителем, к среднему количеству пыли, первоначально содержащейся в газе. Производительность пылеуловителя оценивается как способность пропускать в единицу времени, обычно в час, определенное количество запыленного газа, выраженное в м^3 .

Простейшим пылеулавливающим устройством являются *пылеосадительные камеры*, пыль в которых осаждается под действием силы тяжести частиц.

Эффективная работа пылеосадительных камер возможна лишь при очень малых скоростях движения газового потока. Степень очистки пылеосадительных камер не превышает 3-10 %. Они играют, как правило, ограниченную и второстепенную роль в пылеуловительных устройствах. Часто пылеосадительные камеры используют в комбинированных газоочистительных установках в сочетании с циклонами в качестве первой ступени очистки.

Циклоны являются наиболее распространенными в промышленности пылеулавливающими устройствами. Пыль в циклонах выпадает из газового потока в результате действия на частицы центробежной силы, возникающей при вращательном движении газового потока.

Используются одиночные и батарейные циклоны, представляющие собой большое количество отдельных пылеулавливающих элементов, объединенных в секции и батарею.

Циклоны выпускаются нескольких конструкций, отличающихся одна от другой лишь формой отдельных частей и их относительными размерами.

Циклоны конструкции НИИОГАЗ (Научно-исследовательский институт очистки газов) предназначены для улавливания твердых частиц из инертных газов и обеспечивают высокую степень очистки.

Корпус циклона (рис. 9.46, а) состоит из двух частей: верхней цилиндрической и нижней конической.

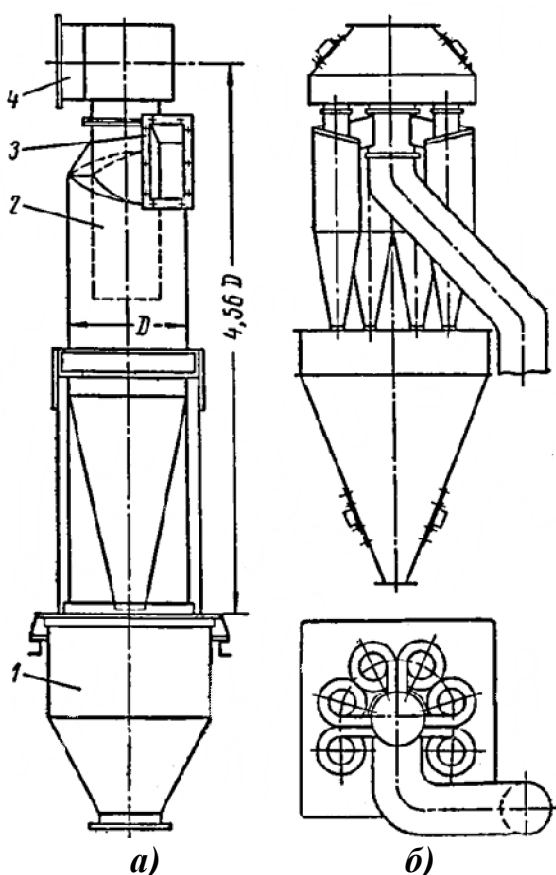


Рис. 9.46. Схема циклона НИИОГАЗ:

а – отдельно установленный циклон; б – групповая установка циклонов;

1 – бункер; 2 – труба; 3, 4 – патрубки

Нижним коническим концом корпус соединен сбункером(1). В цилиндрической части корпуса вмонтирована труба (2), по которой выходит очищенный газ. Патрубок (3), расположенный под небольшим углом к горизонту и тангенциально к корпусу, служит для ввода в пылеуловитель запыленного газа. По патрубку (4) очищенный газ выходит из циклона.

Запыленный газовый поток входит в циклон с большой скоростью, равной 15-25 м/с, приобретает вращательное движение, одновременно опускаясь вниз. Под действием центробежной силы частицы пыли отбрасываются к стенке циклона, теряют скорость и постепенно сползают вниз к разгрузочному штуцеру и попадают в бункер (1). Газ, очищенный от пыли, удаляется из циклона по центральной трубе (2).

При скорости газового потока на входе в циклон менее 15 м/с степень очистки из-за недостаточной центробежной силы пылинок заметно снижается.

Наиболее полно улавливаются в циклоне частицы пыли, обладающей значительной массой (крупные частицы). С уменьшением диаметра циклона степень очистки газа увеличивается. В циклонах конструкции НИИОГАЗ, диаметр которых равен 300-800 мм, степень очистки достигает 90-95%.

Для увеличения производительности пылеулавливающих циклонных установок циклоны одинакового диаметра объединяют в группы (рис.9.46, б).

Имеются пылеосадительные установки, в которых циклоны используются также в сочетании с пылеосадительными камерами.

Работа циклона нарушается при изменяющемся объеме поступающего в него газа. Снижение и повышение количества газа по сравнению с нормальным связано с изменением скорости его движения во входном патрубке, которая не должна превышать определенной величины.

Положительным качеством циклонов является их пригодность для улавливания пыли из газов с высокой температурой, достигающей 400-500⁰С.

Основной конструктивной величиной, характеризующей циклон, является внутренний диаметр его корпуса. По диаметру корпуса определяются остальные размеры.

Батарейные циклоны представляют собой конструкцию из большого количества отдельных пылеулавливающих элементов, объединенных в секции или батарею.

В основу конструкции батарейного циклона положено условие, что с уменьшением диаметра циклона возрастает центробежная сила, действующая на твердые частицы пыли.

Элементы, входящие в батарею, подбирают одинаковыми по диаметру. Наиболее употребительны элементы диаметром 100, 150, 200 и 250 мм.

Элементы циклона (рис. 9.47) помещаются во внутреннюю полость его корпуса.

Нижними расширенными частями элементы закреплены в отверстия решетки (1), а верхними выходными трубками – в отверстия решетки (2). Запыленный газ поступает в полость, ограниченную решетками, через штуцер (4), проходит по кольцевым щелям между корпусами элементов и их выходными трубками и через штуцер (3) выбрасывается в атмосферу. Пыль, осажденная из

газового потока, собирается в нижней конической части корпуса и через разгрузочный штуцер при помощи питателя-разгрузителя выгружается. Корпус элемента циклона (7) отливается из чугуна, а трубки (5) для выхода газа изготавливаются из стали. К внешней поверхности трубки приваривается один или два винтовых витка (6). При помощи этих витков газ, проходящий через щель между трубкой и корпусом, получает вращательное движение. Для этого необходимо, чтобы зазор между витками и внутренней поверхностью корпуса элемента был в пределах 1,0-2,5 мм.

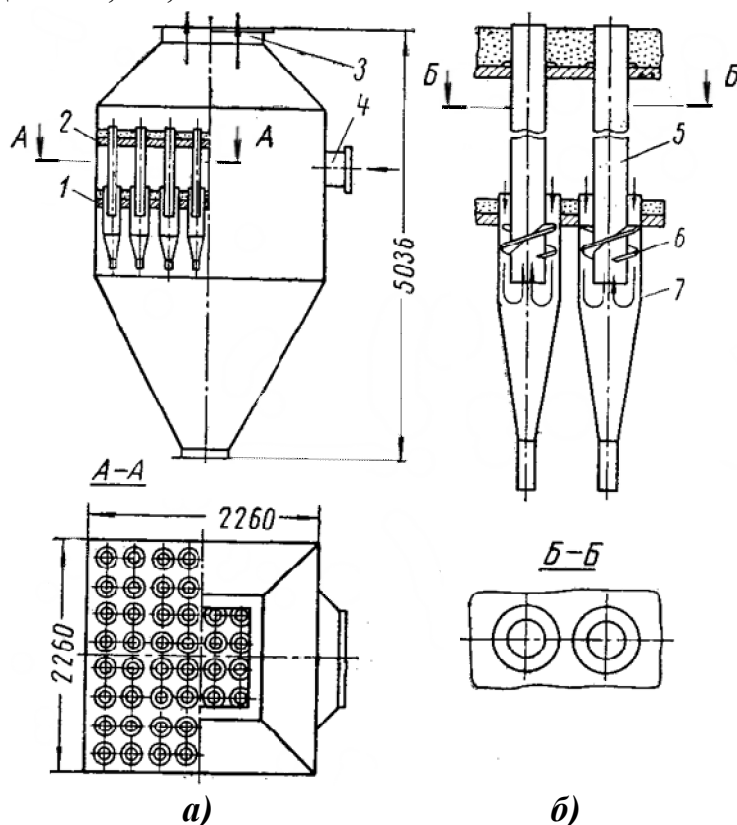


Рис. 9.47. Схема батарейного циклона: а – циклон; б – элементы циклона; 1, 2 – решетки для крепления элементов циклона; 3 – штуцер для выхода очищенного газа; 4 – штуцер для входа запыленного газа; 5 – труба для выхода газа; 6 – винтовая направляющая для потока газа; 7 – корпус элемента циклона

Для нормальной работы батарейного циклона требуется чтобы запыленный газ распределялся равномерно по его отдельным элементам. Это достигается при условии, если элементы циклона имеют одинаковые размеры и создают равные сопротивления проходу через них газа.

Батарейные циклоны превосходят единичные по производительности и имеют несколько большую степень очистки. Но они более сложны по конструкции, эксплуатация их связана с некоторыми трудностями, вызванными тем, что даже при установившемся режиме работы отдельные элементы и участки циклона часто забиваются пылью, особенно быстро, если газовый поток имеет повышенную влажность. При содержании в газовом потоке абразивной пыли витки элементов изнашиваются, что вызывает снижение степени очистки газа.

Рукавные фильтры применяют в основном для тонкой очистки газового потока или воздуха от пыли. Степень очистки зависит от сорта ткани для рукавов,

характеристики пыли и скорости движения газового потока через ткань и достигает 98-99%.

По мере увеличения слоя пыли на поверхности ткани рукавов увеличивается сопротивление фильтра прохождению воздуха. В связи с этим для удаления пыли с поверхности рукавов применяется их периодическое автоматическое встряхивание, а также производится продувка воздухом.

В промышленности используются рукавные фильтры с обратной продувкой ткани и фильтры без продувки. Для очистки сильно запыленного газа применяют фильтры с обратной продувкой.

На рис. 9.48 приведена схема рукавного фильтра с обратной продувкой. Рукава (1) фильтра располагаются в корпусе аппарата, который перегородками (10) разделен на секции. Рукава подвешены к рамам (2), которые закреплены к вертикальным стержням (3).

