

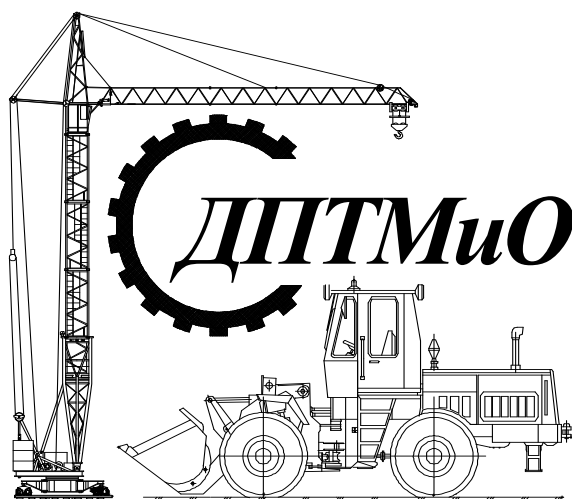
ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Строительные, дорожные, подъемно-транспортные  
машины и оборудование»

**ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ  
ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Лабораторный практикум для студентов  
специальности 1-36 11 01 «Подъемно-транспортные,  
строительные, дорожные машины и оборудование»*

Часть 2



Могилев 2013

УДК 621.926  
ББК 39.311-06-5  
О 22

Рекомендовано к опубликованию  
учебно-методическим управлением  
ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»

Одобрено кафедрой СДПТМиО «9» апреля 2012 г., протокол № 10

Составители: д-р техн. наук, проф. Л. А. Сиваченко;  
ст. преподаватель А. Н. Хустенко

Рецензент канд. техн. наук, доц. О. В. Голушкова

Предназначен для выполнения лабораторных работ студентами специальности 1-36 11 01 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование».

Учебное издание

## ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Часть 2

Ответственный за выпуск	И. В. Лесковец
Технический редактор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	И. А. Алексеюс

Подписано в печать . Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл.-печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 99 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение  
Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«Белорусско-Российский университет»  
ЛИ № 02330/0548519 от 16.06.2009.  
Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский  
университет», 2013



## Часть 2

### Лабораторная работа № 7. Изучение конструкции и определение основных параметров станка для резки арматуры

**Цель работы:** изучение устройства и принципа действия станка для резки арматуры, производство расчета его основных параметров аналитически и сопоставление с результатами эксперимента.

**Оборудование, приборы:** станок для резки арматуры, ваттметр, линейка, штангенциркуль.

#### Общие сведения

Станки для резки арматурной стали применяются на заготовительных участках заводов ЖБИ, домостроительных комбинатов, строительных объектах. Просты и удобны в обслуживании, обладают высоким ресурсом работы. Станками для резки арматуры можно резать как круглую, квадратную, так и полосовую сталь с пределом прочности 470 МПа. Привод рабочего органа станков (ножа) осуществляется от электродвигателя посредством механической передачи. Процесс резки происходит при перемещении подвижного ножа относительно неподвижного. Для преобразования вращательного движения вала электродвигателя в возвратно-поступательное движение рабочего органа используется кулисный механизм. Станки для резки арматурной стали работают в режиме непрерывного реза, состоят из следующих основных узлов: станины в сборе, кулисного механизма, механизма привода, электродвигателя с электроаппаратурой (рисунок 1).

Одновременно на станке можно резать от одного до десяти прутков разного диаметра сечения (от 10 до 50 мм).



Рисунок 1 – Станок для резки арматуры

## Расчет станка для резки арматуры

Расчет станка для резки арматуры ведут из условия, что на станке режется стальной пруток наибольшего диаметра, т. е. по наиболее нагруженному режиму.

Необходимое усилие  $P$ ,  $H$ , резания арматуры, когда кромки ножей 1 и 2 параллельны (рисунок 2, а):

$$P = S\sigma_{cp}, \quad (1)$$

где  $S$  – суммарная площадь разрезаемых стержней,  $m^2$ ;

$\sigma_{cp}$  – предел прочности арматурной стали на срез, Па.

В случае, когда кромка верхнего ножа непараллельна кромке нижнего ножа (рисунок 2, б), усилие  $P$ ,  $H$ , резания арматуры

$$P = 1,75hd^2\sigma_{cp} / tg\gamma, \quad (2)$$

где  $h$  – коэффициент глубины проникновения ножа в арматуру до начала ее скалывания,  $h = (0,09-0,38) \cdot d$ ;

$d$  – диаметр перерезаемой арматуры, м;

$\gamma$  – угол наклона подвижного ножа,  $\gamma = 10-15^\circ$ .

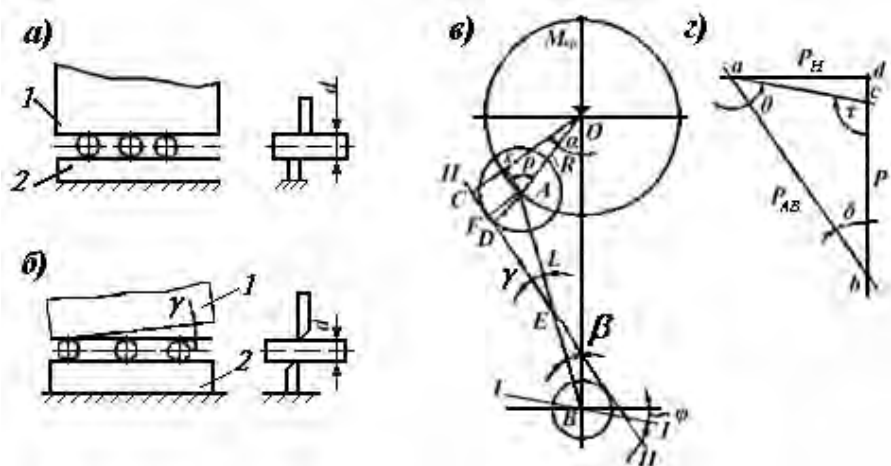


Рисунок 2 – Схемы определения усилий в механизме резания

За каждый рабочий ход усилие, действующее в кривошипно-шатунном механизме, совершает полезную работу и преодолевает силы трения в узлах машины, составляющие по своей величине лишь небольшую долю от величины полезного сопротивления.

Рассмотрим взаимодействие сил в кривошипно-шатунном механизме. Силу, действующую на шатун механизма, лучше всего определить

графически. Эту силу  $P_{AB}$  можно представить как геометрическую сумму усилия резания  $P$ , направленного вдоль механизма ползуна, и силы давления ползуна  $P_H$  на направляющие ножи. Изобразим в масштабе кривошипно-шатунный механизм в положении рабочего хода (рисунок 2, в). В точке  $B$  под действием силы  $P$  между ползуном и направляющей возникают силы трения, определяемые углом трения, приводящие к смещению этой силы; последняя будет направлена по лучу I–I. Усилие резания  $P$  из-за наличия трения в цапфах шатуна не совпадает с его осью, а будет направлено по общей касательной II–II к кругам трения, построенным в центрах верхней и нижней головок шатуна. Радиусы кругов трения в головках шатуна

$$R_a = \mu_2 r_a; \quad R_b = \mu_2 r_b, \quad (3)$$

где  $r_a, r_b$  – радиус цапф;  
 $\mu_2$  – коэффициент трения.

Направление усилия по ползуну  $P_{AB}$  будет расположено вправо от центра нижней головки. Влево от верхней головки построим треугольник сил, действующих в точке  $B$  механизма. На прямой, параллельной направлению действия силы  $P$  резания арматуры, отложим отрезок  $bc$ . Через точку  $b$  проведем прямую, параллельную лучу II–II, и через точку  $c$  – параллельную лучу I–I, и получим треугольник  $abc$  – сил  $P, P_{AB}$  и  $P_H$ , учитывающий силы трения в механизме. Из треугольника  $abc$  имеем

$$P_{AB} = P \frac{\sin \tau}{\sin \theta}. \quad (4)$$

Сравнивая треугольник сил со схемой механизма, можно установить, что

$$\begin{aligned} \tau &= 90 + \varphi; \\ \delta &= \beta + \alpha; \\ \theta &= 180^\circ - \delta - \tau = 90^\circ - \varphi - \beta - \gamma. \end{aligned} \quad (5)$$

Подставляя в (1), получим

$$P_{AB} = P \frac{\cos \varphi}{\cos(\beta + \gamma + \varphi)}. \quad (6)$$

Для определения усилия  $P_H$ , действующего на направляющую из точки  $a$  силового треугольника, опустим перпендикуляр на прямую  $bc$ . Отрезок  $cd$  в треугольнике определяет силу трения в направляющих, а отрезок



зок  $ad$  – силу  $P_H$  (см. рисунок 2, г).

Из треугольника  $abd$  получим

$$P_H = P_{AB} \sin \delta; \quad \delta = \beta + \alpha, \quad (7)$$

тогда

$$P_H = P \frac{\cos \varphi \sin(\beta + \delta)}{\cos(\beta + \gamma + \varphi)}. \quad (8)$$

В станках или ножницах, имеющих два шатуна, усилие определяют по тем же уравнениям, но вместо  $P$  подставляют  $0,5P$ .

Крутящий момент на кривошипном валу  $M_{KP}$  складывается из момента, создаваемого силой  $P_M$ , и момента трения в опорах и равен:

$$M_{KP} = P_{AB} OC + \mu_2 (r_1 R_1 + r_2 R_2), \quad (9)$$

где  $\mu_2$  – коэффициент трения;

$r_1, r_2$  – радиусы вала в опорах, м;

$R_1, R_2$  – реакции на опорах вала, Н.

Для определения  $OC$  продолжим линию  $OA$  до пересечения с лучом  $\Pi-\Pi$ , а из точки  $A$  проведем прямую, параллельную лучу  $\Pi-\Pi$ , до пересечения с  $OC$ .

Из построения видно, что

$$\begin{aligned} OC &= OK + KC; \\ KC &= AF = \rho_A = \mu_2 r_A; \\ OK &= OA \sin \rho = R \sin(\alpha + \beta + \gamma). \end{aligned} \quad (10)$$

Тогда

$$OC = R \sin(\alpha + \beta + \gamma) + \mu_2 r_A. \quad (11)$$

Подставим значения  $OC$  и  $P_2$  и получим

$$M_{KP} = P \frac{[R \sin(\alpha + \beta + \gamma) + \mu_2 r_A] \cos \varphi}{\cos(\beta + \gamma + \varphi)} + \mu_2 (r_1 R_1 + r_2 R_2). \quad (12)$$

В то же время  $M_{KP}$  можно выразить так:



$$M_{KP} = L_K P, \quad (13)$$

где

$$L_K = \frac{[R \sin(\alpha + \beta + \gamma) + \mu_2 r_A] \cos \varphi}{\cos(\beta + \gamma + \varphi)} + \mu_2 (r_1 R_1 + r_2 R_2). \quad (14)$$

Полученные уравнения являются общими уравнениями для крутящего момента кривошипно-шатунных механизмов станков резки арматуры, в которых не учитываются силы инерции во всех звеньях механизма. Однако принимаем во внимание, что указанные станки являются небыстроходными машинами и абсолютная величина силы инерции механизма незначительна и значение  $\omega^2 R / g$  редко достигает единицы, если силы инерции не превышают массы ползуна. В практике по этой причине пренебрегают массой кривошипно-шатунного механизма и силами инерции его движущихся частей.

Электродвигатель станков для резки арматуры должен быть выбран так, чтобы он работал с достаточно высоким коэффициентом полезного действия и не имел избыточной мощности. Кроме того, необходимо обеспечить устойчивую работу электродвигателя, характеризующую его перегрузкой. В станках для резки, как и в прессах, электродвигатель работает с резко меняющейся нагрузкой. Поэтому при расчете машины следует учитывать эту перегрузку и подбирать двигатель с маховиком так, чтобы перегрузка и нагрев были ниже допустимых.

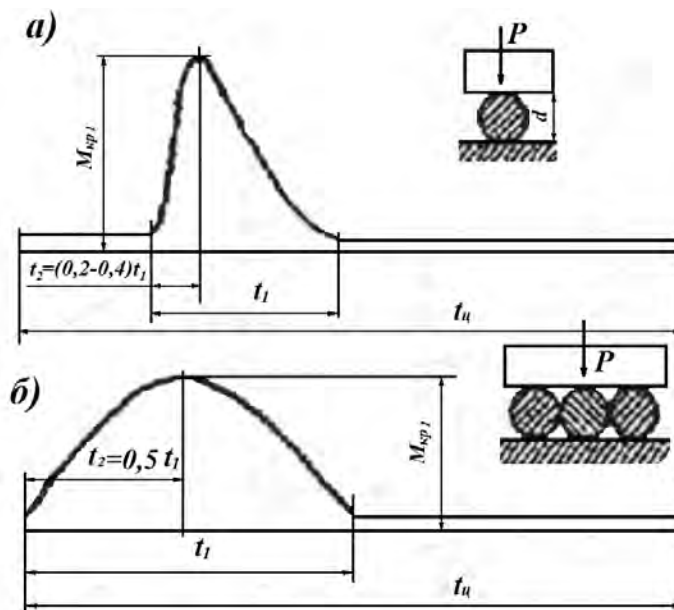
При определении мощности электродвигателя очень важным является установление закономерности нарастания усилий и крутящих моментов за цикл работы. Изменение крутящих моментов для резки арматуры может быть сведено к рассмотрению трех случаев. В первом случае при перерезке одного стержня арматуры диаметром  $d$  (рисунок 3, а) определяют время  $t_x$ , исходя из скорости ползуна, причем максимальный крутящий момент будет через время  $t_2 = (0,2 - 0,4)t_1$  после момента начала резания. Во втором случае, когда необходимо одновременно перерезать несколько стержней одинакового диаметра, с достаточной степенью приближения можно принять диаграмму резки листового материала (рисунок 3, б). Последний, третий случай – резка сетки. При отношении  $l/d > 6$ , где  $l$  – шаг сетки и  $d$  – диаметр стержня, будет происходить последовательное перерезание отдельных стержней арматуры и диаграмма нагрузки будет аналогична, как и для первого случая, с той разницей, что количество криволинейных контуров на диаграмме будет равно количеству перерезаемых стержней за цикл. При вычислении работы необходимо учитывать еще и вредные сопротивления. Величина их зависит в основном от конструктивного решения станков и принятой периодичности смазки. Для предварительных расчетов

можно принимать ее равной 10–12 % от времени полезной работы станков. Если график задан в функции угла поворота коленчатого вала, то на его оси откладывают время

$$t_{ц} = 60/(nk_x), \quad (15)$$

где  $n$  – частота ходов ползуна, ход/мин;

$k_x$  – коэффициент использования ходов, равный отношению частоты рабочих ходов станка к полной частоте  $n$ .