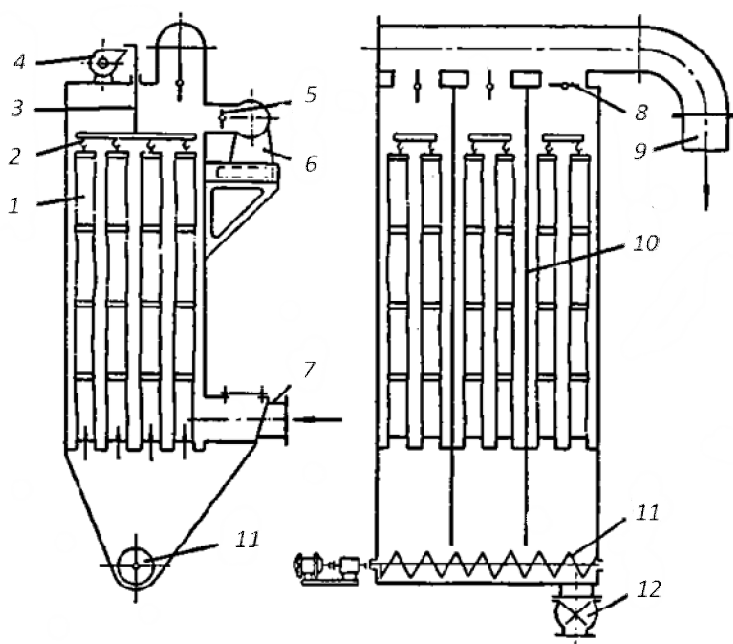


Рис. 9.48. Схема рукавного фильтра:

1 – рукав; 2 – рама для подвески рукавов; 3 – стержень; 4 – кулачковый механизм; 5, 8 – клапаны; 6, 7, 9 – трубопроводы; 10 – перегородка; 11 – шнек; 12 – секторный затвор-выгрузатель

Стержни вместе с рамами и рукавами при помощи кулачкового механизма (4) могут подниматься на некоторую высоту и сбрасываться с нее, в результате чего происходит встряхивание рукавов. Сверху рукава заглушены, а снизу открыты. Осевшая на внутренней поверхности рукавов пыль при встряхивании отделяется от ткани, восстанавливая ее способность к фильтрации.

Запыленный газ поступает в фильтр через штуцер (7). Осажденная из газа пыль собирается в нижней части фильтра и при помощи винтового или секторного (ячейкового) питателя выгружается из фильтра.

Питатель выполняет еще и роль газового затвора, исключая подсос атмосферного воздуха.

Продувку рукавов с целью очистки пыли проводят в направлении, обратном направлению движения запыленного воздуха, что способствует отрыву частичек

пыли от ткани. Продувочный воздух подогревают приблизительно до той температуры, которую имеет очищаемый газ при поступлении в фильтр, что устраняет возможность конденсации из него влаги и не допускает замазывания ткани, что резко ухудшало бы ее фильтрующую способность.

Скорость движения газового потока через рукава выбирают в пределах от 0,3 до 1,5 м/мин. Для изготовления рукавов используют различные ткани. Для очистки сильно запыленных газов рукава применяют из шерстяной фильтровальной ткани-байки, имеющей ворс с двух сторон. Ее можно применять для очистки газа с температурой, не превышающей 80-90⁰С. Для газов, нагретых до 60⁰С, используют хлопчатобумажную фильтровальную ткань. Рукава из тканей из синтетических волокон могут работать при температуре запыленных газов до 120-160⁰С. Рукава, изготовленные из стеклянного волокна, могут пропускать газы с температурой до 300-400⁰С.

Рукава изготавливают диаметром от 150 до 220 мм и длиной 2,0-3,0 м. Чтобы рукав при протягивании через него запыленного газа, а также при продувке чистым воздухом не терял своей цилиндрической формы, на него надевают и пришивают к ткани стальные кольца из проволоки диаметром 5 мм.

Относительно быстрый износ рукавов является одним из главных недостатков тканевых фильтров.

Рукавные фильтры, выпускаемые отечественной промышленностью, характеризуются числом секций, числом рукавов и поверхностью фильтрования, выраженной в м².

При большой запыленности газового потока и наличии в нем грубых фракций пыли перед тканевыми фильтрами часто устанавливают одиночные или батарейные циклоны.

Рукавные фильтры рекомендуется применять на второй ступени очистки.

Электрофильтры получили широкое применение для очистки запыленного воздуха и для аспирации отдельных видов оборудования. Степень очистки фильтров достигает 98-99%. Они обладают большой производительностью и могут использоваться для очистки сильно запыленного газа и содержания в нем как грубых, так и тонких фракций пыли.

Принцип действия электрофильтра основан на использовании явления ионизации при воздействии коронного разряда электрического тока высокого напряжения (40-100кВ).

Электрофильтр состоит из двух основных частей: пылеосадительной камеры с электродами, через которую проходит подлежащий очистке газ, и высоковольтной аппаратуры, преобразующей переменный ток в постоянный высокого напряжения, который затем поступает к коронирующим электродам.

В осадительной камере устанавливают на строго определенном друг от друга расстоянии осадительные и коронирующие электроды.

Осадительные электроды могут быть пластинчатыми, выполненными из волнистой или гладкой листовой стали и из пластин, набранных из прутков, а также из труб круглого или шестигранного сечения.

Коронирующие электроды выполняются из нихромовой проволоки круглого сечения диаметром 2,0 мм, крепятся к рамам и подвешиваются в пространстве между осадительными электродами.

Расстояние между пластинами принимается равным 250-350 мм. Если оно будет больше, то напряженность электрического поля окажется недостаточной для интенсивного осаждения частичек пыли. По этой же причине диаметр труб в электрофильтрах трубчатого типа выбирается равным 200-300 мм.

К нижним концам рам коронирующих электродов подвешены для их оттягивания металлические грузы. Осадительные электроды заземлены, а коронирующие, изолированные от осадительных, присоединены к источнику постоянного тока высокого напряжения.

Электроды встряхиваются в результате ударов молотков о рамы, на которых они подвешены.

На рис. 9.49. приведена схема трубчатого электрофильтра.

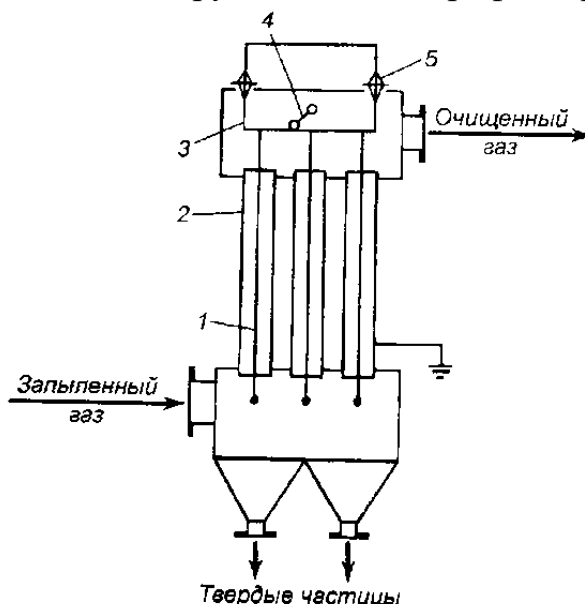


Рис. 9.49. Схема электрофильтра:

- 1 – коронирующие электроды; 2 – осадительные электроды; 3 – рама;
- 4 – устройства для встряхивания электродов; 5 – изоляторы

Принцип работы фильтра состоит в следующем. Если в стальную трубу (2), присоединенную к положительному потенциалу источника электрического тока, ввести тонкий металлический провод (1), соединенный с отрицательным потенциалом, то воздух, заключенный в трубе (2), получит электрический заряд и в нем создастся неоднородное электрическое поле постоянного направления и высокой напряженности.

Эта положительно заряженная труба (2) называется осадительным электродом, а подвешенный в ней провод, соединенный с отрицательным потенциалом электрического тока, коронирующим электродом.

Когда запыленный газ проходит через внутреннюю полость трубы (2), пылинки приобретают отрицательный заряд. После этого они изменяют направление и движутся перпендикулярно газовому потоку, т.е. к положительно заряженной стенке трубы и сцепляются с ее поверхностью.

Так как величина силы сцепления незначительна, то при легком встряхивании электрода с помощью специальных встряхивающих устройств пылинки отрываются от него и падают вниз.

Пылинки, получившие положительный заряд, осаждаются на коронирующих электродах (1), которые также имеют встряхивающие устройства (4).

Электрофильтры работают при малых скоростях проходящего через них газового потока (0,5-1,5 м/с). С возрастанием скорости движения газа пылеулавливающая способность электрофильтра снижается.

Электрофильтры изготавливают односекционными и двухсекционными.

По назначению электрофильтры разделяются на три группы:

- для очистки сухих газов;
- для очистки увлажненных газов;
- для очистки пыли из корродирующих газов.

Различают электрофильтры с вертикальным ходом газа (вертикальные электрофильтры) и с горизонтальным ходом (горизонтальные электрофильтры).

Электрофильтры хорошо очищают газ при температуре, не превышающей 250⁰С. При более высокой температуре работа электрофильтра ухудшается. При высоких температурах происходит сильный разогрев осадительных электродов и рам коронирующих электродов, что может вызвать их коробление.

При значительной запыленности газов и особенно при наличии в них грубой фракции пыли перед электрофильтрами часто устанавливают батарейные циклоны для предварительной очистки газов, устранения перегрузки электрофильтра и повышения таким путем его степени очистки, т.е. применяют комбинированные пылеулавливающие установки.

Скрубберы применяются для мокрой очистки газов. Наибольшее распространение получили центробежные скрубберы, степень очистки в которых, в зависимости от дисперсности пыли, достигает 85-95%.

На рис. 9.50 приведена схема центробежного скруббера. Он представляет вертикально установленный цилиндрический аппарат с конической нижней частью, которая предназначена для сбора пульпы и оборудована гидравлическим затвором-мигалкой для удаления пульпы. Осажденная в скруббере пыль выходит из него в виде пульпы, содержащей 85-95% воды.

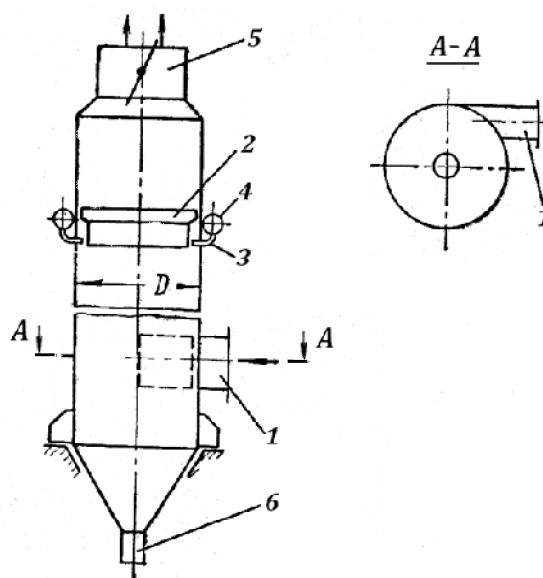


Рис. 9.50. Схема центробежного скруббера:

- 1 –штуцер для входа запыленного газа; 2 – брызгоуловитель; 3 – сопла (форсунки); 4 – коллектор; 5 – штуцер для выхода очищенного газа; 6 – штуцер для выгрузки пульпы

Запыленные газы вводятся в скруббер через штуцер (1), расположенный тангенциально к корпусу аппарата. Вследствие этого газовый поток сразу приобретает вращательное движение и одновременно поднимается вверх и выходит из аппарата через штуцер (5). Из кольцевого коллектора (4) через сопла (форсунки) (3) во внутреннюю полость в скруббер поступает вода, которая подается на внутреннюю стенку аппарата и образует тонкую водяную пленку. Чтобы уменьшить вынос частиц воды газовым потоком, над соплами расположен брызгоуловитель (2).