а – для случая 1; б – для случая 2

Рисунок 3 – Диаграмма нагрузок

Для составления графиков принимаем следующие обозначения:

$t_1$  – время рабочей операции, с;

$t_2$  – время холостой части хода, с;

$t_{ц}$  – продолжительность всего цикла, с;

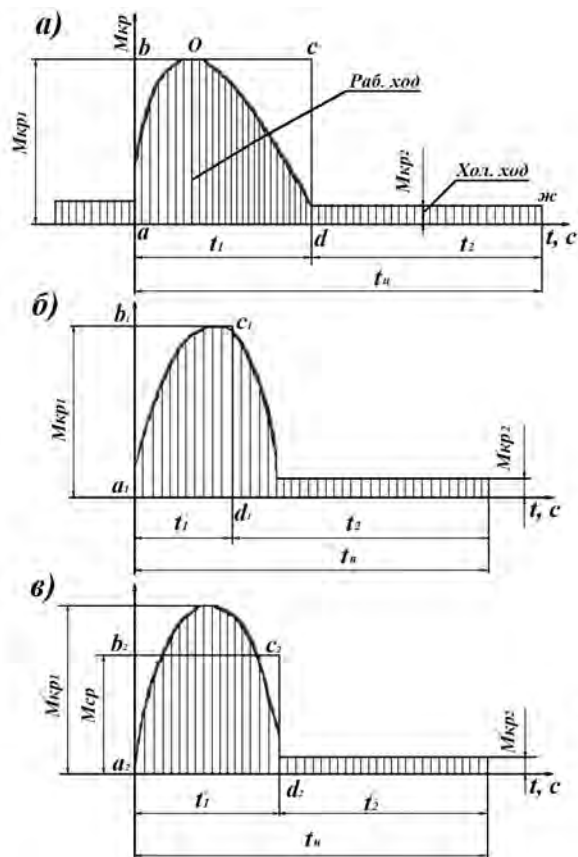
$M_{KP1}$  – максимальный момент на коленчатом валу при рабочем ходе, Н·м;

$M_{KP2}$  – момент на коленчатом валу при холостом ходе, Н·м.

Для упрощения расчета  $M_{KP2}$  принимаем постоянным, равным среднему его значению за холостую часть цикла. Рассмотрим последовательность вычисления мощности электродвигателя. Пользуясь диаграммой нагрузки (рисунок 4, а), которая определена на основе технологических данных, производим вычисление графиков фиктивных крутящих моментов на валу электродвигателя. Вместо криволинейной части графика моментов на валу электродвигателя для расчета берем два равновеликих (по работе)



прямоугольных графика  $a_1b_1c_1d_1$  (рисунок 4, б) и  $a_2b_2c_2d_2$  (рисунок 4, в) и вычисляем их основные элементы.



а – график крутящих моментов по технологическим данным; б, в – фиктивные графики крутящих моментов

Рисунок 4 – Диаграмма нагрузок станков

Высота первого прямоугольного графика

$$c_1d_1 = M_{KP1} / (u_1u_2\eta_1\eta_2), \quad (16)$$

где  $u_1$  – передаточное число между электродвигателем и валом маховика,  $u_1 = n_{\text{дв}} / n_M$ ;

$u_2$  – передаточное число между валом маховика и коленчатым валом,  $u_2 = n_M / n_K$ ;

$\eta_1$  – КПД между электродвигателем и валом маховика;

$\eta_2$  – КПД между валом маховика и коленчатым валом;

$n_{\text{дв}}$  – минимальная частота вращения двигателя,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$n_M$  – частота вращения маховика,  $\text{мин}^{-1}$ .

Основание первого прямоугольника

$$a_1 d_1 = t_1' = t_1 A, \quad (17)$$

где  $A$  – коэффициент полноты графика крутящих моментов на кончатом валу,  $A = S_1 / S_2$ ;

$S_1$  – площадь криволинейной части графика;

$S_2$  – площадь прямолинейной части графика.

Основание второго прямоугольника

$$a_2 d_2 = t_1'' = t_1 A; \quad (18)$$

высота его

$$c_2 d_2 = M'_{KP1} = M'_{KP1} \cdot A. \quad (19)$$

Момент  $M''_{KP2}$ , Н·м, холостого хода для обоих прямоугольников

$$M''_{KP2} = M''_{KP2} = M_{KP2}(u_1 t_2 \eta_1 \eta_2). \quad (20)$$

Находим номинальный момент  $M$ , Н·м, электродвигателя:

$$M_{KP.H} = 1,2 \frac{M'_{KP1} t_1' + M'_{KP2} t_2'}{t_{Ц}} = 1,2 \frac{M''_{KP1} t_1'' + M''_{KP2} t_2''}{t_{Ц}}. \quad (21)$$

Номинальное значение требуемой мощности  $N$ , Вт, электродвигателя

$$N = M_{KP.H} \omega_C, \quad (22)$$

где  $\omega_C$  – синхронная угловая скорость, рад/с.

### Порядок выполнения работы

Студенты разбиваются на группы по 3–4 человека, и каждая из групп выполняет работу в следующей последовательности:

- изучают конструкцию и принцип действия станка для резки арматуры;
- разбирают кинематическую схему станка и производят замеры геометрических и расчет кинематических параметров станка;
- производят расчет силы резания и мощности приводного электродвигателя по аналитическим зависимостям;



- производят резку арматурной стали на станке и определяют мощность приводного электродвигателя;
- на специальном приспособлении к гидравлическому прессу производят резку арматуры с определением усилия резания;
- производят сопоставление определенных параметров аналитически и экспериментально;
- оформляют отчет и защищают его индивидуально.

### Контрольные вопросы

- 1 Как определить усилие резания арматуры?
- 2 Как определить мощность электродвигателя станка для резки арматуры?
- 3 Нарисуйте кинематическую схему станка для резки арматуры.
- 4 Определите скорость резания по кинематической схеме станка для резки арматуры.
- 5 Обоснуйте выбор кинематической схемы станка для резки арматуры.
- 6 Определите условия оптимальной работы станка для резки арматуры.
- 7 Какие требования техники безопасности следует выполнять при работе на станке для резки арматуры?

### Лабораторная работа № 8. Изучение конструкций, исследование рабочего процесса и расчет основных параметров пружинных мельниц

**Цель работы:** изучение конструкции пружинных мельниц, анализ рабочего процесса и определение основных параметров.

**Применяемое оборудование:** пружинная мельница, мерительный инструмент.

### Общие сведения

Наиболее важным параметром при изучении работы пружинного рабочего органа является усилие обжатия  $P_k$ , которое определяется на основе расчетной схемы взаимодействия рабочего органа с обрабатываемым материалом. При этом рассмотрим частицу материала между боковыми поверхностями витков. Схема составлена без учета малых колебаний, возникающих на рабочих поверхностях витков. Механизм такого акта разрушения приведен на рисунке 1.



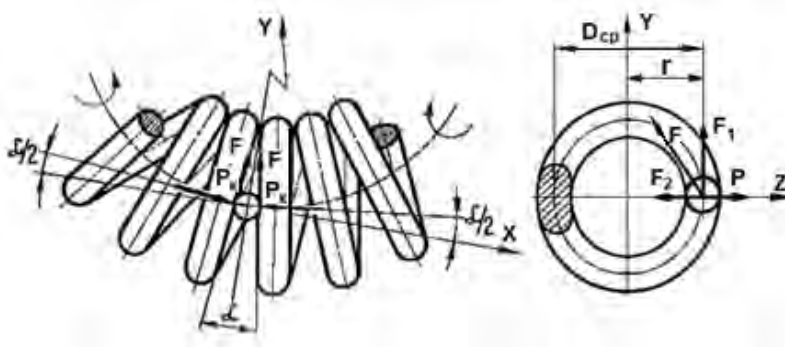


Рисунок 1 – Расчетная схема взаимодействия рабочего органа с обрабатываемым материалом

### Расчет основных параметров

Для правильного выбора конструктивных параметров пружинного рабочего органа и  $P_k$  в том числе, с учетом условия обязательного разрушения частицы материала

$$P_k \geq P_{k \max}, \quad (1)$$

где  $P_k$  – усилие обжатия материала между витками;

$P_{k \max}$  – предельное усилие обжатия на разрушение.

В соответствии с интегралом Мора запишем:

$$P_k = \delta \cdot \frac{B \cdot C}{\pi R^3 \cdot (C - B)} + \frac{M}{R} + \frac{2B}{C - B} \cdot N, \quad (2)$$

где  $\delta$  – размер частицы измельчаемого материала;

$M$  – изгибающий момент, действующий в пружине;

$N$  – нормальная сила.

При отсутствии внутренних силовых факторов  $M$  и  $N$ , например, в случае ненагруженной пружины, изготовленной без межвиткового зазора, попадание частицы в межвитковое расстояние вызывает усилие  $P_k$ :

$$P_k = \delta \cdot \frac{B \cdot C}{\pi R^3 \cdot (C - B)}. \quad (3)$$

Для определения критического значения частоты вращения пружины  $\omega$  и угла захвата  $\alpha$  применим принцип Даламбера и запишем условия равновесия действия сил на частицу измельчаемого материала:

$$\begin{cases} \sum x = P_k \cos \frac{\alpha}{2} - P_k \cos \frac{\alpha}{2} + F_1 \sin \frac{\alpha}{2} - F_1 \sin \frac{\alpha}{2} = 0; \\ \sum y = 2F_1 \cos \frac{\alpha}{2} - 2P_k \sin \frac{\alpha}{2} = 0; \\ \sum z = m\omega^2 r - 2F_2 = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Подставив недостающие выражения и преобразовав, получим формулу определения угла захвата при условии обеспечения заземления частицы

$$\alpha = 2 \arctg \sqrt{f^2 - \frac{m^2 \omega^4 r^2}{4P_k^2}}, \quad (5)$$

где  $m$  – масса частицы;

$r$  – радиус вращения;

$f$  – коэффициент трения между материалом и поверхностью пружины.

Средний диаметр пружины  $D_{cp}$  с учетом того, что  $D_{cp} = 2r$ , найдем из выражения

$$D_{cp} = \frac{4P_k}{m \cdot \omega^2} \sqrt{f^2 - tg^2 \frac{\alpha}{2}}. \quad (6)$$

Частоту вращения  $\omega$  находим из выражения

$$\omega = \sqrt{\frac{4P_k}{m^2 \cdot r^2} \cdot \left( f^2 tg^2 \frac{\alpha}{2} \right)}. \quad (7)$$

Максимальное усилие обжатия, необходимое для разрушения материала, можно определить по формуле

$$P_{k \max} = \frac{\sigma \cdot \delta}{1,9 \cdot E_m \cdot S} \cdot (D_1^2 - d_1^2), \quad (8)$$

где  $\sigma$  – прочность материала на сжатие;

$\delta$  – ширина зоны дробления (принимается равной диаметру  $D_1$  частицы материала до измельчения, входящей в межвитковое пространство) при максимальном шаге пружины;

$E_m$  – модуль упругости материала;



$S$  – разность между диаметром  $D_1$  и минимальным шагом пружины, т. е. величина деформации пружины;

$d_1$  – диаметр раздробленной частицы.

Разработанные положения расчета пружинных мельниц используются при проектировании технологических аппаратов циклического и непрерывного действия, предназначенных для помола, смешивания и механоактивации дисперсных композиций.

**Суммарный крутящий момент**, необходимый для вращения в материале пружинного рабочего органа с условием измельчения, определяется из формулы

$$M_{\text{сум}} = M_1 + M_2 + M_3 + M_4, \quad (9)$$

где  $M_1$  – момент, необходимый для разрушения материала, попадающего в межвитковые пространства;

$M_2$  – момент, необходимый для преодоления сил трения при качении витков пружины друг по другу в случае их соприкосновения, в том числе через слой материала;

$M_3$  – момент, необходимый для преодоления потерь при колебаниях в материале рабочего органа (внутреннее трение) и в опорных щитках (конструктивное трение) и вращения пружины как гибкого вала. Вследствие малости последними пренебрегаем. Момент, связанный с колебаниями, может быть достаточно большим, но его определение аналитически затруднено и требует экспериментальных исследований;

$M_4$  – момент, необходимый для вращения рабочего органа в смеси с учетом сил сопротивления перемещению.

Для определения  $M_1$  воспользуемся формулой работы при дроблении материалов, которую приводит Л. В. Левинсон:

$$A = \frac{\sigma^2 V}{2E}, \quad (10)$$

где  $\sigma$  – прочность материала при сжатии;

$V$  – объем разрушаемого материала;

$E$  – модуль упругости разрушаемого материала.

Формула (10) не отражает степени измельчения, для учета которой в формулу подставляется вместо  $V$  объем измельчаемого материала в межвитковом пространстве:

$$V = V_{e0}^0 \cdot m. \quad (11)$$



Вычислим рабочий объем пространства, занимаемого материалом между витками с учетом того, что рабочая зона равна половине дуги окружности:

$$V_{\varepsilon 0}^0 = \frac{\pi}{3} \cdot \frac{\pi D_1}{8} \cdot (d_{\max}^2 + d_{\min}^2 + d_{\max} \cdot d_{\min}). \quad (12)$$

Введем поправку на степень заполнения объема материалом:

$$V_{\varepsilon 0}^0 = k_3 \cdot \frac{\pi}{3} \cdot \frac{\pi D_1}{8} \cdot (d_{\max}^2 + d_{\min}^2 + d_{\max} \cdot d_{\min}), \quad (13)$$

где  $k_3$  – коэффициент заполнения межвитковых пространств,  $k_3 = 0,3-0,4$ .