Частицы пыли, содержащиеся в потоке, под действием центробежной силы отбрасываются в радиальном направлении к стенке скруббера, смачиваются водяной пленкой и смываются в нижнюю часть аппарата и через штуцер (6) выводится из него.

Скорость газа во входном штуцере рекомендуется принимать в пределах 15-25 м/с, т.к. при больших скоростях увеличивается сопротивление скруббера, а при меньших – значительно снижается степень очистки газа.

9.7. Устройства для сжигания топлива

Установки, предназначенные для сжигания топлива с целью получения теплоносителя необходимых параметров, используемого в печах с вращающимся барабаном, сушилках, сушилках-грануляторах, называются *топками*.

Топки должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- обеспечение полного сжигания топлива и высокую экономичность его использования;
- надежность в работе и простота обслуживания;
- безопасность в эксплуатации.

Они классифицируются по сжигающему топливу на газовые, мазутные и на твердом топливе; по месту расположения – на отдельно стоящие и встроенные.

В барабанных аппаратах для проведения технологических процессов может применяться твёрдое, газообразное и жидкотопливо.

Конструкции и приспособления, при помощи которых подводится сжигаемое топливо и воздух, перемешивают их и осуществляют горение, называются *приборами сжигания*.

Эти приборы, в зависимости от сжигаемого топлива, можно разделить на следующие группы:

- горелки для сжигания твёрдого топлива;
- горелки для сжигания газа;
- форсунки для сжигания мазута.

В качестве твёрдого топлива используют порошкообразный уголь, который получают предварительным измельчением.

Горелки, применяемые для сжигания угольной пыли, могут быть одноканальные и двухканальные.

Газообразное топливо широко используется для отопления печей химической промышленности, в том числе и барабанных аппаратов. С теплотехнической точки зрения газ является наиболее совершенным топливом, т.к. его удобно подводить к печам, сжигать непосредственно в рабочем пространстве и получать необходимую температуру. Сжигание газа позволяет создавать факел необходимой длины для наилучшего проведения технологического процесса, и получать характер горения, обеспечивающий наивысший КПД печи.

Газообразное топливо позволяет полностью автоматизировать регулирование температуры в печи и контролирование горения. В качестве газообразного топлива используют природный газ и газы нефтепереработки, а на некоторых заводах водород или сжиженные газы.

Для сжигания газа применяются различные типы и конструкции горелок, выбор которых определяется свойством газа, размерами печей и установок, характером технологических процессов и др.

Газогорелочные устройства в зависимости от способа подачи воздуха подразделяются на следующие типы:

- горелки диффузионные, когда воздух поступает к пламени из окружающей атмосферы;
- горелки инжекционные однопроводные и двухпроводные, когда воздух засасывается в горелку;
- горелки двухпроводные, трёхпроводные, смесительные с принудительной подачей воздуха;
- горелки комбинированные газо-мазутные, пылегазовые, пыле-газо-мазутные.

По давлению газа перед газогорелочным устройством они разделяются на горелки низкого давления до 5 кН/м^2 , горелки среднего давления от 5 до 300 кН/м^2 и горелки высокого давления свыше 300 кН/м^2 .

В зависимости от метода сжигания газогорелочные устройства могут быть факельными и бесфакельными. От характера смесеобразования газогорелочные

устройства подразделяются: полного предварительного смешения, частичного смешения и незавершённого смешения.

В зависимости от теплотворной способности газа горелки подразделяются на высоко- и низкотеплотворные.

Наибольшее распространение в качестве жидкого топлива для печей и сушилок получил мазут, получающийся как остаток после переработки нефти.

Для сжигания мазута применяются форсунки. Они служат для распыления топлива, регулирования его подачи, смешения топлива с воздухом и создания определённого по форме, длине и направлению факела.

К форсункам предъявляются следующие требования:

- тонкое и равномерное распыление топлива;
- хорошее смесеобразование топлива с воздухом в самой форсунке или непосредственно за нею до выхода смеси в топочную камеру;
- тонкое и лёгкое регулирование расхода топлива с сохранением заданного соотношения топливо-воздух и максимальным использованием энергии распылителя во все периоды регулирования;
- устойчивый факел заданной формы и длины;
- прочность и простота конструкции;
- надёжность и удобство эксплуатации и др.

Все форсунки по основным конструктивным признакам и по способу распыления делятся на четыре группы:

- механические – форсунки непосредственного распыления топлива;
- высокого давления – форсунки с распыляющей средой высокого давления (пар, воздух);
- низкого давления – форсунки с распылением вентиляторным или эжекторным воздухом;
- комбинированные – преимущественно газомазутные форсунки.

В печах и топках используются в основном форсунки низкого давления с распылением вентиляторным воздухом. Эти форсунки работают при малых скоростях распылителя 50-75 м/сек и при большом его объёме.

В качестве распылителя в них используют только воздух давлением от 3 до 6 кН/м². Количество воздуха для распыления составляет до 100 % от теоретически рассчитанного для горения.

Абсолютное давление мазута составляет 147-245 кН/м².

9.8. Дымовые трубы

Дымовые трубы позволяют создавать разрежение, необходимое для движения продуктов горения топлива и реакционных газов, выделяющихся при технологическом процессе в аппарате, с удалением их в окружающее пространство на достаточно большой высоте. В большинстве случаев выбрасываемые газы содержат вредные вещества, предельно допустимые концентрации которых регламентированы санитарными нормами проектирования предприятий. Поэтому, после определения высоты трубы по

необходимому разрежению, необходима проверка на удельные концентрации газа у поверхности земли.

В соответствии с требованиями санитарной техники и пожарной охраны высота дымовой трубы должна быть на 3-5 м выше конька наиболее высокого здания в радиусе 100 м.

Дымовые трубы, применяемые в химической промышленности, различаются в зависимости от агрессивности газов, их температуры и по высоте (рис. 9.51).

Железобетонные трубы (рис. 9.51,а) имеют максимальную высоту 200 м, допустимая температура газов 200°C . Трубы из обычного бетона, при наличии футеровки и теплоизоляции, не должны нагреваться более 500°C .

Кирпичные дымовые трубы (рис. 9.51,б) имеют максимальную высоту 150 м; допустимая температура пропускаемых через них газов до 800°C .

Металлические фундаментные трубы (рис. 9.51,в) имеют максимальную высоту 60 м, допустимая температура газов до 800°C .

Для выброса агрессивных газов из печей чаще применяют металлические трубы, собранные из отдельных царг из коррозионнотойкой стали, высотой до 150 м, установленных на специальных опорных конструкциях, позволяющих замену любой части трубы в случае выхода её из строя.

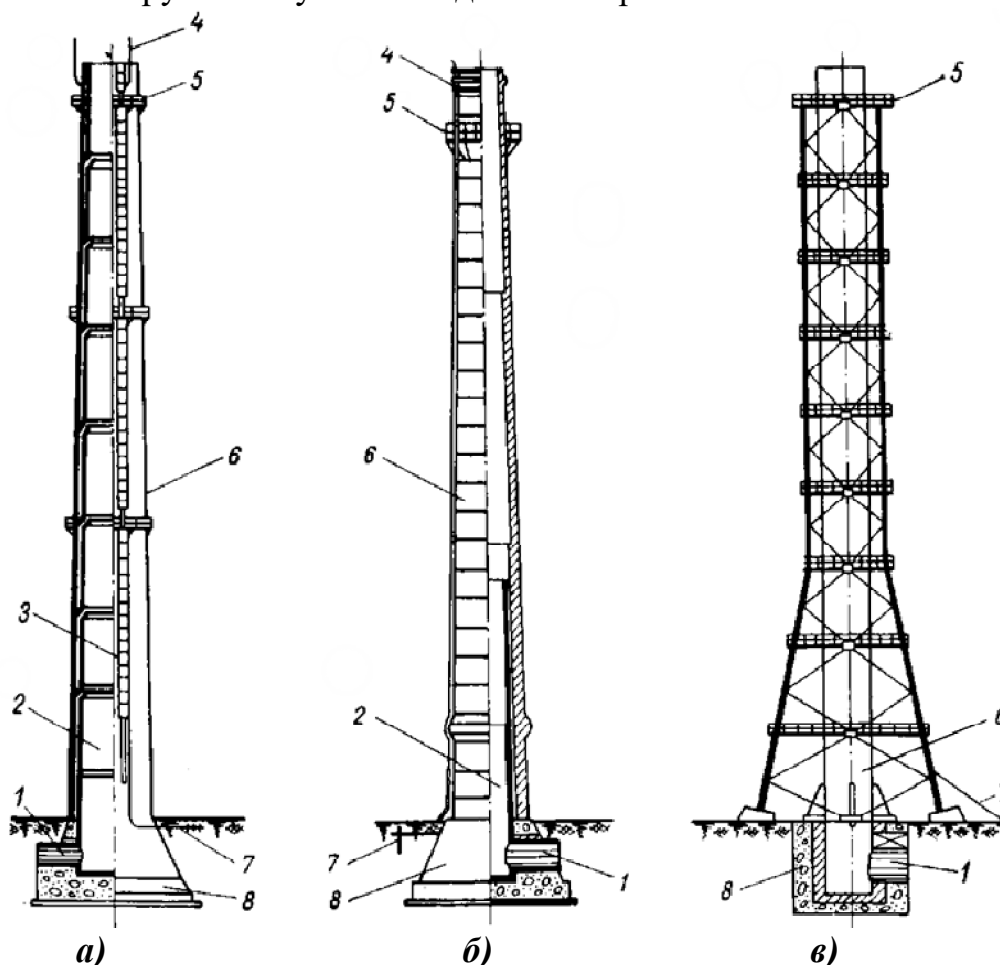


Рис. 9.51. Дымовые трубы: а – железобетонная; б – кирпичная; в – металлическая;

1 – боров; 2 – футеровка; 3 – лестница; 4 – молниеотвод; 5 – площадка;
6 – ствол трубы; 7 – заземление; 8 – фундамент

Площадь поперечного сечения устья трубы определяется по формуле:

$$F = \frac{V_{\Gamma}}{\omega}, \quad (9.12)$$

отсюда диаметр в устье трубы можно определить по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{4V_{\Gamma}}{\pi\omega}}, \quad (9.13)$$

где V_{Γ} – часовой объем отходящих газов, м³/сек;

ω – скорость газа в устье трубы, м/сек.

Скорость газов принимают 3-5 м/с. При колебании расхода топлива скорость газов не должна выходить за пределы 2-8 м/с. При скорости меньше 2 м/с возникает опасность затекания холодного воздуха через устье трубы, а при скорости больше 8 м/с слишком велико гидравлическое сопротивление трубы.

Для кирпичных, железобетонных и футерованных металлических труб минимальный диаметр устья должен быть не менее 800 мм.

Величина разрежения ΔP , требуемого для нормальной работы печи, определяется по сумме величин местных сопротивлений $\sum h_M$, сопротивлений трения $\sum h_T$ и связанных с наличием геометрического напора $\sum h_G$:

$$\Delta P = K(\sum h_M + \sum h_T + \sum h_G), \quad (9.14)$$

где K – коэффициент, учитывающий изменение режима работы печи и неучтенные сопротивления (подсос воздуха и др.); $K = 1,2-1,4$.

При определении величины потери напора по пути движения дымовых газов учитывается сопротивление всего дымового тракта до дымовой трубы, а также сопротивление самой дымовой трубы.

Высота дымовой трубы определяется по формуле:

$$H = \frac{\Delta P}{(\rho_g - \rho_z)g \frac{B}{1,01325 \cdot 10^5}}, \quad (9.15)$$

где ΔP – необходимое разрежение, Па;

ρ_g – плотность воздуха при максимальной для данного района летней температуре, кг/м³;

ρ_z – плотность отходящих газов при средней температуре в дымовой трубе, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

B – барометрическое давление, Па.

Плотность воздуха при 0°С может быть принята равной 1,29 кг/м³, дымовых газов – 1,3 кг/м³. При расчетах следует учитывать падение температуры в каналах вследствие отдачи тепла в окружающую среду.

Падение температуры (в град/пог. м) газов в дымовых трубах можно принимать следующей: металлические нефутерованные – 2,0-4,0; кирпичные – 0,5-2,5.

Средняя температура воздуха t'_e по высоте трубы определяется по формуле:

$$t'_e = t'_e - \frac{\sqrt{H}}{2}, \quad (9.16)$$

где H – ориентировочная высота трубы, м;

t'_e – температура воздуха у основания трубу, зависящая от климатических условий, °С.

10. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ БАРАБАННЫХ АППАРАТОВ НА ПРОЧНОСТЬ

После определения конструктивных размеров барабана производится расчет на прочность его основных элементов и узлов, расчет затрат мощности, подбор электродвигателя и других элементов привода.

Одним из неперенных требований, которые предъявляются к оборудованию, является требование механической прочности конструкций, которая, в свою очередь, тесно связана с надежностью и долговечностью.

Целью расчетов является определение конструктивных размеров основных узлов барабанных аппаратов с позиции соблюдения условий прочности. Исходя из конструктивных соображений необходимо выбрать расчетную схему отдельных узлов и деталей, схему их нагружения и определить характер нагрузок.

10.1. Расчет корпуса барабана на прочность

Исходными данными для механических расчетов служат результаты технологических расчетов, такие как внутренний диаметр барабана, его длина, угол наклона, масса обрабатываемого материала.

Если барабан футерован, необходимо знать параметры футеровки – ее массу, толщину.

Исходя из конструктивных соображений, а также пользуясь стандартами, выбирают схему аппарата, т.е. число опор, расстояние между ними и др.

С расчетной точки зрения барабан представляет собой балку кольцевого сечения на двух или более (многоопорные барабаны) опорах, на которую действуют равномерно распределённые и сосредоточенные нагрузки.

К равномерно распределенным нагрузкам относятся: сила тяжести от массы корпуса барабана, массы футеровки и тепловой изоляции, массы внутренних устройств и массы находящегося в барабане материала.

Сосредоточенными нагрузками являются: сила тяжести от массы зубчатого венца с элементами крепления его к корпусу, сила тяжести от массы бандажей.

У футерованных барабанов 60-65% общей массы корпуса приходится на футеровку, собственная масса барабана составляет 20-25% и примерно 15% приходится на массу обрабатываемого материала.

У нефутерованных барабанов масса материала составляет, в зависимости от коэффициента заполнения, до 60% от общей массы.

При движении материала вдоль оси барабана, как сечение слоя, так и его насыпная плотность изменяются. Поэтому более правильно было бы разбить барабан на участки и определять нагрузку от веса материала для каждого участка. Кроме того, материал в барабане смещается в сторону его вращения, поэтому равнодействующая внешних нагрузок на корпус несколько смещается от его вертикальной плоскости симметрии. Однако, учитывая, что масса материала невелика по сравнению с массой барабана, принимают гипотезу о постоянстве удельной нагрузки от массы материала по всей длине барабана. При этом принимают также, что равнодействующая всех внешних нагрузок распределена в вертикальной плоскости симметрии барабана.

Корпуса барабанов подвержены также действию крутящего момента и окружного усилия, возникающего на зубьях венца в месте зацепления его с подвенцовой шестерней.

По сравнению с изгибающими моментами крутящий момент невелик, и касательные напряжения, возникающие от его действия, незначительны по сравнению с нормальными напряжениями от действия изгибающих моментов. Поэтому действием крутящего момента при расчёте корпусов барабанов на прочность часто пренебрегают. Привод барабанных аппаратов расположен так, что окружное усилие направлено вверх. Поэтому в расчётах на прочность его обычно также не учитывают.

Величину равномерно распределенной (линейной) нагрузки в пределах длины определенного участка барабана находят по формуле:

$$q_i = \frac{m_i g}{l_i}, \quad (10.1)$$

где m_i – суммарная масса на длине участка;

l_i – длина участка;

g – ускорение свободного падения.

Если линейная нагрузка распределена равномерно по всей длине барабана, тогда формула для вычисления нагрузки примет вид:

$$q = \frac{m g}{L}, \quad (10.2)$$

где m – суммарная масса барабана;

L – длина барабана.

Толщину стенки барабана предварительно принимают по формуле $S = (0,007 - 0,011)D$, где D – диаметр барабана.

После определения количественных значений внешних нагрузок и составления схемы нагружения барабана проводят прочностной расчет.

Расчет проводят с определением изгибающих напряжений, исходя из основного уравнения прочности:

$$\sigma_u = \frac{M_{\max}}{0,8W} \leq [\sigma_u], \quad (10.3)$$

где σ_u – напряжения в стенке барабана;

M_{\max} – максимальный изгибающий момент;

W – момент сопротивления поперечного сечения стенки барабана изгибу;

$0,8$ – коэффициент, учитывающий ослабление обечайки сварными швами, люками и др.;

$[\sigma_u]$ – допускаемые изгибающие напряжения для материала барабана.

Момент сопротивления можно рассчитать по формуле для тонкостенных обечаек, к которым относятся обечайки барабанных аппаратов:

$$W = \frac{\pi D^2}{4} s, \quad (10.4)$$

где D – внутренний диаметр барабана;

s – толщина стенки барабана.

Поскольку корпус барабана испытывает знакопеременные нагрузки и нормальные напряжения в его сечении изменяются по симметричному циклу, поэтому за основную механическую характеристику материала корпуса при определении допускаемых напряжений принимается предел выносливости σ_{-1} :

$$\sigma_{-1} \approx 0,43\sigma_\sigma, \quad (10.5)$$

где σ_σ – предел прочности (временное сопротивление) материала корпуса.

Допускаемые напряжения можно определить по формуле:

$$[\sigma_u] = \frac{\sigma_{-1}}{n}, \quad (10.6)$$

где n – коэффициент запаса прочности, $n = 4 \div 5$.

Барабанные аппараты рассчитываются на прочность по формулам для расчета балок. Для двухопорных барабанов с равномерно распределенной нагрузкой, с опорами, расположенными по краям, изгибающий момент будет равен:

$$M = \frac{q \cdot L^2}{8}, \quad (10.7)$$

где q – удельная нагрузка на единицу длины барабана;
 L – длина барабана.

Обычно барабанные аппараты имеют консольно расположенные концы (рис. 10.1).

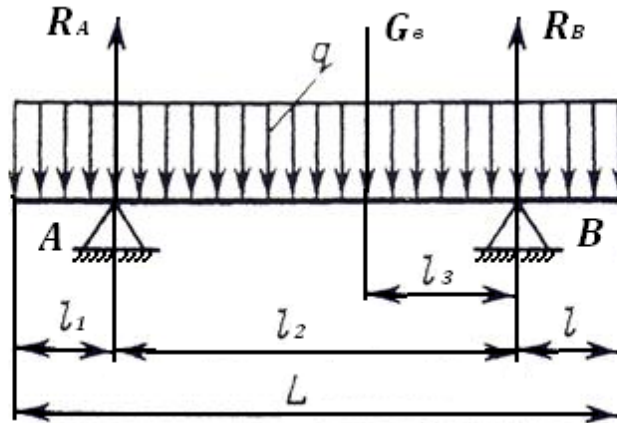


Рис. 10.1. Эскиз к расчету двухопорного барабана

Расстояние между опорами принимается равным:

$$l_2 = 0,586L. \quad (10.8)$$

В этом случае изгибающий момент будет минимальным и равным при равномерно распределенной нагрузке:

$$M = \frac{q \cdot L^2}{47}. \quad (10.9)$$

Для балки с равномерно распределенной нагрузкой q и сосредоточенной нагрузкой G_B (приложенной в точке) изгибающий момент можно определить по формуле:

$$M_{max} = \frac{qL(2l_2 - L)}{8} + \frac{G_B l_3 (l_2 - l_3)}{l_2}, \quad (10.10)$$

где G_B – сила тяжести от массы венца с элементами его крепления;

R_A и R_B – реакции опор, которые могут быть определены по формулам;

$$R_A = \frac{qL}{2} + \frac{G_B l_3}{l_2}, \quad (10.11)$$

$$R_B = \frac{qL}{2} + \frac{G_B (l_2 - l_3)}{l_2}. \quad (10.12)$$

10.2. Расчет корпуса многоопорного барабанного аппарата

Многоопорный барабанный аппарат с расчетной точки зрения представляет собой статически неопределимую балку кольцевого сечения, на которую действуют внешние нагрузки, под действием которых в корпусе возникают продольно направленные опорные и межопорные изгибающие моменты, вызывающие внутренние напряжения в продольных и поперечных сечениях корпуса.

10.2.1. Определение опорных изгибающих моментов

Опорные изгибающие моменты определяют при помощи уравнения трех моментов или методом последовательных приближений. Чаще применяют уравнение трех моментов.

Для корпуса с равномерно распределенной нагрузкой по длине пролетов уравнение трех моментов имеет вид:

$$M_{n-1} \frac{l_n}{J_n} + 2M_n \left(\frac{l_n}{J_n} + \frac{l_{n+1}}{J_{n+1}} \right) + M_{n+1} \frac{l_{n+1}}{J_{n+1}} = - \left(\frac{q_n l_n^3}{4J_n} + \frac{q_{n+1} l_{n+1}^3}{4J_{n+1}} \right), \quad (10.13)$$

где M_n – изгибающий момент над опорой n ;

l_n – длина пролета расположенного перед опорой n , если вести отчет слева направо;

J_n – момент инерции сечения корпуса по длине пролета n ;

q_n – равномерно распределенная нагрузка по длине пролета n .

Если, кроме равномерно распределенной нагрузки, по длине рассматриваемого пролета приложена сосредоточенная сила P на расстоянии c и d от левой и правой опоры, то в правую часть уравнения трех моментов вводится добавочное слагаемое:

- для пролета l_n

$$Pc_n d_n \left(1 + \frac{c_n}{l_n} \right), \quad (10.14)$$

- для пролета l_{n+1}

$$Pc_{n+1} d_{n+1} \left(1 + \frac{d_{n+1}}{l_{n+1}} \right). \quad (10.15)$$

Момент инерции барабана определяют по формуле:

$$J = \frac{\pi(D_n^4 - D_g^4)}{64}, \quad (10.16)$$

где D_n, D_g – наружный и внутренний диаметры барабана, соответственно.