Число рабочих органов зон равно числу витков винтовой пружины за вычетом единицы:

$$m = i - 1.$$

Тогда объем обрабатываемого материала с учетом коэффициента увеличения заполнения межвитковых пространств при колебаниях рабочего органа  $K_k$  равным 1,05–1,1.

$$V = \frac{k_3 \pi^2 D_1 (i - 1)}{24} \cdot (d_{\max}^2 + d_{\min}^2 + d_{\max} \cdot d_{\min}) K_k. \quad (14)$$

Отсюда работа разрушения

$$A = \frac{k_3 \sigma^2 \pi^2 D_1 (i - 1)}{48 E} \cdot (d_{\max}^2 + d_{\min}^2 + d_{\max} \cdot d_{\min}) K_k. \quad (15)$$

Тогда крутящий момент на приводном валу

$$M_1 = \frac{k_3 \sigma^2 \pi^2 D_1 (i - 1)}{48 E} \cdot (d_{\max}^2 + d_{\min}^2 + d_{\max} \cdot d_{\min}) K_k. \quad (16)$$

Необходимо отметить, что рассчитанный по данной формуле крутящий момент на валу привода имеет завышенное значение. Это объясняется тем, что при вращении пружины в межвитковые пространства попадают не все частицы материала, которые были учтены при определении объема разрушаемого материала, а только некоторая часть. Данное обстоятельство

следует учесть поправочным коэффициентом  $k$ , который показывает, какая часть материала реально участвует в измельчении между боковыми поверхностями витков пружины от теоретически возможной,  $k = 0,3-0,5$ .

**Момент  $M_2$ , необходимый для преодоления сил трения**, определяется как произведение сил трения качения частиц материала о витки пружины на расстояние от точки контакта витков до оси вращения:

$$M_2 = P_K f r i K_{VC}, \quad (17)$$

где  $P_K$ ,  $K_{VC}$  – давление витков пружины и сила сжатия материала с учетом коэффициента увеличения этих значений, обусловленных колебаниями,  $K_{VC} = 1,1-1,3$ ;

$f$  – коэффициент трения при качении витков пружины друг по другу или по материалу,  $f = 0,05-0,08$ ;

$r$  – расстояние от точки контакта витков до оси вращения;

$i$  – число контактирующих между собой витков пружины.

**Момент  $M_4$ , необходимый для преодоления потерь**, на основании рекомендаций, а также с учетом собственных калориметрических расчетов можно принимать равным 0,5–1,5 % от суммарной мощности, необходимой на привод рабочего органа.

В расчетах потребляемой мощности не рассмотрены случаи заклинивания рабочего органа в помольной камере. Это отражено в [1].

$M_4$  приближенно можно оценить по формуле К. М. Королева

$$M_4 = kFR, \quad (18)$$

где  $k$  – коэффициент сопротивления перемещению;

$F$  – фронтальная площадь рабочей части пружины;

$R$  – средний радиус вращения.

Коэффициент  $k$  выбирается на основании экспериментальных данных.  $F$  можно определить как произведение длины винтовой линии  $S$  и увеличения зоны захвата материала, определяемой амплитудой колебаний.

Длина винтовой линии пружины для упрощения расчетов с небольшой погрешностью может быть найдена по формуле

$$S = \frac{\pi D_{cp} i}{\cos \alpha}, \quad (19)$$

где  $D_{cp}$  – средний диаметр спирали;

$i$  – число витков;

$\alpha$  – угол подъема винтовой линии.

Суммарная расчетная мощность двигателя, необходимая для враще-





ния пружины как рабочего органа мельницы с учетом всех сил сопротивления, может быть определена по формуле

$$N = \frac{M_{\text{сум}}\omega}{\eta}, \quad (20)$$

где  $M_{\text{сум}}$  – суммарный крутящий момент;

$\omega$  – угловая скорость рабочего органа;

$\eta$  – КПД привода,  $\eta = 0,93-0,95$ .

Расчет потребляемой мощности при работе кинематически деформируемых рабочих органов реализован в виде пакета прикладных программ. Некоторые результаты численных расчетов будут приведены ниже для сравнения результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Сравнительный анализ потребляемой мощности, рассчитанной для работающих в одинаковых условиях пружинных мельниц, показывает, что генерирование интенсивных виброколебаний путем вывода рабочих органов в резонансный или управляемый режим требует на 10–20 % большей мощности, чем аналогичные пружинные аппараты без форсирования их работы.

### Определение производительности пружинных мельниц

Производительность винтовых аппаратов зависит от большого числа факторов и, естественно, не может быть определена по единой методике. Чтобы упростить поставленную задачу, выберем наиболее характерные случаи взаимодействия кинематически деформируемого органа с обрабатываемой средой. Таких случаев, по нашему мнению, три.

*Первый* – движение материалов в трубе под воздействием рабочего органа.

*Второй* – радиальное движение материала через рабочий орган, состоящий по меньшей мере из двух пружин, помещенных одна в другую.

*Третий* – расположение пружин в корытообразном корпусе.

Для облегчения расчета принят ряд допущений, позволяющих вывести основные закономерности процесса:

- обрабатываемый материал равномерно заполняет всё рабочее пространство пружины;
- крупность частиц меньше диаметра прутка пружины;
- физико-механические свойства обрабатываемого материала стабильны в процессе;
- фактор измельчения не влияет на производительность.

**Производительность аппарата при расположении пружины в трубе.** Для расчетов считаем, что в аппарате с прямолинейным рабочим



органом перемещается та часть материала, которая находится непосредственно между витками пружины (рисунок 2).

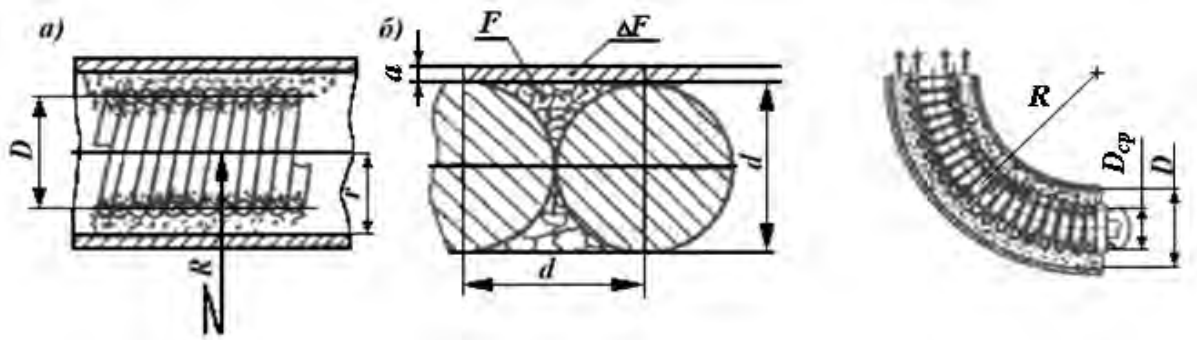


Рисунок 2 – Схема к расчету производительности аппарата с трубчатым корпусом

Эта часть материала на одном витке будет представлять собой тело вращения с площадью  $F$  (см. рисунок 2, б).

$$F = d^2 - \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (21)$$

где  $d$  – диаметр прутка пружины.

Объем тела вращения рассчитывается как произведение площади его сечения на длину образующей, проходящей через геометрический центр тяжести сечения.

В данном случае длина образующей

$$L = \frac{\pi \cdot D}{\cos \alpha}, \quad (22)$$

где  $D$  – диаметр витка пружины;

$\alpha$  – угол подъема винтовой линии спирали.

Объем материала на одном витке

$$V_1 = \int_0^i F di = \left( d^2 - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) \cdot i \Big|_0^{\pi D / \cos \alpha} = \left( d^2 - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) \cdot \frac{\pi \cdot D}{\cos \alpha} = \frac{\pi D d^2 \cdot (1 - \pi / 4)}{\cos \alpha}. \quad (23)$$

Число элементарных объемов на единице длины спирали  $L_{cn}$

$$i = \frac{L_{cn}}{d}. \quad (24)$$

Тогда объем перемещаемого материала на единице длины

$$q_v = V_1 i = \frac{\pi D d^2 \cdot (1 - \pi / 4)}{\cos \alpha}. \quad (25)$$

Объемная производительность определяется по формуле

$$G_V = q_v \cdot n, \quad (26)$$

где  $n$  – частота вращения пружины.

С учетом колебаний витков пружины с амплитудой  $a$ , площадь транспортируемого материала увеличивается на величину  $\Delta F$ , что с учетом формулы (25) даст следующее значение:

$$G_V = \frac{\pi(D + a)d^2 \cdot (1 - \pi / 4)i}{\cos \alpha} \cdot n. \quad (27)$$

Массовая производительность считается по формуле

$$G_m = G_V \cdot \rho_M \cdot r_p = q_v \cdot n \cdot \rho_M \cdot r_p = q_m \cdot n \cdot r_p, \quad (28)$$

где  $\rho_M$  – объемная масса материала;

$q_m$  – масса перемещенного материала на единице длины;

$r_p$  – коэффициент, учитывающий полноту заполнения межвиткового пространства, т. е. показывающий степень разрыхления материала,  $r_p = 0,2-0,3$  – для зернистых материалов и  $r_p = 0,4-0,6$  – для пластических.

Перейдем к определению производительности аппарата с изогнутой рабочей камерой. Для этого подсчитаем объем материала, находящегося в выделенном участке трубы, т. е. на одном витке пружины:

$$V_1 = V_{k1} - V_{n1}, \quad (29)$$

где  $V_{k1}$  – объем кольца, находящегося в выделенном участке трубы с внутренним радиусом  $R - r$  и наружным  $R + r$ ;

$V_{n1}$  – объем витка пружины, находящегося в выделенном участке трубы.

$$V_{k1} = S_k \cdot \Delta L_1 = \pi(R + r)^2 - \pi(R - r)^2 \cdot \frac{d \cdot \rho}{\rho - R} = \frac{8\pi R r^2 \rho}{\rho - R}, \quad (30)$$



где  $S_k$  – площадь кольца с внутренним радиусом  $R - r$  и наружным  $R + r$ ;

$\Delta L_1$  – удлинение геометрической оси пружины на одном витке.

$$V_{n1} = S_{II} \cdot L_1 = \pi \cdot r^2 \frac{2\pi R}{\cos \alpha_{II}}, \quad (31)$$

где  $S_{II}$  – площадь сечения витка пружины;

$L_1$  – длина одного витка пружины;

$\alpha_{II}$  – угол между витками спирали после ее изгиба,  $\alpha_{II} = \frac{\varphi}{i}$ ;

$\varphi$  – центральный угол изгиба оси рабочего органа;

$i$  – число рабочих витков пружины.

Таким образом, далее получаем

$$V_1 = \frac{8\pi Rr^2 \rho}{\rho - R} - \frac{2\pi^2 Rr^2}{\cos \alpha_{II}} = 2\pi Rr^2 \cdot \left( \frac{4\rho}{\rho - R} - \frac{\pi}{\cos \alpha} \right). \quad (32)$$

Число элементарных объёмов на единице длины геометрической оси пружины (число витков)

$$i = \frac{L}{\Delta L_1} = \frac{\varphi(\rho - R)}{d}. \quad (33)$$

Удельная производительность на единице длины

$$q = V_1 \cdot i = 2\pi Rr^2 \cdot \left( \frac{4\rho}{\rho - R} - \frac{\pi}{\cos \alpha} \right) \cdot \frac{(\rho - R)\varphi}{2r} = \pi Rr \cdot \left( 4\varphi\rho - \frac{\pi(\rho - R)\varphi}{\rho \cdot \cos \alpha} \right). \quad (34)$$

С учетом увеличения захватываемого рабочим органом материала, определяемого амплитудой колебаний  $a$ , объемная производительность будет равна:

$$q_v = \pi(R + a)r \cdot \left( \frac{4\varphi P - \pi(\rho - R)\varphi}{\rho \cdot \cos \alpha} \right). \quad (35)$$

И, наконец, объемная производительность для всего аппарата

$$G_v = V_1 \cdot i \cdot n. \quad (36)$$



Откуда массовая производительность машины будет равна:

$$G_m = V_1 \cdot i \cdot n \cdot \rho_M \cdot r_p. \quad (37)$$

### Порядок выполнения работы

1 После изучения содержания лабораторной работы студенты знакомятся с конструкцией пружинной мельницы, приборами и средствами контроля.

2 По заданию преподавателя студенты, разбитые в бригады по 3–4 человека, подготавливают сырьевой материал, подключают необходимые приборы и производят измельчение, контролируя закономерности его протекания.

3 Измельченный продукт подвергается просеиванию на лабораторных ситах и определяется технологическая эффективность помола.

4 Каждая из рабочих бригад докладывает результаты своих испытаний, которые обсуждаются всем коллективом.

5 Полученные результаты заносятся каждым студентом в отчет, который защищается индивидуально.

### Контрольные вопросы

- 1 Как осуществляется рабочий процесс мельницы?
- 2 Приведите примеры конструкций мельниц непрерывного действия.
- 3 Какие параметры влияют на усилие разрушения частиц материала в рабочих зонах?
- 4 Как можно повысить производительность пружинной мельницы?
- 5 На преодоление каких сопротивлений расходуется мощность привода пружинной мельницы?
- 6 Какие материалы лучше всего обрабатывать в пружинной мельнице?
- 7 Как определить удельную энергоемкость работы мельницы?

### Лабораторная работа № 9. Изучение конструкции и анализ рабочего процесса асфальтосмесительной установки

**Цель работы:** изучение конструкции передвижной асфальтосмесительной установки, анализ рабочего процесса и определение производительности ее основных агрегатов.

**Применяемое оборудование:** смеситель асфальтобетона передвижной.



## Общие сведения

Асфальтобетонные смеси приготавливают в асфальтосмесительных установках (асфальтосмесителях).

Технологический процесс приготовления асфальтобетонных смесей состоит из следующих основных операций:

- предварительное дозирование минеральных материалов (песка, щебня, гравия, отсева);
- их загрузка в сушильные устройства, просушивание и нагрев до рабочей температуры;
- сортирование в соответствии с техническими требованиями к выпускаемой смеси;
- нагрев вяжущих материалов до рабочей температуры;
- окончательное дозирование компонентов;
- перемешивание всех компонентов;
- выдача готовой смеси.

Асфальтосмесительные установки классифицируют по следующим признакам (рисунок 1):

- по производительности – установки малой (до 40 т/ч), средней (50–100 т/ч), большой (150–350 т/ч) и особо большой (более 400 т/ч) производительности;
- по мобильности – передвижные (сезонные), полустационарные и стационарные;
- по конструктивному признаку (компоновка агрегатов) – башенные, партерные и комбинированные;
- по технологическому принципу – установки циклического и непрерывного действия;
- по типу смесителя – установки с лопастным и вибрационным смесителем;
- по типу барабана – установки с сушильным и сушильно-смесительным барабаном.

Асфальтобетонные установки представляют собой технологический комплекс оборудования и агрегатов, работающих в единой технологической цепи, и предназначены для приготовления горячих асфальтобетонных смесей различных составов.

В зависимости от технологии протекания процесса смешивания при приготовлении асфальтобетона различают асфальтосмесительные установки непрерывного и периодического (циклического) действия.

В установках непрерывного действия все технологические операции, включая смешивание, выполняются непрерывно, а дозирование, смешивание и разгрузка смесителя производятся периодически определёнными порциями.



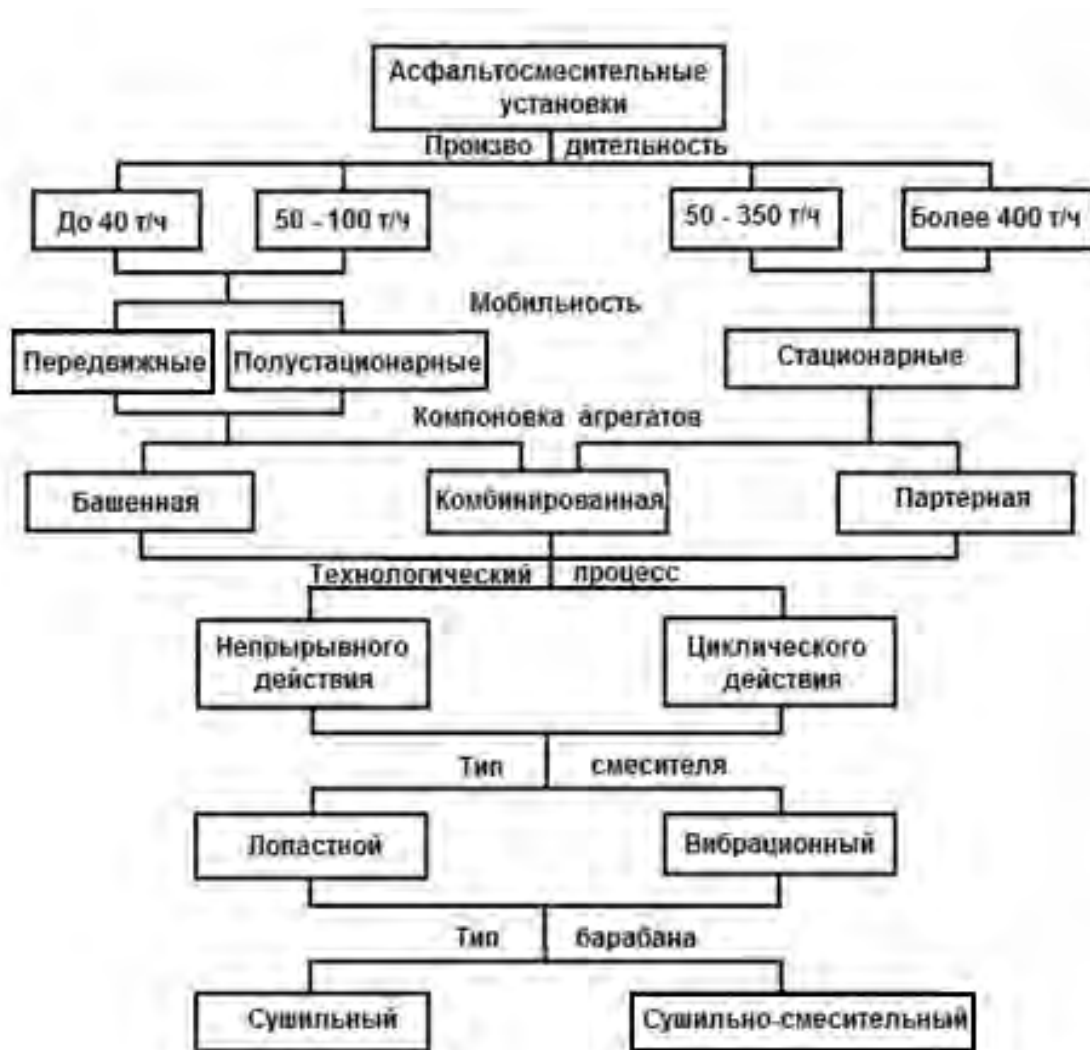


Рисунок 1 – Классификация асфальтосмесительных установок

На рисунке 2 приведена технологическая схема асфальтосмесительной установки непрерывного действия с партерным расположением основного оборудования, а на рисунке 3 – схема асфальтосмесительной установки периодического действия с башенным расположением оборудования смесительного агрегата.

Асфальтосмесительные установки, независимо от принципа их работы, состоят из следующих основных агрегатов (см. рисунки 2 и 3): агрегата питания (а), сушильного агрегата (б), смесительного агрегата, агрегата для хранения и подачи минерального порошка (з), оборудования для нагрева, дозировки и подачи битума, устройства для очистки битума от пыли (ж). В смесительный агрегат входят грохот (в), дозаторы с расходными и весовыми бункерами (г), смеситель (д). Основные агрегаты асфальтосмесительных установок связаны между собой транспортирующим оборудованием.

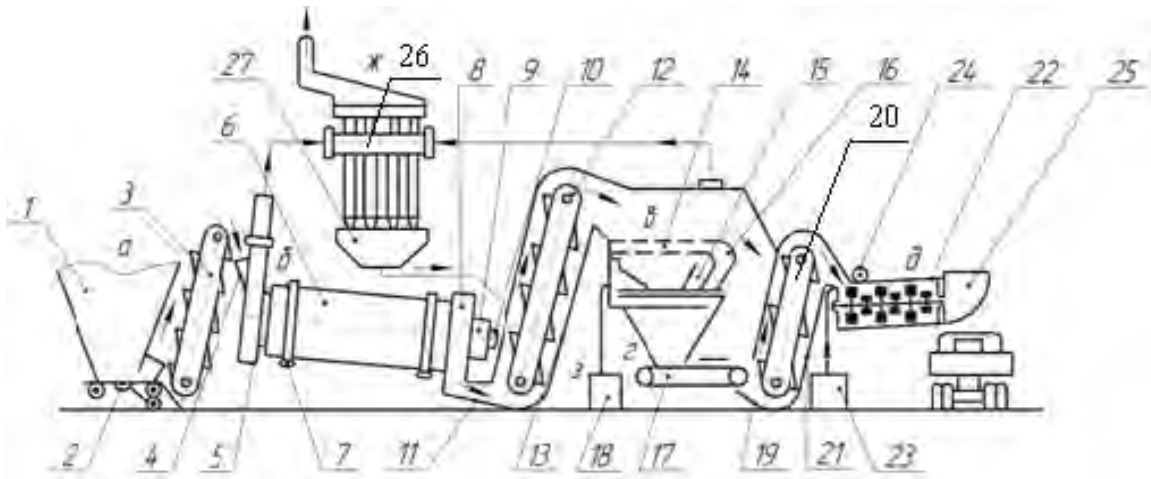


Рисунок 2 – Технологическая схема асфальтосмесительной установки непрерывного действия

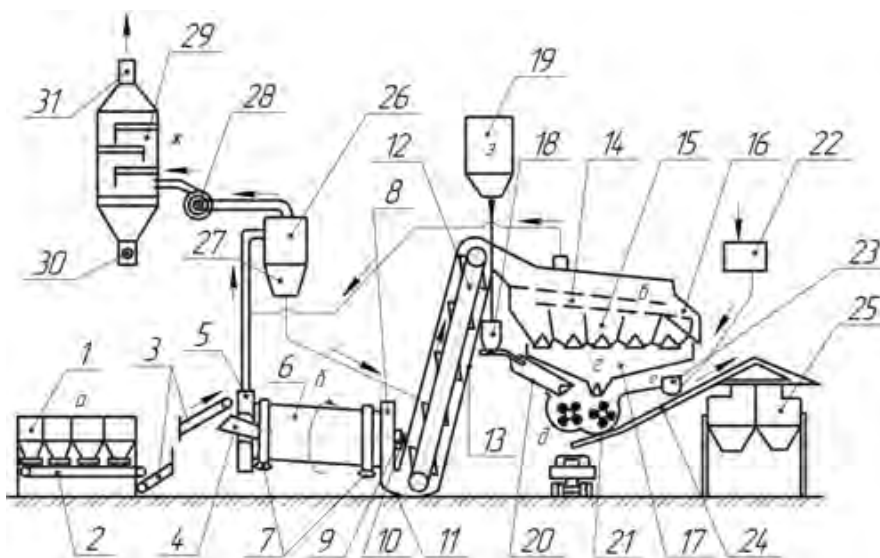


Рисунок 3 – Технологическая схема асфальтосмесительной установки периодического действия

Технологический процесс приготовления асфальтобетонной смеси протекает в следующей последовательности.

Песок со щебнем или гравием соответствующих фракций со склада загружается в бункер 1 агрегата питания с применением погрузчиков, экскаваторов, ленточных конвейеров и других машин.

Питатели 2 предварительно дозируют по объёму и непрерывно выдают минеральные материалы из бункера 1 на ленточный конвейер или холодный ковшовый элеватор 3. Поднятый материал сыпается по лотку 4 в загрузочное устройство 5 сушильного барабана 6. Сушильный барабан установлен на опорных роликах 7 под углом  $3-6^{\circ}$  к горизонту и имеет внутри продольные лопасти, прикреплённые к стене барабана. Специальный привод осуществляет вращение барабана относительно его продоль-



ной оси. Загружаемый при этом в барабан материал многократно поднимается внутренними лопастями, скользит по ним, падает вниз и перемещается вдоль оси сушильного барабана. Навстречу минеральным материалам внутри барабана движутся горячие газы, образуемые в топке 9 при сгорании жидкого топлива (мазута), подаваемого форсункой 10.

При таком противоточном движении горячих газов и минеральных материалов происходит интенсивная сушка и нагрев последних до температуры 180–250 °С.

Нагретые минеральные материалы через разгрузочную коробку 8 сушильного барабана подаются в приёмный лоток 11 ковшового элеватора 12. Горячий элеватор 12, имеющий теплозащитный кожух 13, поднимает нагретые материалы на требуемую высоту и подаёт их на вибрационный грохот 14. Грохот сортирует минеральные материалы на фракции, которые поступают в отдельные отсеки бункера горячих материалов 15, имеющего теплоизоляционный кожух. Негабаритный щебень с верхнего сита грохота по сыпному лотку 16 отводится в отдельный бункер или за пределы смесительного агрегата. Отсеки бункера для отдельных фракций имеют окна для отвода излишков материала по патрубкам в бункер излишков.

В асфальтосмесительных установках непрерывного действия (см. рисунок 2) отдельные фракции нагретых минеральных материалов из отсеков горячего бункера поступают на весовые дозаторы непрерывного действия 17.

Параллельно отдельным дозатором производится непрерывное дозирование минерального порошка, который поступает на дозатор из соответствующего бункера, а в него подаётся из ёмкости для хранения.

Дозируемые фракции минеральных материалов и минеральный порошок из дозаторов подаются в загрузочную коробку 19 второго горячего элеватора 20, имеющего теплозащитный кожух 21. Элеватор поднимает указанные материалы и непрерывно загружает их в двухвальную лопастную смеситель 22 непрерывного действия с принудительным перемешиванием. В этот же смеситель битумным насосом-дозатором 24 непрерывно подаётся битум, нагретый в битумоплавильне 23 до рабочей температуры (150–180 °С). Под действием лопастей вращающихся валов смесителя составляющие асфальтобетона совершают движение по сложным траекториям с различными скоростями: поднимаются вверх, опускаются вниз, вдавливаются в объёмы материала с меньшей скоростью движения, обычно расположенного дальше от лопастей, смещаются вдоль валов в сторону разгрузки и т. д. При этом все частицы смеси обволакиваются жидким горячим битумом. В результате перемешивания частицы меньших размеров заполняют промежутки между более крупными частицами, вытесняя из них воздух. Перемешанная асфальтобетонная смесь выгружается непрерывным потоком из смесителя и при открытом затворе 25 высыпается в



кузов автосамосвала. Затвор двухвального лопастного смесителя непрерывного действия выполнен в виде поворачивающегося сектора, образующего накопительный бункер небольшой вместимости. При закрытом затворе производится смена транспортных средств (автосамосвалов) для отвозки бетона.

Смесительные агрегаты асфальтосмесительных установок периодического действия (см. рисунок 3) работают в циклическом режиме. В них фракции минеральных материалов из горячего элеватора 12 поступают на весовой дозатор циклического действия 17. Порция минерального порошка, находящегося в бункере 18, дозируется отдельным дозатором 20. Минеральный порошок подаётся в бункер из агрегата хранения 19. Отдозированные фракции минеральных материалов и минерального порошка поступают в двухвальный лопастной смеситель 21 циклического действия. В этот смеситель битумным насосом-дозатором 23 подаётся порция битума, нагретого в битумоплавне 22 до рабочей температуры (150–180 °С). Лопасти валов смесителя наклонены вдоль осей валов в одну и другую сторону, что способствует противоточному принудительному перемещению перемешиваемого материала с различными скоростями и по различным траекториям.