Если диаметр барабана по его длине одинаковый, то уравнение трех моментов упрощается:

$$M_{n-1}l_n + 2M_n(l_n + l_{n+1}) + M_{n+1}l_{n+1} = -\frac{1}{4}(q_n l_n^3 + q_{n+1} l_{n+1}^3). \quad (10.17)$$

Опорные моменты над крайними опорами (рис. 10.2) можно определить по формулам:

$$M_1 = -\frac{q_1 L_1^2}{2}; \quad M_n = -\frac{q_{n+1} L_{n+1}^2}{2}. \quad (10.18)$$

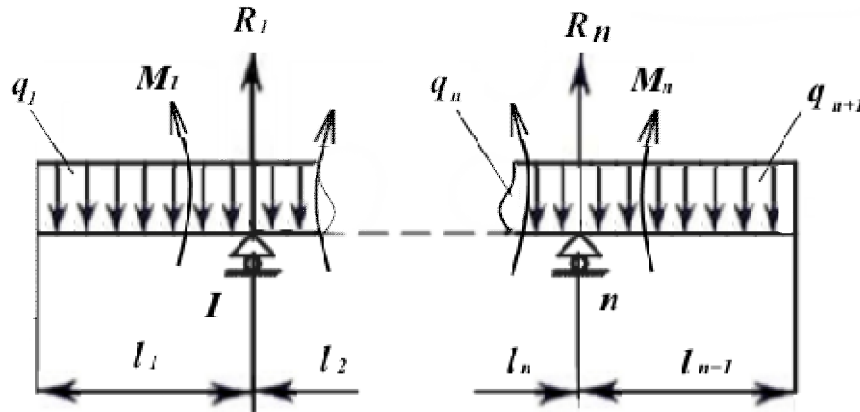


Рис. 10.2. Схема нагружения к расчету изгибающих моментов над крайними опорами

Следовательно, для барабана, имеющего n опор, необходимо составить $n-2$ уравнений трех моментов для определения моментов в сечениях над остальными опорами и решить эту систему.

10.2.2. Определение реакции опор

При известных опорных моментах каждый пролет барабана можно рассматривать как отдельную, шарнирно закрепленную балку, на которую действует внешняя нагрузка и опорные изгибающие моменты (рис. 10.3).

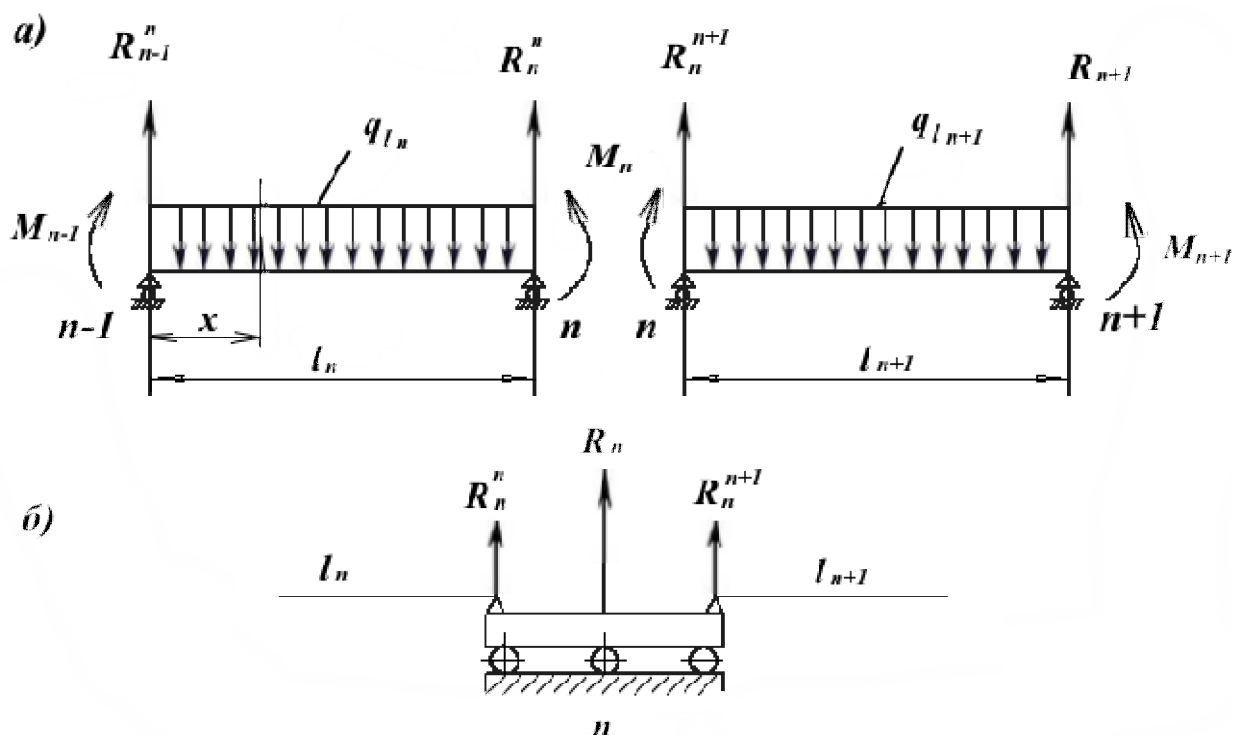


Рис. 10.3. Эскизы к расчету опорных реакций:

а – эскизы нагрузок к расчету опорных реакций; б – схема реакции опоры n

Рассматривая сумму моментов относительно опоры $n-1$ и опоры n для пары смежных пролетов l_n и l_{n+1} отдельно, находят составляющие реакции опоры n . Реакции опор пролета l_n :

$$R_{n-1}^n = q \frac{l_n}{2} + \frac{M_n}{l_n} - \frac{M_{n-1}}{l_n}, \quad (10.19)$$

$$R_n^n = q \frac{l_n}{2} - \frac{M_n}{l_n} + \frac{M_{n+1}}{l_n}. \quad (10.20)$$

При рассмотрении пролета l_{n+1} получим:

$$R_n^{n+1} = q \frac{l_{n+1}}{2} - \frac{M_n}{l_{n+1}} + \frac{M_{n+1}}{l_{n+1}}. \quad (10.21)$$

Первое слагаемое правой части каждого из приведенных уравнений отражает влияние на опору внешней нагрузки, а два других слагаемых обусловлены опорными моментами.

Полная реакция опоры n находится как сумма ее составляющих:

$$R_n = R_n^n + R_n^{n+1}. \quad (10.22)$$

Верхний индекс у букв реакций опор обозначает номер пролета, а нижний – номер опоры.

Сумма всех реакций должна быть равна сумме всех внешних сил, действующих на корпус барабана. Это правило применяют для проверки правильности нахождения реакций опор.

10.2.3. Определение межопорных изгибающих моментов

Межопорные изгибающие моменты определяются также с учётом того, что при известных опорных моментах каждый пролёт балки можно рассматривать как отдельную, шарнирно закреплённую балку. При этом часто пользуются методом сечений, при котором в сечении на расстоянии x от правой или левой опоры рассматривают действие моментов относительно этого сечения и составляют сумму моментов относительно его (рис. 10.3, а).

Чтобы найти значения, при котором изгибающий момент будет наибольшим, необходимо взять первую производную от момента по x и приравнять ее к нулю. Решая полученную зависимость относительно x , найдем координату максимального момента.

При определении опорных и межопорных моментов применяют правила знака момента, принятые при расчетах балок.

На рис. 10.4 приведены эпюры изгибающих моментов $M(x)$ для корпуса химической печи $3,5 \times 60$ м с равномерно распределенной нагрузкой $q = 94,2$ мН/м и сосредоточенной нагрузкой от силы тяжести зубчатого венца $G_B = 171$ кН.

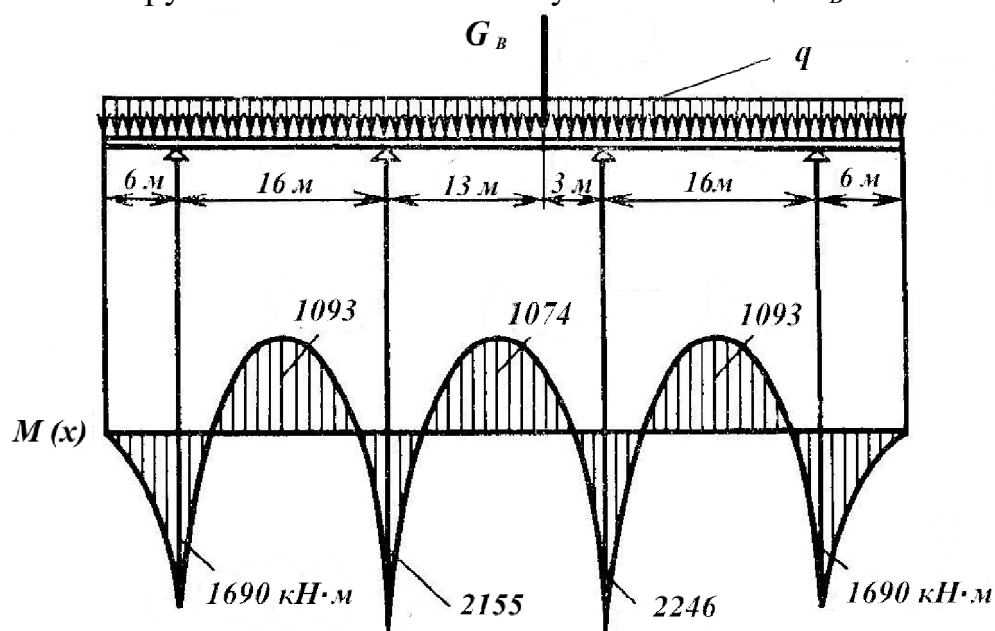


Рис. 10.4. Эпюры изгибающих моментов $M(x)$ для корпуса вращающейся химической печи $3,5 \times 60$ м.

Расчетным моментом M_{max} для использования в формуле (10.3) принимается наибольший по абсолютному значению момент из числа опорных или межопорных. Если при расчете корпуса на прочность условие (11.3) не будет выполняться, то необходимо увеличить толщину стенки S .

Анализ расчетов многоопорных аппаратов показывает, что опорные изгибающие моменты по величине, в среднем, примерно в два раза превышают межопорные моменты.

Давление на опоры у многоопорных аппаратов распределяется неравномерно. Причиной этого является неправильное положение роликов по высоте, что может происходить от несоблюдения технических требований при монтаже аппарата, несоблюдения правил технической эксплуатации, в результате износа роликов и др.

Отклонение от нормального положения опор по высоте сопровождается возникновением в сечениях корпуса барабана дополнительных изгибающих моментов и изменением реакций опор.

Даже при незначительном повышении высоты одной из опор (до 5 мм) вызывает увеличение ее реакции примерно на 40%. Реакции смежных опор при этом будут уменьшаться. При понижении высоты опоры ее реакция будет уменьшаться, а реакции смежных опор будут увеличиваться.

Подобные изменения будут происходить и с опорными и межопорными изгибающими моментами.

Все это может вызывать повышенный износ корпуса барабана, бандажей, роликов, подшипников и других узлов и деталей.

10.3. Расчет бандажей и опорных роликов

Основной нагрузкой, действующей на бандаж, является давление, производимое корпусом барабана. Собственный вес бандажа составляет примерно 7-10% от давления корпуса.

У бандажей, свободно посаженных на корпус, сила давления, равная нулю в верхних сечениях, постепенно возрастает в последующих нижних сечениях и достигает наибольшей величины в нижнем вертикальном сечении (рис. 10.5).

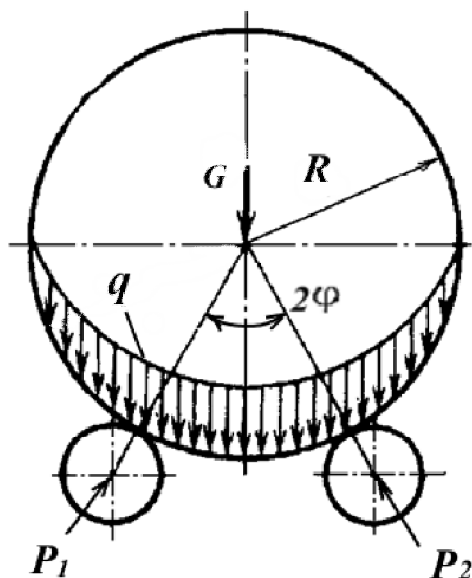


Рис. 10.5. Схема распределения нагрузки на свободно посаженный бандаж

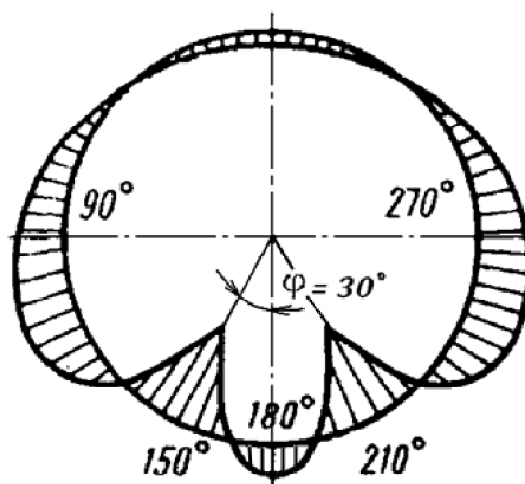


Рис. 10.6. Эпюра изгибающих моментов в свободно посаженном бандаже

У бандажей, жёстко закрепленных на корпусе барабана, нагрузка на бандаж распределена равномерно по всей окружности с удельным усилием q . (рис. 10.7), которое можно определить по формуле:

$$q = \frac{P_1}{2\pi R}, \quad (10.23)$$

где P_1 – нагрузка на опорный ролик;

R – внутренний радиус бандаж.

Условие контактной прочности для случая, когда бандаж и ролик изготовлены из разных материалов, с разным модулем упругости, можно записать в виде:

$$\sigma_k = 0,59 \sqrt{\frac{P_1}{B_\sigma} \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2} \frac{R+r}{R \cdot r}} \leq [\sigma_k]. \quad (10.24)$$

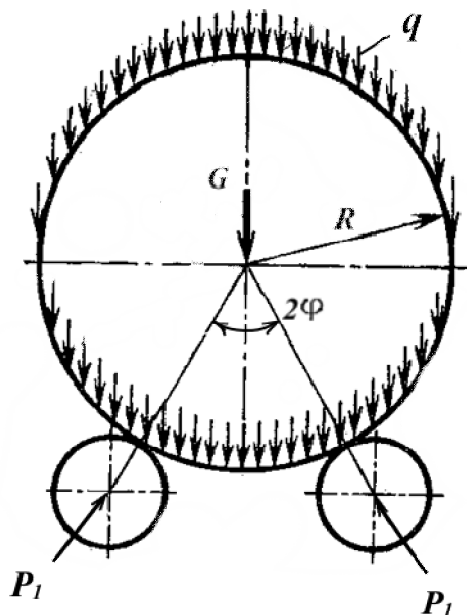


Рис. 10.7. Схема распределения нагрузки на жестко посаженный бандаж

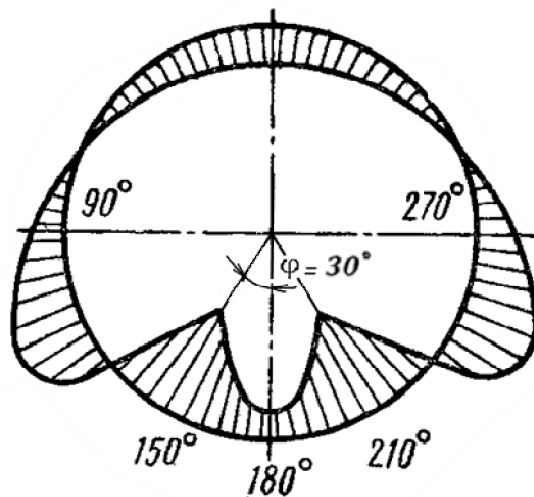


Рис. 10.8. Эпюра изгибающих моментов в жестко посаженном бандаже

Для бандаж и ролика, изготовленных из материалов с одинаковым модулем упругости (сталь-сталь), зависимость несколько упрощается:

$$\sigma_k = 0,418 \sqrt{\frac{P_1}{B_\sigma} E_{np} \frac{R+r}{R \cdot r}} \leq [\sigma_k], \quad (10.25)$$

где σ_k – контактные напряжения, возникающие на рабочей поверхности бандаж;

P_1 – нагрузка на опорный ролик;

B_σ – ширина бандаж;

E_1 и E_2 – модуль продольной упругости материала бандажа и опорного ролика, соответственно;

$$E_{np} \text{ – приведенный модуль упругости, } E_{np} = \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2};$$

R, r – радиусы бандажа и ролика, соответственно;

$[\sigma_k]$ – допускаемые контактные напряжения.

На основании данных практики для материалов, из которых изготавливают бандажи, допускаемые контактные напряжения $[\sigma_k]$ можно принять в пределах 400-600 МПа.

Расчет на контактную прочность позволяет определить ширину бандажа B_6 .

Расчет бандажей на изгиб проводят по максимальному изгибающему моменту M_{max} . Эпюра изгибающих моментов симметрична относительно вертикальной оси. При угле между роликами $2\varphi = 60^\circ$ максимальный момент будет в месте контакта бандажа с роликами, т.е. при $\alpha = 150^\circ$ и $\alpha = 210^\circ$ (рис. 10.6, рис. 10.8).

Максимальный изгибающий момент можно определить по формуле:

$$M_{max} = AP_1R, \quad (10.26)$$

где A – коэффициент, зависящий от характера нагрузки и способа крепления бандажа;

P_1 – нагрузка, действующая на бандаж;

R – внутренний радиус бандажа.

Согласно данным З.Б. Канторовича, коэффициент A изменяется в пределах от 0,0633 для бандажей, свободно насаженных на корпусе барабана, до 0,0857 для бандажей, жестко закрепленных.

Для практических расчетов можно принимать $A = 0,07$ – для бандажей, свободно насаженных на корпус барабана; $A = 0,09$ – для бандажей, жестко закрепленных.

Условие прочности бандажа на изгиб можно проверить расчетом по формуле:

$$\sigma_u = \frac{M_{max}}{W_6} \leq [\sigma_u], \quad (10.27)$$

где σ_u – изгибающие напряжения, возникающие в поперечном сечении бандажа;

W_6 – момент сопротивления поперечного сечения бандажа изгибу, зависящий от формы его поперечного сечения.

Для бандажей прямоугольной формы:

$$W_{\sigma} = \frac{B_{\sigma} h_{\sigma}^2}{6}, \quad (10.28)$$

где B_{σ}, h_{σ} – ширина и высота поперечного сечения бандажа, соответственно;
 $[\sigma_u]$ – допускаемые напряжения на изгиб; принимают для конкретного материала с учетом знакопеременного цикла нагружения. Как показала практика эксплуатации бандажей, для стальных бандажей можно принять $[\sigma_u]$ 50 МПа.

Исходя из формулы (10.27) и (10.28), можно определить высоту бандажа:

$$h_{\sigma} = \sqrt{\frac{6M_{max}}{B_{\sigma}[\sigma_u]}}. \quad (10.29)$$

Ширина опорного ролика должна превышать ширину бандажа на сумму тепловой деформации корпуса и зазоров между упорными роликами и боковыми поверхностями бандажей:

$$B_p = B_{\sigma} + \alpha \cdot \Delta t \cdot L + \Delta, \quad (10.30)$$

где α – коэффициент линейного расширения материала барабана;

Δt – разность температур барабана при монтаже и в рабочем состоянии на рассматриваемом участке корпуса;

L – расстояние между опорами;

Δ – зазор между упорными роликами и боковой поверхностью бандажа (конструктивная прибавка), $\Delta = 30-40$ мм.

Согласно практическим данным, ширина опорного ролика должна быть в пределах:

$$B_p = (1,2 - 1,4)B_{\sigma}. \quad (10.31)$$

Диаметр опорного ролика D_p принимают в зависимости от наружного диаметра бандажа D_{σ} в пределах:

$$D_p = (0,25 - 0,33)D_{\sigma}. \quad (10.32)$$

10.4. Расчет упорных роликов

Упорные ролики воспринимают нагрузку от осевой составляющей общей массы барабана, которую определяют по формуле:

$$T = mg \sin \alpha, \quad (10.33)$$

где m – масса барабана;

g – ускорение силы тяжести;

α – угол наклона барабана к горизонту.

На рис. 10.9 приведена схема нагружения опорно-упорного узла.

В процессе эксплуатации упорные ролики испытывают напряжения смятия при контакте с боковой поверхностью бандажа, что вызывает необходимость их расчета на контактную прочность.

Условие контактной прочности можно записать в виде:

$$\sigma_k = 0,83 \sqrt{\frac{T \cdot E_{np}}{B_y \cdot D_y}} \leq [\sigma_k], \quad (10.34)$$

где T – сила давления на упорный ролик;

E_{np} – приведенный модуль упругости;

B_y, D_y – ширина и диаметр упорного ролика, соответственно.

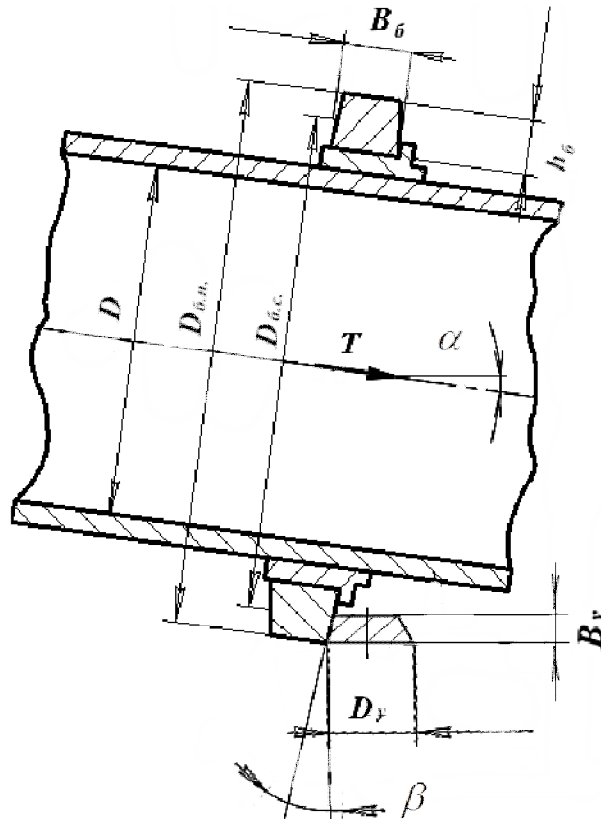


Рис. 10.9. Схема нагружения опорно-упорного узла

Допускаемые напряжения смятия (контактные напряжения) по данным НИИХИММАША можно принять равными пределу прочности материала роликов.