Под давлением лопастей и гравитационных сил частицы будут двигаться по линии наименьшего сопротивления, вытесняя воздух из промежутков между более крупными частицами, заполняя эти промежутки и перераспределяясь по всему объёму. При этом все частицы хорошо обволакиваются горячим битумом. Большинство лопастей перемешиваемые материалы сдвигаются к середине смесителя. После окончания перемешивания открывается разгрузочный затвор, расположенный в середине корпуса смесителя, и порция приготовленной горячей асфальтобетонной смеси высыпается в автосамосвал или в ковш скипового подъёмника 24. С его помощью приготовленная смесь перегружается в накопительный бункер 25. Наличие накопительных бункеров исключает простой смесительного агрегата при задержке автотранспорта и ускоряет его загрузку.

Асфальтосмесительные установки оборудуются агрегатом очистки дымовых газов и запыленного воздуха смесительного агрегата. Способы очистки могут быть различными. На рисунке 2 приведена схема одноступенчатой сухой очистки дымовых газов и запыленного воздуха. Дымовые газы, выходящие из сушильного барабана, и запыленный воздух над грохотом проходят через батарею циклонов 26, где за счёт изменения направления движения, резкого снижения скорости частицы пыли под действием силы тяжести оседают в бункере 27 циклонов. Затем собранная пыль подаётся на горячий элеватор, и только незначительное количество мелких частиц улетает в атмосферу.

На рисунке 3 приведена схема двухступенчатой очистки дымовых

газов и запыленного воздуха. Запыленный воздух и дымовые газы поступают на первую ступень очистки 26. Задержанная здесь пыль из бункера 27 подаётся на горячий элеватор, а воздух с газами направляется дымососом (вентилятором) 28 на вторую ступень очистки 29. На второй ступени применяется мокрая очистка, очистка рукавными фильтрами или электрофильтрами.

Пыль и шлам на второй ступени очистки удаляются через питатель 30, а очищенный воздух выходит в атмосферу через трубу 31.

Асфальтосмесительные установки непрерывного действия применяются при приготовлении асфальтобетонной смеси постоянного состава при больших объёмах работы. Они требуют остановки всех агрегатов при переналадке дозаторов на выпуск смеси другого состава, и в них невозможно регулировать время перемешивания.

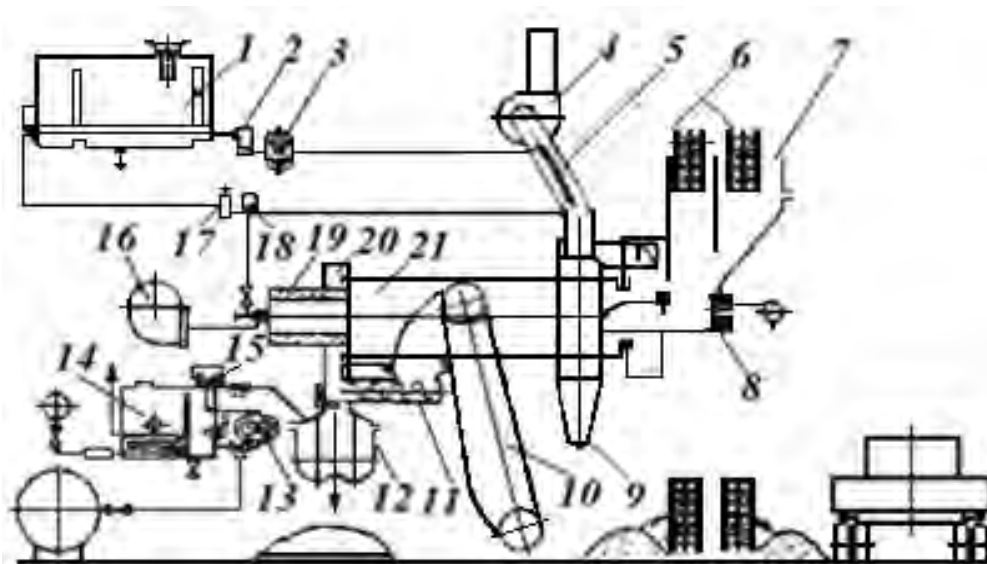
Асфальтосмесительные установки периодического действия позволяют быстро и легко переходить на выпуск смеси другого требуемого рецептурного состава, а также регулировать продолжительность перемешивания для обеспечения нужного качества. Башенное расположение основного оборудования смесительной установки уменьшает количество транспортирующих машин и занимаемую площадь.

Передвижные асфальтосмесители эффективны при небольших объёмах работ, а также при удаленности объекта производства от стационарных асфальтосмесительных установок.

Исходя из конструктивной компоновки и количества технологических узлов можно выделить две основные группы передвижных асфальтосмесительных установок: малой производительности (3–50 т/ч) и большой производительности (50–150 т/ч).

В передвижном асфальтосмесителе (рисунок 4) песок и щебень подаются отдельно двумя ковшовыми элеваторами 6 в соответствующие отсеки бункера 7 общей вместимостью 0,4 м<sup>3</sup>. Под разгрузочными отверстиями отсеков бункера установлены качающиеся питатели-дозаторы 8, которые входят в загрузочную (дымовую) коробку сушильного барабана. Сушильный барабан 21 цилиндрической формы установлен с наклоном 3° в сторону разгрузки и оборудован топкой 19 с форсункой воздушного распыления, осуществляемого вентилятором 16. Форсунка питается мазутом, подаваемым из топливного бака 1 насосом 3. Часть топливопровода, выполненная в виде змеевика 5, помещена в дымоходе, по которому проходят горячие газы, отводимые из сушильного барабана дымососом 4. Дымовые газы до поступления в дымовую трубу проходят через циклон 9. Обогрев топливопровода отходящими газами обеспечивает подогрев топлива до 70–80 °С и лучшее его сгорание. Топливопровод оборудован фильтром 2, редукционным клапаном 17 и манометром 18.





1 – топливный бак; 2 – фильтр; 3 – насос; 4 – дымосос; 5 – змеевик; 6 – ковшовый элеватор; 7 – бункер; 8 – питатель-дозатор; 9 – циклон; 10 – скребковый транспортер; 11 – дозатор минерального порошка; 12 – смеситель; 13 – битумный насос; 14 – расходный бак; 15 – дозатор битума; 16 – вентилятор; 17 – редукционный клапан; 18 – манометр; 19 – топка; 20 – разгрузочная коробка; 21 – сушильный барабан

Рисунок 4 – Схема технологического процесса передвижного асфальтосмесителя

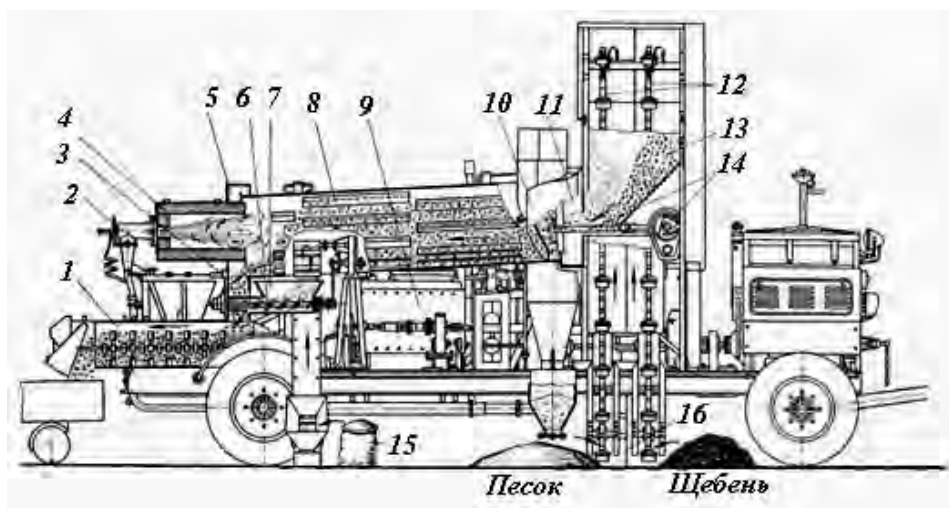
Нагретый в сушильном барабане минеральный материал через разгрузочную коробку 20 поступает в смеситель непрерывного действия 12. В нижней части коробки установлен термометр для контроля за температурой материала. В разгрузочную коробку введен также лоток дозатора 11 заполнителя, представляющего собой шнек, установленный в разгрузочной воронке, и выходной конец битумопровода. Заполнитель (минеральный порошок) подается к дозатору скребковым транспортером 10. Битум поступает в смеситель из расходного бака 14 посредством битумного насоса 13. Дозировка битума осуществляется объемным дозатором 15. Расходный бак вместимостью  $0,57 \text{ м}^3$  теплоизолирован и снабжен форсункой для обогрева, в которую из отдельного бачка подается топливо.

Таким образом, в процессе перемешивания со стороны загрузочного конца в двухвальный смеситель, на валах которого расположено по 16 пар лопастей, непрерывно поступает минеральный материал и битум, а с противоположного конца непрерывно выдается готовая смесь.

Привод всех агрегатов асфальтосмесителя осуществляется от двигателя внутреннего сгорания посредством механических передач.

На рисунке 5 представлена конструктивная схема передвижного асфальтосмесителя.

Техническая характеристика передвижной асфальтосмесительной установки представлена в таблице 1.



1 – смеситель; 2 – форсунка; 3 – термометр; 4 – топка; 5 – разгрузочная коробка; 6 – битумопровод; 7 – дозатор минерального порошка; 8 – сушильный барабан; 9 – бак для битума; 10 – циклон; 11 – загрузочный бункер; 12 – элеватор ковшей для песка и щебня; 13 – бункер; 14 – питатели-дозаторы песка и щебня; 15 – минеральный порошок; 16 – разделительный щит

Рисунок 5 – Конструктивная схема передвижного асфальтосмесителя

Таблица 1 – Техническая характеристика передвижной асфальтосмесительной установки

Параметры	Величина
Максимальная производительность, т/ч	6,5
Габаритные размеры в рабочем положении, мм	
длина	7510
ширина	4200
высота	3730
Масса, кг	7700
Мощность двигателя, кВт	36,0
Размеры сушильного барабана, мм	
диаметр	680
длина	2700

### Порядок выполнения работы

1 По заданию преподавателя студенты, разбитые в бригады по 3–4 человека, выполняют следующие виды работ:

- составляют и обосновывают рецептуру асфальтобетонной смеси;
- разрабатывают технологическую схему приготовления асфальтобетонной смеси;
- составляют кинематическую схему передвижной асфальтосмесительной установки;
- описывают битумную систему;
- по известным методикам производят расчет производитель-

ности основных агрегатов установки – подъемника, сушильного барабана и смесителя.

2 По завершении работы каждая из бригад студентов докладывает свои результаты, которые обсуждаются всем коллективом.

3 Полученные результаты заносятся каждым студентом в отчет, который защищается индивидуально.

### **Лабораторная работа № 10. Изучение методов и технических средств монтажа и установок в проектное положение технологического оборудования**

**Цель работы:** изучение требований, технических условий, методов и необходимые средства и приборы для установки в проектное положение технологического оборудования.

**Оборудование:** дробилки щековая, грохот, паровая мельница.

#### **Общие сведения**

Монтаж оборудования производится при строительстве новых объектов, а также при реконструкциях и ремонте действующих.

Строительно-монтажные работы по возведению объекта включают в себя следующие категории работ: строительные; специальные строительные и монтажные.

К **строительным** относятся работы по возведению зданий и сооружений. К **специальным** – работы по вентиляции, футеровке, нанесению химзащитных и изоляционных покрытий, кладке промышленных печей, возведению кирпичных и железобетонных труб. К **монтажным** – монтаж оборудования, металлоконструкций, трубопроводов, контрольно-измерительных приборов (КИП), энергетического оборудования, подъемно-транспортного оборудования.

Для выполнения монтажных работ составляется соответствующий проект. Проект производства работ включает: ведомость монтажного оборудования; пояснительную записку; графическую часть (монтажный генплан, схемы монтажа); графики монтажных работ; технологические карты.

В ведомость оборудования входят грузоподъемное и транспортное оборудование, приспособления и устройства, необходимые для выполнения монтажных работ; средства индивидуальной защиты работающих; средства контроля (теодолиты, нивелиры и др.); шпалы, подмости, настилы.

В пояснительной записке приводят сведения о подлежащем монтажу оборудовании; обосновывают выбор метода и средств монтажа; дают пояснения к производству сварочных работ, обеспечению монтажных работ энергией, водой, сварочными газами.

На монтажном генплане показывают места расположения приобъектных складов, площадок укрупнительной сборки, линии электропередач, ограждения котлованов и траншей, места расположения тяжеловесного оборудования.

Схемы монтажа разрабатываются, как правило, для оборудования массой более 10 т, на сложные работы и работы, выполняемые новыми методами. Схемы приводят на следующие виды работ:

- перемещение оборудования в пределах монтажной зоны от места выгрузки до исходного положения для подъема;
- укрупнённую сборку оборудования;
- установку оборудования в проектное положение;
- испытание, установку, перемещение, демонтаж монтажных приспособлений.

Монтажной площадкой называется комплекс производственных и бытовых зданий с дорогами и коммуникациями. При организации монтажной площадки особое внимание уделяется вопросам техники безопасности – ограждению опасных зон, освещению, наличию пожарного инвентаря и аптечек. К началу монтажных работ должны быть выполнены работы нулевого цикла: подготовка подъездных путей и проездов, изготовление фундаментов, покрытие монтажных площадок сборными железобетонными плитами, обеспечение площадок водопроводом, электроэнергией, канализацией.

Развитие промышленности строительных материалов происходит в основном за счет повышения мощности производства и появления принципиально новых, более компактных установок, масса которых составляет от нескольких десятков до нескольких сотен тонн, а высота и длина иногда превышают 100 м. Поэтому методы организации монтажных работ определяются возможностями заводов-изготовителей, состоянием транспортных путей, парком грузоподъемных механизмов и уровнем монтажной технологии.

Применяют четыре основных метода организации строительномонтажных работ: поточно-совмещенный, узловый, комплектно-блочный и вахтовый.

**Поточно-совмещенный** метод основан на непрерывности работ, постоянной загрузке рабочих и строительных машин. В основе метода лежит четкая координация работ между строителями, монтажниками и поставщиками оборудования.

**Узловой метод** предусматривает разбивку объекта на взаимоувязанные между собой узлы, техническая готовность которых позволяет автономно производить наладочные работы и опробование механизмов.