Диаметр упорного ролика можно вычислить по формуле:

$$D_y = D_{б.н.} \frac{\sin \beta}{2}, \quad (10.35)$$

где $D_{б.н.}$ – наружный диаметр бандажа;

β – угол конусности упорного ролика, $\beta = 17-18^\circ$.

Минимальную толщину ролика, исходя из контактной прочности, можно определить по формуле:

$$B_{y.min} = 0,7 \frac{T \cdot E_{np}}{[\sigma_k]^2 D_y}, \quad (10.36)$$

Прочностные расчеты других деталей барабанных аппаратов (оси опорных и упорных роликов, стяжки роликов, упорные болты, подшипники, зубчатая передача и др.) выполняют по типовым методам расчета деталей машин.

11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ, ПОТРЕБЛЯЕМОЙ БАРАБАНЫМИ АППАРАТАМИ

Мощность, затрачиваемая на вращение барабана, расходуется: на преодоление трения качения бандажей по опорным роликам, трения осей роликов в подшипниках, трения материала о внутреннюю поверхность стенки барабана, на подъем материала на некоторую высоту, а также на трение в уплотнительных устройствах и др.

Согласно методики, принятой НИИХИММАШем, расход мощности на вращение барабана определяется через суммарный статический момент M_c относительно оси вращения барабана, который необходим для преодоления всех сопротивлений, указанных выше. Предварительно определяются статические моменты для каждого вида сопротивлений.

Момент трения качения бандажей по роликам можно определить по формуле:

$$M_1 = (R_o + R_p) \frac{\kappa}{R_p} \frac{G + G_o}{\cos \varphi}, \quad (11.1)$$

где R_o, R_p – радиусы бандажа и опорного ролика, соответственно, м;

κ – коэффициент трения качения бандажа по роликам; в расчетах можно принять $\kappa = 0,5 \text{ мм} = 0,0005 \text{ м}$;

G, G_o – масса барабана и масса материала внутри барабана, соответственно, кг;

φ – угол между вертикальной осью сечения барабана и осью опорного ролика, $\varphi = 30^\circ$.

Момент от трения скольжения на осях опорных роликов в подшипниках:

$$M_2 = f \frac{R_o \cdot r}{R_p} \cdot \frac{G + G_o}{\cos \varphi}, \quad (11.2)$$

где f – коэффициент трения скольжения цапфы ролика по подшипнику, $f = 0,08$;

r – радиус цапфы оси опорного ролика, м.

При определении затрат мощности барабанов на подшипниках качения коэффициент трения в подшипниках можно принять равным $K = 0,015$ мм.

Момент от трения скольжения сыпучего материала по поверхности барабана при его вращении:

$$M_3 = f_1 G_o R, \quad (11.3)$$

где f_1 – коэффициент трения материала о поверхность барабана; в расчетах можно принять $f = 0,4$;

R – внутренний радиус барабана, м.

Момент M_4 , возникающий от действия силы тяжести материала вследствие его непрерывного поднятия на высоту, определяемую углом естественного откоса α . При расчёте значения угла α принимают равным 40° .

Л.Б. Левенсон показал, что значение этого момента примерно равно значению M_3 , т.е.

$$M_4 \approx M_3. \quad (11.4)$$

Полный (суммарный) статический момент вокруг оси вращения барабана, необходимый для его вращения, будет равен сумме этих моментов:

$$M_c = \varepsilon (M_1 + M_2 + M_3 + M_4), \quad (11.5)$$

где ε – поправочный коэффициент, учитывающий потери мощности в уплотнительных и других дополнительных устройствах. На основании практических данных можно принять $\varepsilon = 1,05-0,2$.

По найденному значению M_c определяется мощность, необходимая для вращения барабана.

$$N = \frac{M_c n}{974 \cdot \eta} \quad \text{кВт}, \quad (11.6)$$

где n – число оборотов барабана, об/мин;

η – КПД привода; величина его зависит от конструкции приводного механизма: при открытом приводе $\eta = 0,85$; при смешанном $\eta = 0,9$; при закрытом $\eta = 0,95$.

На расход мощности масса находящегося в барабане материала оказывает значительно большее влияние, чем масса самого барабана.

Формула (12.6) справедлива для расчёта мощности гладких барабанов, т.е. не имеющих внутренних устройств. Насадки сильно влияют на затраты мощности, что должно учитываться при расчётах введением коэффициента влияния насадки K_n . Значения коэффициента K_n приведены в табл. 11.1.

Таблица 11.1

Тип насадки	Значение K_n
Подъёмно-лопастная	1,5 - 1,6
Распределительная	0,7 - 0,8
Перевалочная	0,3 - 0,4
Гладкие барабаны	1,0

Дополнительные затраты мощности возникают при перекосе опорных роликов, искривлении оси барабана (прогиб) вследствие тепловых деформаций, в момент пуска и др. Поэтому мощность электродвигателя выбирают на 15 – 20% выше той, которая получается расчётом

$$N_{Э.Д} = (1,15 \div 1,2)N \text{ кВт.} \quad (11.7)$$

В крупных обжиговых печах контроль зарасходом мощности ведут часто с целью контроля за исправностью их корпусов, работой опорных роликов, подшипников и других узлов, т.к. отклонения в их работе вызывают дополнительный расход мощности и её колебания.

12. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ БАРАБАННЫХ АППАРАТОВ

Надежная работа барабанных аппаратов во многом зависит от качества технического обслуживания, своевременного и качественного ремонта и соблюдения правил эксплуатации.

Особое внимание должно уделяться корпусу барабана, опорным станциям, венцовой зубчатой передаче, уплотнительным устройствам, приводу барабана.

Для определения технического состояния агрегата (печи, сушилки и др.) необходимо проводить техническую диагностику и замеры эксплуатационных параметров узлов и деталей.

Наружный осмотр корпуса барабана позволяет определить места прогаров, деформаций обечаек (вмятины, выпучины), трещины, дефекты в сварных швах. На работающем аппарате проводятся замеры биения горячего и холодного концов барабана, определяется техническое состояние уплотнений.

Ремонт корпуса барабанов печей часто связан с заменой дефектных участков путем установки новых обечаек длиной от 1,0 до 20-30 м. Наиболее часто заменяются участки по 3,0-4,0 м.

После удаления дефектного участка корпуса требуется установка подпоры под консоли корпуса для предотвращения возможного искривления оси барабана в месте установки новых обечаек. Стыковка их с корпусом является весьма трудоемкой операцией.

Качество сварки швов корпуса печей имеет важное значение, так как корпус при вращении испытывает знакопеременные нагрузки, температура стенок может достигать до 350-400⁰С.

Перед операцией стыковки готовых новых обечаек с корпусом печи необходимо проверить и обеспечить соосность соединяемых элементов.

Соосность проверяется с помощью струны и оптических приборов.

На рис. 12.1 приведена схема проверки правильности стыковки обечаек с помощью светового луча.

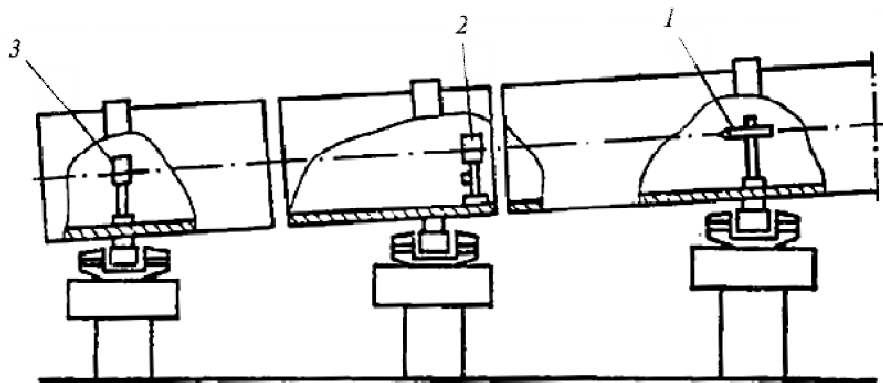


Рис. 12.1. Проверка правильности стыковки обечаек с помощью светового луча:

1 – стойка с источником света; 2 – стойка с контрольной мишенью;
3 – стойка с мишенью

Сущность этого способа заключается в следующем. Внутри печи на определенном пролете устанавливаются две стойки. На стойке (1) крепится оптическая система, а на стойке (3) – мишень. Центры оптической системы и мишени устанавливаются по оси вращения печи. Эту ось принимают за базу инструментальной выверки. Установкой на различных участках корпуса печи стойки (2) с отсчетными мишенями определяется искривление корпуса.

Однако такой способ имеет ряд существенных недостатков:

- необходимость дополнительного освещения внутри печи;
- несовершенство оптической системы не позволяет производить выверку по всей длине печи и др.

Наиболее перспективной является проверка стыковки обечаек с помощью лазерного луча.

Нарушение прямолинейности геометрической оси печи приводит к деформации корпуса, усиленному износу роликов, бандажей, подшипников опорных роликов вследствие неравномерного распределения нагрузки на опорные станции.

При применении автоматической сварки применяются специальные площадки на роликоопорах (рис. 12.2), что обеспечивает удобные и безопасные условия работы сварщиков. Сварку выполняет сварщик-автоматчик, а его помощник очищает шов от шлака.

Вращение корпуса осуществляется от вспомогательного привода со скоростью, равной скорости сварки. При сварке в зимних условиях во избежание образования трещин место сварки необходимо подогревать до 100-1500С.

После окончания сварочных работ все швы подвергают визуально-измерительному контролю, который позволяет выявить поверхностные дефекты сварочных швов, а 5% швов проверяют радиационными или ультразвуковыми методами. Особо тщательной проверке подлежат места пересечения продольного и кольцевого швов.

Замена дефектных участков корпуса новыми обечайками производится с помощью специально сооруженной эстакады и монтажной тележки с прокладкой рельсового пути для перемещения тележки. Эстакада сооружается на всю длину заменяемого участка корпуса печи. Эстакада имеет монтажный проем для демонтажа дефектных обечаек и погрузки на тележку новых.