**Комплектно-блочный метод** основан на организации монтажа с максимальным переносом работ со строительной площадки в условия промышленного производства путем агрегирования оборудования, трубо-



проводов и конструкций в блоки на предприятиях-поставщиках.

**Агрегированный блок** – конструктивно законченный комплекс оборудования. Агрегированные блоки могут быть технологическими; строительно-технологическими; строительными и блоками коммуникаций.

**Технологический блок** предназначен для реализации массо- и теплообменных, химических, механических и других процессов. Если технологический блок включает в себя ограждения и другие строительные элементы, его называют строительно-технологическим.

**Строительный блок** – конструктивно законченное здание, предназначенное для размещения в нем отдельных производств, а также административных и бытовых помещений.

**Блок коммуникаций** – объединенные в сборочную единицу коммуникации и опорные конструкции под них.

**Вахтовый метод** применяют для строительства разбросанных на значительном расстоянии от базовой монтажной организации объектов при наличии их полной строительной готовности и 100-процентной комплектации.

Существует три вида контроля качества монтажных работ: входной контроль, пооперационный контроль и приемочный контроль.

**Входной контроль** – проверка соответствия поступающих на объекты монтажа и склады проектно-технической документации технологического оборудования, материалов и конструкций установленным требованиям СНиПов и ГОСТов. Основные задачи входного контроля – предупреждение попадания в производство дефектной продукции и своевременное оформление рекламаций на эту продукцию. Входной контроль осуществляют работники служб подготовки производства. Технологическое оборудование проверяют на приобъектных складах или монтажной площадке в присутствии представителя заказчика.

**Пооперационный контроль** (или самоконтроль) служит для предотвращения возможности появления дефектов, вызванных нарушением технологии монтажных работ, неисправностями монтажных механизмов, несовершенством средств измерений. Пооперационный контроль осуществляют рабочие, бригадиры, мастера.

**Приемочный контроль** – это детальное изучение выявленных дефектов и решение о работоспособности оборудования. Приемочный контроль осуществляют ведущие специалисты из числа ИТР монтажной организации и заказчика. Государственная приемка – разновидность приемочного контроля.

Выбор способа монтажа зависит от ряда факторов:

- габаритов, массы и конструктивных особенностей монтируемого оборудования;
- площадки, на которой производится монтаж;
- пространственного положения оборудования;
- оснащенности монтажными механизмами и приспособлениями;





– достигнутого уровня монтажной техники.

Монтажные работы проводятся тремя способами: индустриальным, крупными блоками и по месту.

**Индустриальный способ** (наиболее передовой способ монтажа) позволяет резко уменьшить продолжительность монтажных работ. Сущность его заключается в том, что оборудование устанавливается в проектное положение в максимально готовом к эксплуатации виде (полная сборка оборудования, его испытание, нанесение тепловой изоляции, футеровка, установка запорной арматуры и т. д.).

Если индустриальный способ полностью неприемлем, то осуществляют **монтаж крупными блоками**. Последовательность и сроки сборки блоков должны быть подчинены технологии их соединения непосредственно на фундаменте. Масса каждого блока должна быть в пределах грузоподъемности имеющихся механизмов и приспособлений.

Наиболее примитивным, малопроизводительным способом является **монтаж по месту**, при котором оборудование, металлоконструкции и трубопроводы собираются из отдельных деталей и узлов непосредственно на местах их установки.

### Пример монтажа мельницы

Монтаж всех трубных шаровых мельниц одинаков и различается лишь по объему работ в зависимости от размеров мельницы. К монтажу мельницы можно приступить не ранее чем через 72 ч после сооружения фундамента. Фундамент под мельницы должен изготавливаться из высококачественного бетона, противостоящего статическим и динамическим нагрузкам, возникающим от вибрации мельницы во время работы. Бетонная плита должна быть уложена на твердом грунте таким образом, чтобы при работе мельницы не было неравномерного оседания. Заводы-изготовители, как правило, поставляют трубные мельницы в демонтированном виде (корпус, привод, подшипники, редукторы, электродвигатели и т. д.), барабаны мельницы – как в собранном виде с футеровкой (с торцовыми днищами), так и в разобранном виде (торцовые днища поступают отдельно) без футеровки.

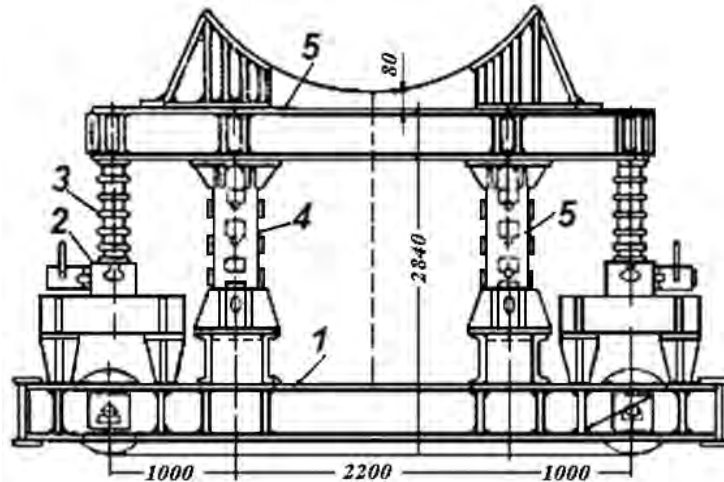
Технология монтажа мельниц зависит от условий расположения мельницы в помещении и наличия подъемно-транспортных средств. Крупные трубные мельницы монтируют при помощи двух стреловых кранов грузоподъемностью 30–50 т, тележек грузоподъемностью 80 т, оборудованных специальными телескопическими трубами и гидравлическими домкратами (рисунок 1).

На вновь строящихся цементных заводах перед монтажом технологического оборудования помольных цехов сначала монтируют мостовые краны, на действующих цементных заводах используют мостовые краны,



имеющиеся в помольном отделении.

Перед монтажом мельницы и укрупненной сборкой узлов осматривают детали и узлы и проверяют их комплектность. Ревизию редуктора привода мельницы выполняют после его установки на фундамент.



1 – рама тележки; 2 – гидравлические домкраты; 3 – набор шайб; 4 – телескопическая труба; 5 – опора под корпус мельницы

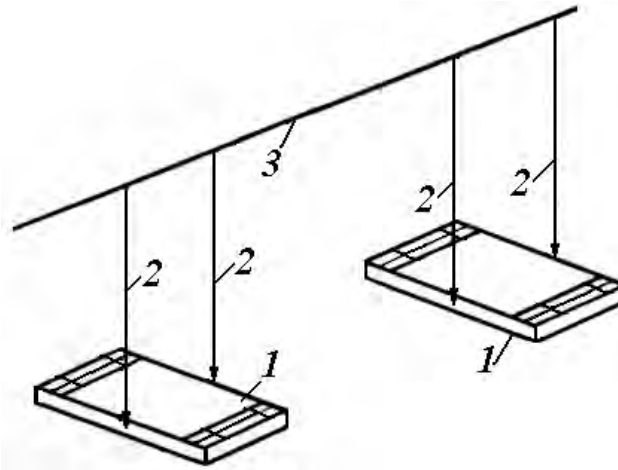
Рисунок 1 – Тележка для монтажа корпуса мельницы

Монтаж мельниц производят в такой последовательности: фундаментные плиты подшипников; главные подшипники; барабан мельницы; узлы привода с электродвигателем; кожуха, ограждения; смазочное оборудование.

Проверив состояние и размеры фундаментов, и их расположение по отношению к конструкциям здания, бункерам и транспортирующим механизмам, приступают к разбивке осей фундаментов и укладке опорных фундаментных плит (рам) коренных цапфовых подшипников. Разбивку осей фундамента производят с помощью струны, натянутой над фундаментом, и вертикальных отвесов, фиксирующих положение опорных фундаментных плит (рисунок 2). Допуски на отклонение размеров в установке фундаментных плит не должны превышать: смещение продольной оси – не более 10 мм, расстояние между поперечными осями опорных рам – не более  $\pm 1$  мм; отклонения высотных отметок каждого из четырех углов опорных плит не должны превышать  $\pm 1$  мм. Верхние опорные поверхности фундаментных плит должны находиться на одном уровне, горизонтальность их положения проверяют нивелиром или гидравлическим уровнем, положение плит по высоте и горизонтали регулируют подбивкой клиньев. После проверки колодцы анкерных болтов фундаментных плит заливают бетонным раствором на глубину  $2/3$  длины болта. В тех случаях, когда установка плит предусмотрена без анкерных болтов, плиту армируют и заливают полностью бетонным раствором с таким расчетом, чтобы она была

утоплена до нижней грани верхнего пояса. После того как бетон затвердел, можно приступить к установке подушек (нижней части корпуса) цапфовых подшипников, которые закрепляют болтами. Далее устанавливаются вкладыши, предварительно проверенные по краске на прилегание к поверхности цапф.

Цапфовые подшипники должны быть установлены строго по отвесам, опущенным с проволоки, фиксирующей ось мельницы; отвесы должны совпадать с центрами цапфовых подшипников.



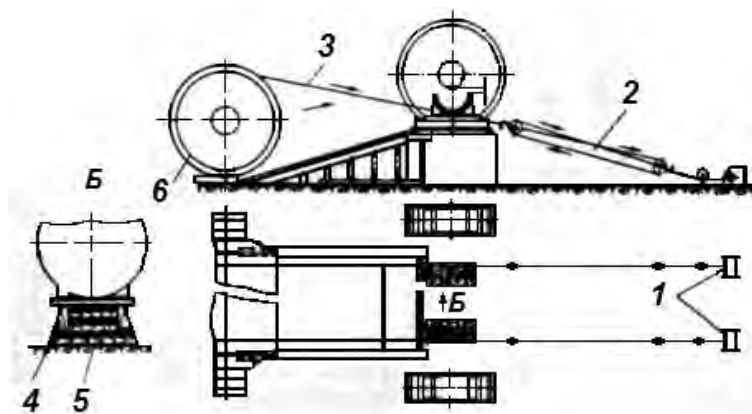
1 – плиты; 2 – отвесы; 3 – струна

Рисунок 2 – Схема проверки расположения фундаментных плит для цапфовых подшипников

Расстояние между подшипниками цапф должно быть с достаточной точностью выверено микрометрическим штихмасом и по натянутой струне с учетом теплового удлинения корпуса мельницы при ее работе. Допуск на отклонение расстояния между центрами цапфовых подшипников должен быть не более 2 мм. Затем уровнем проверяют горизонтальность установки обоих подшипников с ценой деления 0,03–0,1 мм, а нивелиром – высотные отметки поверхности фундаментных плит, которые должны лежать в одной горизонтальной плоскости. Анкерные болты фундаментных плит затягивают, а металлические прокладки или клинья, применяемые при выверке, сваривают между собой электросваркой. Проверив затверждение раствора, и произведя подтяжку болтов, и вторично проверив установку цапфовых подшипников, приступают к монтажу предварительно собранного корпуса мельницы. Если днища мельницы поступили с завода-изготовителя отдельно от корпуса, то их следует тщательно собрать, проверяя маркировку и совпадение контрольных рисок на фланцах и обеспечивая плотное прилегание днища к фланцу равномерной затяжкой болтов. Зазоры в местах сопряжения днищ с фланцами корпуса не должны превышать 0,1 мм. Перед установкой корпуса мельницы на цапфовые подшип-

ники в них предварительно монтируют систему водяного охлаждения и проверяют ее плотность под давлением 0,4 МПа.

Корпус мельницы на подшипники можно установить различными способами исходя из наличия подъемно-транспортных средств – по эстакаде при помощи лебедок (рисунок 3), трактором, тележкой с телескопической трубой или гидравлическими домкратами. В последнем случае на площадке укрупнительной сборки двумя стреловыми кранами устанавливают корпус мельницы на две тележки грузоподъемностью по 80 т, блок мельницы на двух тележках двумя лебедками грузоподъемностью 5 т подают к месту установки по рельсовым путям, корпус мельницы опускают в проектное положение при помощи домкратов и телескопических труб, установленных на грузовых тележках. Во всех случаях монтажа корпус мельницы опускают в подшипники при помощи гидравлических домкратов.



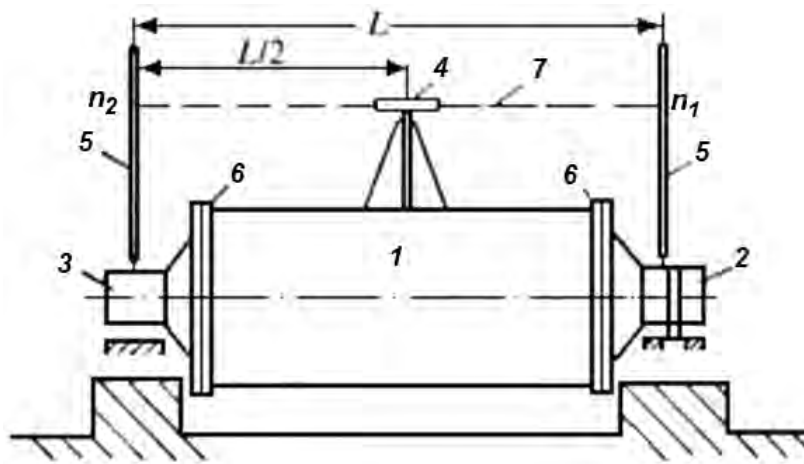
1 – лебедки; 2 – полиспасты; 3 – трос; 4 – гидравлические домкраты; 5 – клетка из шпал; 6 – корпус мельницы

Рисунок 3 – Схема накатки корпуса мельницы

Горизонтальность оси мельницы проверяют уровнем, накладываемым на верхнюю часть поверхности цапф, или нивелиром, устанавливаемым на корпус мельницы, причем делают четыре замера – по одному при каждом повороте мельницы на  $90^0$  (рисунок 4). Обнаруженные неточности устраняют подъемом или опусканием цапфовых подшипников. После этого краской проверяют полноту соприкосновения поверхности цапф с поверхностями вкладышей подшипников. Если мельница имеет вкладыши у опорных подшипников, то необходимо проверить торцовые зазоры между вкладышем подшипника и буртами упорной цапфы мельницы. Отклонение размеров торцовых зазоров от номинальных допускается не более 2 мм.

После проверки оси мельницы в горизонтальном положении и контроля соприкосновения цапф с поверхностями вкладышей цапфовых подшипников устанавливают маслосгонные кольца, крышки подшипников, а затем заливают бетоном фундаментные плиты так, чтобы плита по всей

своей длине покоилась на бетоне и была бы в нем утоплена вплоть до нижней грани верхнего пояса. Затем монтируют систему смазки и водопровода и проверяют биение фланцев корпуса. Радиальное биение фланцев должно быть не более 1,5 мм, а осевое – не более 2 мм.



1 – корпус мельницы; 2 – неподвижная цапфа; 3 – скользящая цапфа; 4 – нивелир; 5 – рейка с миллиметренным делением; 6 – фланцы корпуса; 7 – визирная линия

Рисунок 4 – Схема проверки горизонтальности оси мельниц

Основной редуктор мельницы с центральным приводом проверяют относительно оси мельницы при помощи струны и четырех отвесов, которые должны совпадать с центрами загрузочной цапфы, соединительной муфты разгрузочной цапфы, соединительной муфты редуктора и приводного вала редуктора.

При окончании монтажа мельницы приступают к обкатке привода на холостом ходу. Для этого под шлицевый вал подводят временную опору, а шлицевую муфту со стороны редуктора отсоединяют с тем, чтобы между торцом шлицевого вала и муфтой был зазор 8–10 мм. Редуктор заливают маслом и обкатывают в течение 4 ч, а затем обкатывают всю мельницу в течение 8 ч. При этом временную опору под шлицевым валом удаляют и промежуточный вал соединяют с редуктором.

После обкатки мельницу останавливают и осматривают все части снаружи, подтягивают фундаментные болты, а также все болты, крепящие футеровку, подшипники, загрузочные и разгрузочные устройства и т. д., открывают люк барабана для проверки исправности футеровочных плит и надежности их крепления. На этом приемку заканчивают и мельницу сдают в эксплуатацию. После 8 и 24 ч работы мельницы под нагрузкой подтягивают болты крепления футеровки: в первые 8 ч – через 2 ч, а в остальное время – через 4 ч. В дальнейшем болты необходимо проверять ежедневно.

## Порядок выполнения работы

После изучения общих сведений о монтаже технологического оборудования студенты на существующих видах измельчительных машин производят анализ конструкции, проработку проекта монтажных работ, определяют методы монтажа, подбирают необходимые технические средства и условия контроля.

Студенты, разбитые на бригады по 3–4 человека, на одном из агрегатов производят необходимые замеры и осуществляют моделирование монтажа крупных технологических объектов, используя справочную и техническую информацию.

Все полученные результаты заносятся каждым студентом в отчёт, который защищается индивидуально.

## Контрольные вопросы

1 Какие виды технологического оборудования характеризуются наибольшей сложностью и трудоёмкостью при его монтаже?

2 Приведите основные положения организации монтажных работ.

3 В чём заключается сущность проектирования монтажных работ?

4 Какие методы организации монтажных работ вы знаете?

5 Назовите основные способы проведения монтажных работ.

6 Как осуществляется контроль качества монтажных работ?

7 Приведите пример монтажа и установки в проектное положение шаровой мельницы.

8 Какие основные правила ТБ необходимо выполнять при монтаже технологического оборудования?

## Лабораторная работа № 11. Изучение конструкции и определение основных параметров автоклава

**Цель работы:** изучение в практических условиях Могилевского КСИ устройства действующих автоклавов и определение его основных параметров.

### Устройство и принцип действия автоклава

Автоклавы представляют собой герметически закрывающийся сосуд. Предназначены они для тепловлажностной обработки изделия паром под давлением выше атмосферного (рисунок 1). Автоклавы бывают тупиковые (АТ) и проходные (АП) с двумя крышками. Размеры автоклавов: диаметр до 2,6 и 3,6 м, длина 17–19 м и более (по заказу потребителя). Рабочие избыточные давления по ГОСТу – 0,8; 1,25; 1,6; 2; 5 МН/м<sup>2</sup>.



Стальные автоклавы изготавливают в виде цилиндра со сферическими крышками для повышения их прочности. В настоящее время находят применение автоклавы прямоугольного сечения из напряженного железобетона. Такие автоклавы чаще стальных проверяются на безопасность в эксплуатации, так как они имеют стенки из неоднородного и непластичного материала.

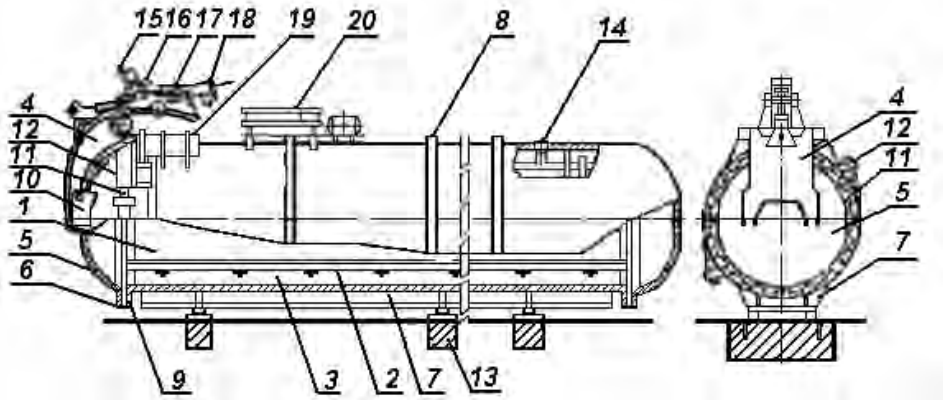


Рисунок 1 – Общий вид автоклава

Стальные автоклавы устанавливают на одной неподвижной и остальных подвижных опорах, что устраняет напряжения, возникающие в корпусе от теплового расширения материала.

Автоклав состоит из корпуса 1 с фланцами 9. К наружной поверхности корпуса приварены кольца жесткости 8, внутри корпуса расположены рельсы 3, по которым следуют в автоклав вагонетки. Для прочности поверхности автоклава приварены продольные балки 7. Устанавливается автоклав на опоры 13. На сферической крышке 5 устанавливаются ушки 10, которыми она крепится к рычагу 4 механизма подъема. Механизм подъема состоит из гидроцилиндра 18, хомута 15, штока гидроцилиндра 16. Гидроцилиндр 18 крепится при помощи цапф 17 на кронштейне 19.

Для запираания крышки автоклава служит байонетное кольцо 6 с механизмом поворота. Механизм поворота состоит из гидроцилиндров 11, смонтированных на кронштейнах 12. Крышка запирается поворотом байонетного кольца, при этом зуб (выступ) кольца заходит за выступ фланца, образуя тем самым замок. Автоклав имеет сигнально-блокировочное устройство, не допускающее пуск пара в автоклав при неплотно закрытой крышке и поворот байонетного кольца при наличии давления в автоклаве. Насосная станция 20 состоит из маслобака, лопастного насоса, электродвигателя и предохранительного клапана с переливным золотником.

В автоклав по рельсам 3 закатываются запарочные вагонетки, после чего включается гидропривод и механизм подъема крышек. Когда полностью закроется крышка, специальный конечный датчик дает разрешение на

поворот байонетного кольца. В конце поворота кольца срабатывает конечный выключатель, заблокированный с программным регулятором запарки. В соответствии с программой осуществляется весь процесс запарки, по окончании которого автоматически выпускается пар и конденсат.

### Определение толщины стенки цилиндрической части корпуса автоклава

При конструировании автоклава задача расчета корпуса на прочность заключается в определении необходимой толщины стенок цилиндрической части и крышек по заданному давлению пара по толщине, а также в проверке прочности корпуса при транспортировке.

Толщина стенки цилиндрического корпуса автоклава определяется по формуле

$$\delta = \frac{P \cdot D_1}{230 \cdot \varphi \cdot \sigma - P} + C, \quad (1)$$

где  $P$  – рабочее давление в автоклаве, кН/см;

$D_1$  – внутренний диаметр автоклава, см;

$\varphi$  – коэффициент прочности сварки в продольном направлении,  
 $\varphi = 0,95$ ;

$\sigma$  – номинальное допустимое напряжение для стали соответствующей марки, для Ст3  $\sigma = 10,1$  кН/см<sup>2</sup>;

$C$  – коэффициент, учитывающий коррозию корпуса автоклава,  
 $C = 0,2$  см.

### Определение толщины стенки днища автоклава

Толщина стенки днищ определяется по формуле

$$\delta = \frac{P \cdot D_1}{400 \cdot \sigma - P} \cdot \frac{D_g}{2 \cdot h_g} + C_g, \quad (2)$$

где  $D_g$  – внутренний диаметр автоклава, см;

$h_g$  – высота рассчитываемой части днища, см;

$C_g$  – коэффициент, учитывающий коррозию,  $C_g = 0,2$  см.

### Определение допустимого давления в автоклаве

Допустимое рабочее давление в автоклаве рассчитывается по формуле





$$P = \frac{230 \cdot (\delta - c) \cdot \varphi \cdot \sigma}{D_6 \cdot (\delta - c)}. \quad (3)$$

Допустимое напряжение в стенке барабана,  $\sigma_{np}$ , кН/см<sup>2</sup>, определяется по формуле

$$\sigma_{np} = \frac{P_p [D_1 + (\delta - c)]}{230 \cdot (\delta - c) \cdot \varphi}. \quad (4)$$

### Проверка прочности корпуса автоклава при транспортировке (при условии подъема его за среднюю часть)

Определение прочности корпуса автоклава производится из условия

$$\sigma_{изг} \leq \sigma, \quad (5)$$

где  $\sigma_{изг}$  – напряжение изгиба корпуса автоклава, кН/см<sup>2</sup>.

$$\sigma_{изг} = \frac{M_{изг}}{W}, \quad (6)$$

где  $M_{изг}$  – изгибающий момент в опасном сечении, кН·см;  
 $W$  – момент сопротивления корпуса автоклава, см<sup>3</sup>.

$$M_{изг} = \frac{q \cdot L^2}{8}, \quad (7)$$

где  $M_{изг}$  – нагрузка на 1 см длины, кН/см<sup>2</sup>;  
 $L$  – длина автоклава, см.

$$q = \frac{G_6}{L}, \quad (8)$$

где  $G_6$  – собственный вес автоклава, кН.

Момент сопротивления  $W$  корпуса автоклава составляет:

$$W = \frac{\pi}{32} \cdot \left( \frac{D_{вн}^4 - D_1^4}{D_1} \right), \quad (9)$$

где  $D_{вн}$  – внешний диаметр автоклава, см.



Техническая характеристика автоклавов представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Техническая характеристика автоклавов

Характеристика автоклава	Модель				
	СМ-154	СМ-545	СМ-1248	СМ-1264А	СМ-1284
Тип	Непроходные (тупиковые)		Проходные		
Внутренний диаметр барабана, м	2	2,6	2	2	3,6
Рабочая длина, м	17	19,1	17	19	27
Давление пара, МПа	0,8	1,2	1,2	1,2	1,25
Температура пара, °С	174,5	187	187	187	189
Мощность электродвигателя механизма поворота крышки, кВт	–	2,8	2,8	2,8	3,2
Габаритные размеры, м					
длина	18,73	20,9	18,78	20,9	28
ширина	2,4	3	2,6	2,6	4
высота	3,4	5	3,85	3,85	6

## Лабораторная работа № 12. Моделирование технологических процессов производства строительных материалов

**Цель работы:** изучение технологических процессов производства строительных материалов, разработка технологических схем и анализ вариантов производства (на основе портландцемента).

### Общие сведения

Производство портландцемента включает ряд технологических операций, которые можно разделить на две основные группы. Первая – это операции по производству клинкера, вторая – измельчение клинкера совместно с гипсом, а в ряде случаев и с другими добавками, т. е. приготовление портландцемента. Получение клинкера – наиболее сложный и энергоемкий процесс, требующий больших капитальных и эксплуатационных затрат. Доля клинкера в стоимости портландцемента достигает 70–80 %. Производство клинкера состоит из добычи сырьевых материалов, дробления, помола и смешивания их в определенном соотношении, обжига сырьевой смеси и магазинирования клинкера.

Комплекс операций по получению из клинкера портландцемента включает следующие технологические процессы: дробление клинкера, сушку минеральных добавок, дробление гипсового камня, тонкое измельчение клинкера совместно с активными минеральными добавками и гипсом, складирование, упаковку и отправку цемента потребителю. Даже в пределах одного месторождения химико-минералогический состав сырья меняется в широких пределах. Поэтому получение сырьевой смеси посто-

янного состава – сложная задача. С другой стороны, перерабатываемое цементной промышленностью сырье отличается не только составом, но и физико-техническими свойствами (влажностью, прочностью и т. д.). Для каждого вида сырья должен быть выбран такой способ подготовки, который обеспечивал бы тонкое измельчение и равномерное перемешивание компонентов шихты с минимальными энергетическими затратами. Это послужило причиной появления в цементной промышленности трех способов производства, отличающихся технологическими приемами подготовки сырьевых смесей, – мокрого, сухого и комбинированного.

При мокром способе тонкое измельчение сырьевой смеси производят в водной среде с получением шихты и в виде водной суспензии – шлама влажностью 38–50 %.

При сухом способе сырьевую шихту готовят в виде тонкоизмельченного сухого порошка, поэтому перед помолом или в процессе его сырьевые материалы высушивают.

Пуццоланы (природные или искусственные пуццоланы, топливные золы, в том числе кислые или основные золы-уноса, микрокремнезем, глина и обожженные сланцы) и добавку-наполнитель – известняк готовят по соответствующей нормативной документации.

Содержание карбоната кальция  $\text{CaCO}_3$  в известняке, рассчитанное по содержанию оксида кальция  $\text{CaO}$ , должно быть не менее 75 % массы известняка, содержание илистых и глинистых примесей не должно быть более 1 %.