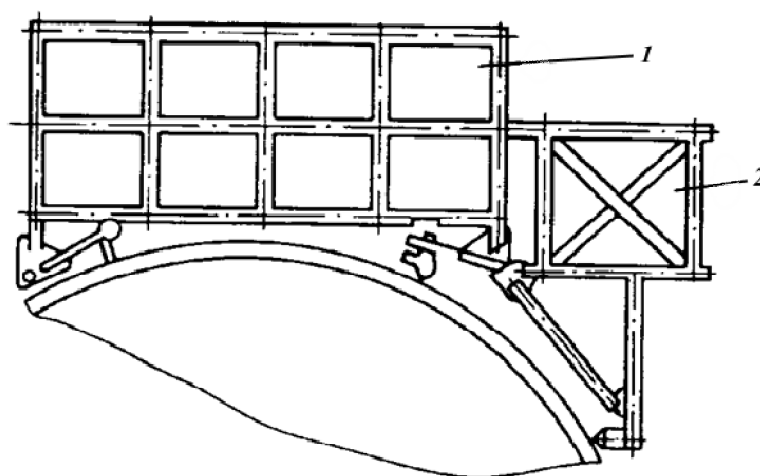


Рис. 12.2. Площадка для сварки стыка обечаек:
1 – основная площадка; 2 – вспомогательная площадка

При замене дефектных участков печи одним блоком применяется метод накатки нового блока на ось печи с эстакады, смонтированной рядом с печью. Длина эстакады должна быть равна длине блока. При монтаже эстакады используют инвентарные леса, шпальные выкладки и другие устройства.

Инвентарные леса представляют собой конструкцию из решетчатых элементов различной высоты, соединенных друг с другом с помощью болтов.

На рис. 12.3 представлена схема накатки блоков с помощью инвентарных лесов.

После проверки прямолинейности корпуса печи производят окончательное закрепление бандажей. Бандажи должны быть установлены параллельно между собой. Плоскость, проходящая через их середины, должна быть перпендикулярна геометрической оси аппарата.

Дефекты опорных роликов устраняются путем проточки на токарно-лобовом станке с последующим шлифованием. При значительном износе поверхностей опорных роликов применяют наплавку под слоем флюса.

Ролики, износ которых превышает 30% от первоначального размера или на поверхности которых имеются сквозные трещины, подлежат замене. Ролики с незначительной конусностью (менее 10 мм) протачиваются на месте.

Биение наружного диаметра ролика не должно превышать 0,5 мм. Нагрев подшипников роликов не должен превышать 65-700С. Прилегание рабочей поверхности бандажей к поверхности опорных роликов должно быть не менее 70% ширины ролика.

Для обеспечения нормальной работы барабанных аппаратов необходимо обеспечить соосность бандажей и корпуса барабана, оси опорных роликов должны быть параллельны оси вращения барабана и бандажей.

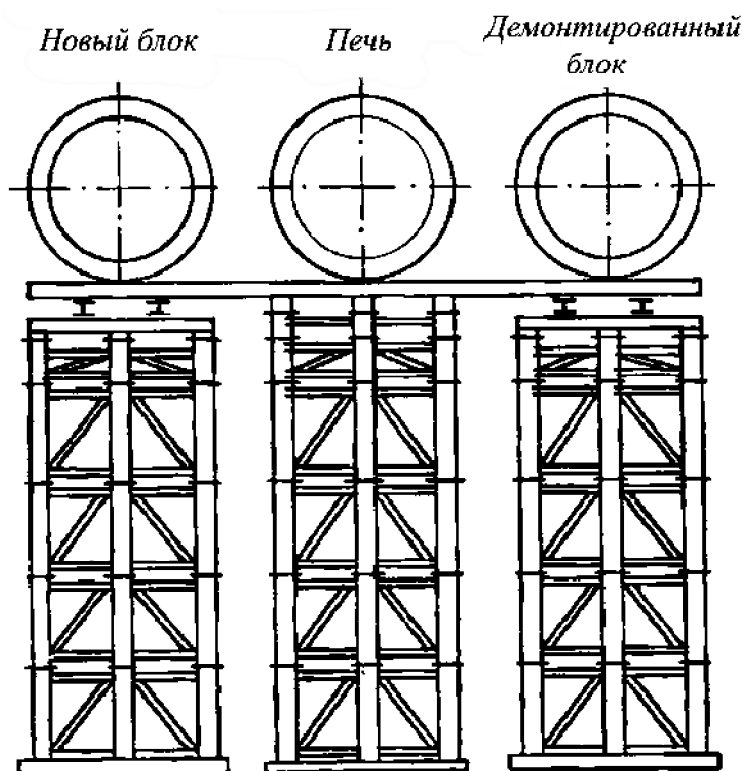


Рис. 12.3. Применение инвентарных лесов при замене обечаек методом перекачивания

Если в процессе обкатки после ремонта корпус перемещается более 15 мм вверх или вниз, необходимо для удержания его в нормальном положении произвести регулировку путем незначительного перекоса опорных роликов.

Чтобы определить, в какую сторону должны быть развернуты ролики, наблюдающий становится лицом к бандажу так, чтобы вращение бандажа происходило снизу вверх.

Для перемещения корпуса вправо необходимо правую сторону ролика с подшипником и левую сторону ролика с подшипником (на другой стороне корпуса) приблизить с помощью упорного винта (поджать к оси корпуса), а другие стороны станин с роликами и подшипниками отодвинуть упорным винтом («отпустить» от оси корпуса) на величину поджатых сторон роликов. Для

перемещения корпуса влево необходимы обратные перемещения указанных станин с роликами и подшипниками.

Привод является наиболее ответственным узлом вращающихся барабанных аппаратов. От надежности его работы зависит нормальная эксплуатация всего агрегата.

Зубчатый венец работает в условиях знакопеременных нагрузок, осложняемых высокими температурами и деформациями корпуса барабана. Это часто приводит к разрушению узла крепления венца, что нарушает центровку венца по отношению к корпусу. Допускаемая величина биения венца не должна превышать 3 мм.

Устранение биения зубчатого венца является сложной и трудоемкой операцией. Для ее выполнения необходимо периодически поворачивать корпус аппарата с помощью вспомогательного привода.

При эксплуатации барабанных аппаратов изнашивается одна сторона зубьев венцового зацепления, другая его сторона остается вполне пригодной для дальнейшей работы. Поэтому при ремонте привода используют это явление, и зубчатый венец и подвенцовую шестерню переворачивают на 180°.

Эксплуатация зубчатого венца запрещается, если износ зубьев превышает 30%. В том случае, когда износ зубьев не превышает 30%, зубья наплавляют на изношенную сторону, с последующей зачисткой переносной шлифовальной машинкой. Форма зуба при этом контролируется по шаблону.

Нормальная работа привода характеризуется отсутствием вибрации, шума и толчков в зацеплении, бесперебойным поступлением масла во все точки смазки.

При монтаже привода необходимо обеспечить соосность выходного вала редуктора и вала подвенцовой шестерни.

Под действием внешних нагрузок корпуса барабанов могут прогибаться. Наибольший прогиб у многоопорных барабанов имеется в пролете, на котором закреплен зубчатый венец.

Величина прогиба зависит от усилия, действующего на корпус, от длины пролета, модуля упругости материала корпуса и от момента инерции.

При производстве ремонтных работ барабанных аппаратов выполняется большой объем работ с применением подъемно-транспортного оборудования, различных такелажных приспособлений, самоходных стреловых кранов, матч, порталов и др.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобков, С. П. Расчет вращающихся барабанных аппаратов : методические указания / С. П. Бобков, Ю. Г. Гоголев, Э. А. Козловский. – Иваново. – 1986. – 27 с.
2. Боганов, А. И. Вращающиеся печи цементной промышленности / А. И. Боганов. – М. : Машиностроение, 1965. – 319 с.
3. ГОСТ 11875-88 Аппараты теплообменные с вращающимися барабанами общего назначения. Холодильники. Основные параметры и размеры.
4. Ермаков, В. И. Технология ремонта химического оборудования / В. И. Ермаков, В. С. Шейн. – Л. : Химия, 1977. – 280 с.
5. Исламов, М.Ш. Печи химической промышленности / М.Ш. Исламов. – Изд. 2-ое, пер. и доп. Л. : Изд-во "Химия", Ленинградское отд-е, 1975. – 433с.
6. Козловский, Э. А. Расчет и конструирование барабанных вращающихся аппаратов. Конспект лекций / Э. А. Козловский.– Иваново: ИГХТУ. – 1976.
7. Кольман-Иванов, Э. Э. Машины химических производств. Атлас Конструкций. / под. ред. Э. Э. Кольмана-Иванова. – М.: Машиностроение, 1981. – 118 с.
8. Конструирование и расчет машин химических производств: учебник для машиностроительных вузов по специальности «Химическое машиностроение и аппаратостроение» / Ю. И. Гусев[и др.] – М. : Машиностроение, 1985. – 408 с.
9. Лисиенко, В.Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология / В.Г. Лисиенко, Я.М.Щелоков, М.Г.Ладыгичев. – М.: Теплотехник. – 2004. – 592 с.
10. ОСТ 26-01-436-72 и ОСТ 26-01-450-72. Аппараты с вращающимися барабанами общего назначения. Основные узлы и детали. Типы и основные размеры.
11. ОСТ 26-01-1112-74. Печи вращающиеся с наружным обогревом. Типы, параметры и основные размеры.
12. Першин, В. Ф. Машины барабанного типа : основы теории, расчета и конструирования. / В. Ф. Першин. – Воронеж: Изд. ВГУ. : 1990. – 168 с.
13. Петров, Г. В. Оборудование содовых заводов / Г. В. Петров. – Харьков: Изд. ХГУ им. А. И. Горького. – 1965.
14. Поникратов, И. И. Расчеты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки (примеры и задачи) : учеб. пособие / И.И. Поникратов. – М. : Альфа-М, – 2008. – 720 с. ил.
15. Прохоров, А. М. Вращающаяся печь // Большая советская энциклопедия : [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. – 3-е изд. – М. : Советская энциклопедия, 1969-1978.

16. Тимонин, А. С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования : справочник. Т. 2. / А. С. Тимонин. – Калуга : Изд. Н. Бочкаревой, 2002. – 1028 с.

17. Машины и аппараты химических производств : учебник для вузов / А. С. Тимонин[и др.] / под общей редакцией А. С. Тимонина. – Калуга : Изд. «Ноосфера», – 2016. – 856 с.

18. Шокин, И. Н. Технология кальцинированной соды и очищенного бикарбоната натрия: учебник для проф.-техн. учеб. заведений. / И. Н. Шокин, С. А. Крашенинников. – М. : Высш. шк., 1969. – 324 с.

19. Шокин, И. Н. Технология соды / И. Н. Шокин, С. А. Крашенинников. – М. : Химия, 1975. – 288 с.

Учебное издание

Козловский Эдуард Алексеевич
Козловский Александр Эдуардович
Повтарев Иван Александрович

Барабанные вращающиеся аппараты

Учебное пособие

Редактор В.Л. Родичева

Подписано в печать 19.02.2019. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 6,51. Уч. - изд. л. 7,22. Тираж 50 экз. Заказ

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный
химико-технологический университет»

Отпечатано на полиграфическом оборудовании
редакционно-издательского центра ФГБОУ ВО «ИГХТУ»

153000, г. Иваново, Шереметевский пр., 7