Потери массы при прокаливании  $A/w_{np}$  золы-уноса в течение 1 ч не должны быть более 5 %. Золы-уноса, характеризующиеся  $A/w_{np}$  свыше 5 до 7 %, применяют при условии, если выполняются требования к долговечности, особенно морозостойкости цемента, и сочетаемости с добавками, с помощью которых обеспечиваются требования к бетонам и растворам, установленные нормативами, учитывающими климатические факторы района использования. Для цементов, содержащих золы-уноса с  $A/m_{np}$  свыше 5 до 7 %, предельное значение 7 % указывают на упаковке и в товаросопроводительной документации. Активные минеральные добавки при испытаниях по ГОСТ 25094-94 должны удовлетворять требованиям таблицы 1.

Таблица 1 – Требования к активным минеральным добавкам по ГОСТ 25094-94

Наименование показателя	Значение показателя
Значимость различия между прочностью на сжатие цемента с активной минеральной добавкой и с песком (значение t-критерия), не более	2,07
Конец схватывания, сут, не позднее	7
Водостойкость, сут, не менее	3

В качестве вспомогательных компонентов цемента могут применяться любые минеральные добавки. Вспомогательные компоненты не должны



существенно повышать водопотребность цемента, а также снижать долговечность бетона или защиту арматуры от коррозии.

В качестве регулятора сроков схватывания применяют камень гипсовый или гипсоангидритовый или другие материалы, содержащие в основном сульфат кальция; в качестве специальных и технологических добавок – органические или неорганические материалы по соответствующей нормативной документации.

Комбинированный способ может базироваться как на мокром, так и на сухом способе приготовления шихты. В первом случае сырьевую смесь готовят по мокрому способу в виде шлама, а затем обезвоживают на фильтрах до влажности 16–18 % и подают на обжиг в печи в виде полусухой массы. Во втором варианте сырьевую смесь готовят по сухому способу, а затем гранулируют с добавкой 10–14 % воды и подают на обжиг в виде гранул диаметром 10–15 мм. Каждый способ производства может быть реализован в виде нескольких технологических схем, отличающихся как последовательностью операций, так и видом используемого оборудования. Выбор конкретной технологической схемы определяется свойствами перерабатываемого сырья (твердостью, однородностью, влажностью).

**Мокрый способ производства.** На цементных предприятиях при подготовке сырьевой смеси по мокрому способу в большинстве случаев используют твердый карбонатный (известняк) и мягкий глинистый (глина) компоненты. Принципиальная технологическая схема получения портландцемента представлена на рисунке 1.

Известняк как более твердый материал предварительно подвергается дроблению, а пластичная глина измельчается в присутствии воды в специальных аппаратах (болтушках или мельницах-мешалках). Окончательное тонкое измельчение с получением однородной смеси известняка, глиняного шлама и корректирующих добавок происходит в шаровых трубных мельницах.

После проверки соответствия состава шлама заданным показателям его подают на обжиг во вращающуюся печь, где завершаются химические реакции, приводящие к получению клинкера. Затем клинкер охлаждается в холодильнике и поступает на склад, где также хранятся гипс и активные минеральные добавки. Эти компоненты предварительно должны быть подготовлены к помолу. Активные минеральные добавки высушивают до влажности не более 1 %, гипс подвергают дроблению. Совместный тонкий размол клинкера, гипса и активных минеральных добавок в шаровых трубных мельницах обеспечивает получение цемента высокого качества. Из мельниц цемент поступает в склады силосного типа. Отгружают его либо навалом (в автомобильных и железнодорожных цементовозах), либо упакованным в многослойные бумажные мешки.

В водной среде облегчается измельчение материалов и улучшается их перемешивание. Кроме того, при мокром способе упрощается транс-



портировка шлама, и улучшаются санитарно-гигиенические условия труда. В настоящее время этим способом выпускается около 85 % клинкера в России. В то же время введение в шлам значительного количества воды (30–50 % массы шлама) обуславливает резкое повышение расхода теплоты на ее испарение. В результате, расход теплоты при мокром способе на 30–40 % выше, чем при сухом. Кроме того, при мокром способе возрастают габариты и соответственно металлоемкость печей.

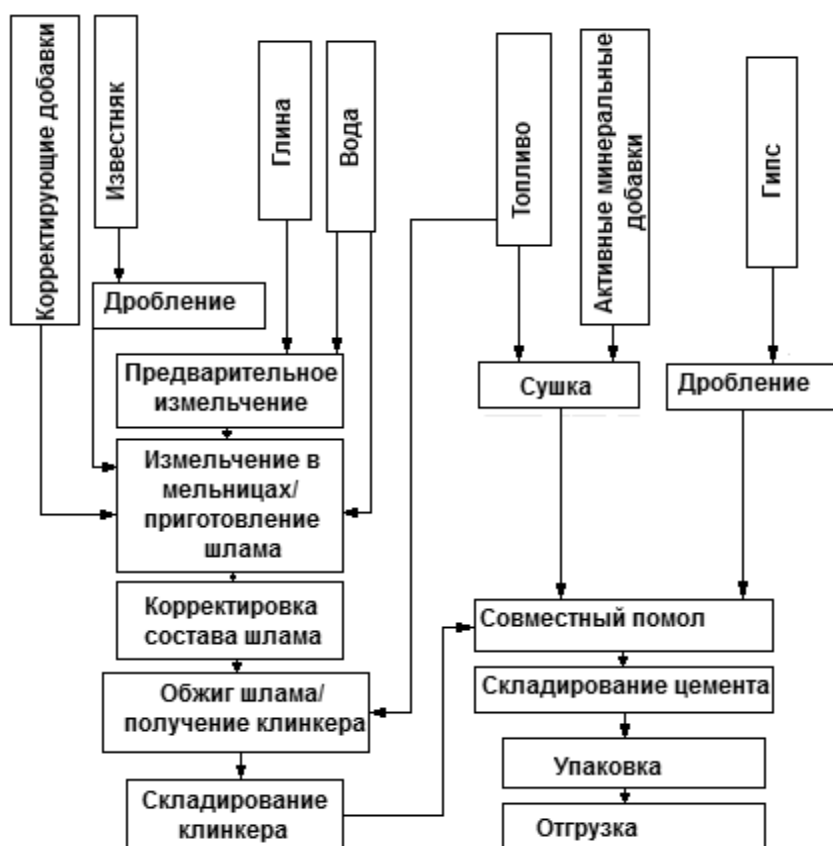


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема получения портландцемента по мокрому способу

**Сухой способ производства.** Последовательность технологических операций производства портландцемента сухим способом такая же, как и при мокром, однако при подготовке сырьевых смесей имеются существенные отличия, зависящие от влажности и твердости сырья. При переработке сырья повышенной твердости и умеренной влажности принципиальная технологическая схема имеет вид, представленный на рисунке 2.

Высокая твердость измельчаемых материалов требует предварительного их дробления. Тонкое измельчение материалов может производиться при влажности не более 1 %. В природе такое сырье практически не встречается, поэтому обязательная операция сухого способа производства – сушка. Желательно совмещать ее с размолотом сырьевых компонентов.

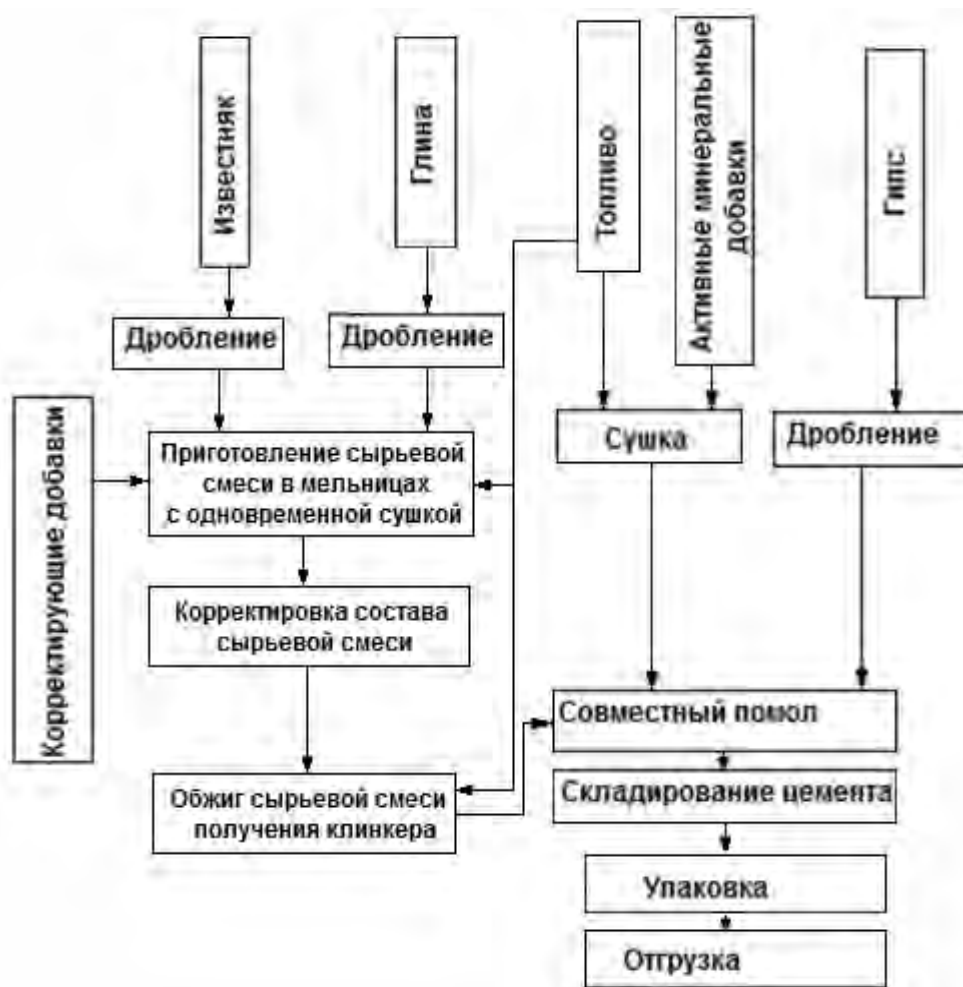


Рисунок 2 – Принципиальная технологическая схема получения портландцемента по сухому способу

На большинстве предприятий, работающих по сухому способу производства, в шаровой трубной мельнице совмещаются процессы сушки, тонкого измельчения и перемешивания всех компонентов сырьевой смеси. Из мельницы сырьевая смесь выходит в виде тонкодисперсного порошка – сырьевой муки, в железобетонных силосах производятся корректировка ее состава до заданных параметров и гомогенизация перемешиванием сжатым воздухом. Готовая сырьевая смесь поступает на обжиг. Вращающиеся печи сухого способа производства оборудованы запечными теплообменными устройствами. В них за несколько десятков секунд сырьевая смесь нагревается до 700–800 °С, дегидратируется и частично декарбонизируется. Завершается обжиг клинкера во вращающейся печи.

Важнейшее преимущество сухого способа – более высокий съем клинкера с 1 м печного агрегата. Это позволяет проектировать и строить печи по сухому способу в 2–3 раза более мощные, чем по мокрому. При использовании мощных печей он обеспечивает снижение удельного расхода топлива на обжиг клинкера примерно вдвое, уменьшение себестоимости

продукции на 10 %, сокращение капиталовложений при строительстве предприятий на 50 %. Это обусловило интенсивное его распространение в мировой цементной промышленности. Однако надо учитывать, что возможности применения сухого способа ограничены влажностью перерабатываемого сырья. Переработка сырья с влажностью более 20–25 % по сухому способу связана с высокими расходами теплоты на сушку, и этот способ становится неэкономичным.

**Комбинированный способ производства.** Перспективна технологическая схема комбинированного способа производства, представленная на рисунке 3.



Рисунок 3 – Принципиальная технологическая схема получения портландцемента комбинированным способом

Такая схема позволяет использовать преимущества подготовки сырьевой смеси по мокрому способу и одновременно снизить расход теплоты на обжиг. При этом почти на 30 % уменьшается расход топлива и примерно на 10 % – капитальные затраты по сравнению с мокрым способом, но на 15–20 % повышается расход электроэнергии. Такая схема – наиболее реальный путь снижения расхода топлива предприятиями, работающими на сырье высокой влажности. Принципиальное отличие этой схемы от схемы сухого способа – появление дополнительной технологической операции – грануляции сырьевой смеси, осуществляемой с добавкой

10–14 % воды. Гранулированную смесь с размером зерен 10–15 мм обжигают в шахтных печах или печах с конвейерными кальцинаторами.

Этот способ требует несколько большего, чем сухой, расхода теплоты, необходимой на испарение введенной во время грануляции воды; не всякая сырьевая смесь способна давать прочные гранулы, не разрушающиеся при обжиге; сложна конструкция используемых печных агрегатов. В то же время обжиг гранулированного сырья позволяет стабилизировать режим работы печей, улучшить теплообмен, повысить качество клинкера. Таким образом, каждый способ производства портландцемента имеет свои достоинства и недостатки. Преобладание того или иного способа в разных странах определяется технико-экономическими особенностями развития цементной промышленности.

### Порядок выполнения работы

1 После изучения содержания лабораторной работы студенты разбиваются преподавателем на бригады по 3–4 человека и получают индивидуальные задания.

2 Индивидуальное задание включает в себя тот или иной технологический передел производства цемента, по которому студенты должны выполнить подробный анализ и представить наиболее эффективный вариант реализации.

3 Выбранные варианты каждой из основных технологических стадий коллегиально оцениваются и комплектуются в единый технологический процесс, и проводится его комплексная оценка.

4 Полученные результаты заносятся каждым студентом в отчет, который защищается индивидуально.

### Список литературы

1 **Богданов, В. С.** Технологические комплексы и оборудование предприятий промышленности строительных материалов : учебник / В. С. Богданов, С. Б. Булгаков, Г. Д. Федоров. – Белгород : Везелица, 2007. – 446 с. : ил.

2 **Бауман, В. А.** Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / В. А. Бауман, В. В. Клушанцев, В. Д. Мартынов. – М. : Машиностроение, 1981. – 321 с. : ил.

3 Технологические аппараты адаптивного действия / Л. А. Сиваченко [и др.]. – Минск : БГУ, 2008. – 375 с. : ил.

