

шайбовый дозатор подается экстракционная фосфорная кислота. Пульпа из первого реактора 5 по перетоку вытесняется во второй. Температура пульпы в реакторах поддерживается в пределах 70-90 °С (в зависимости от концентрации кислоты). Из второго реактора часть пульпы погружным насосом через сетчатый фильтр направляется на распыливающий диск, смонтированный в верхней части сушилки 7. Сюда же прямоотком поступают топочные газы из печи 6.

Благодаря диспергированию пульпы в распылительной сушилке 7 обеспечиваются быстрое упаривание жидкой фазы и взаимодействие неразложенного фосфорита со свободной фосфорной кислотой. В результате этого, несмотря на незначительную продолжительность процесса сушки, степень разложения фосфорита в продукте, отводимом из сушилки, практически та же, что и в распылительной сушилке.

Двойной суперфосфат, получаемый в распылительной сушилке 7 в виде мелкодисперсного порошка, подается в двухвальный лопастной смеситель-гранулятор 10, куда направляется также мелкая фракция и пыль из циклонов.

Гранулирование суперфосфата осуществляется при увлажнении его пульпой, подаваемой из реактора 5. Соотношение между мелкодисперсным двойным суперфосфатом и пульпой, поступающей на его увлажнение, в основном зависит от крупности частиц гранулируемого материала. Чем мельче частицы и соответственно больше поверхность смачивания, тем больше пульпы необходимо подать на их увлажнение. В зависимости от крупности суперфосфата влажность шихты, выходящей из гранулятора 10, может изменяться в широких пределах (от 5-7 до 11-13%). При переработке пульпы в барабанной сушилке 11 получается порошкообразный двойной суперфосфат, в котором доля фракции менее 1 мм составляет 70-80 %, его насыпная масса равна 0,80-0,85 т/м<sup>3</sup>. Для этого материала влажность шихты на выходе из гранулятора поддерживается в пределах 11-13%. Сушка влажных гранул производится в барабанной сушилке 11 при параллельном движении теплоносителя и суперфосфата. Топочные газы на входе в сушильный барабан имеют температуру 300-320 °С, а отходящие газы – 120-130 °С. Температура высушенного суперфосфата 95-100 °С.

					КП ПиАХТ ХТЗ-002 БС 00.00.00 ПЗ	8
		N				

почных газов с воздухом в смесительной камере 5. Воздух в топку и смесительную камеру подается вентиляторами 6 и 7. Высушенный материал с противоположного конца сушильного барабана поступает в промежуточный бункер 8, а из него на транспортирующее устройство 9.

Отработанный сушильный агент перед выбросом в атмосферу очищается от пыли в циклоне 10. При необходимости производится дополнительное мокрое пылеулавливание.

Транспортировка сушильного агента через сушильную установку осуществляется с помощью вентилятора 11. При этом установка находится под небольшим разрежением, что исключает утечку сушильного агента через неплотности установки.

Барабан приводится во вращение электродвигателем через зубчатую передачу 12.

					КП ПиАХТ ХТЗ-002 БС 00.00.00 ПЗ	10
		N				

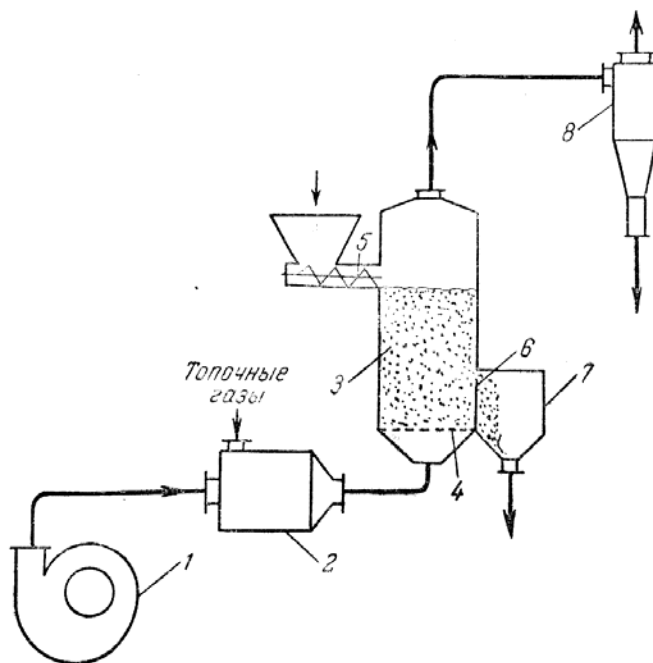
ли 3 нагретый воздух входит в сушильную камеру и движется в ней параллельным током с распиливаемым материалом.

Капли жидкости, омываемые со всех сторон воздухом, в течение одной или нескольких секунд теряют влагу и осаждаются в виде порошкообразных частиц на дне камеры. Сухой порошок удаляется из сушилки при помощи скребков 9. Отработанный воздух, проходя через циклоны 7, очищается от пыли и затем подается вентилятором 10 в скруббер 11, орошаемый исходным раствором. В скруббере воздух окончательно очищается от остатков пыли и удаляется в атмосферу.

Основные достоинства распылительных сушилок: 1) быстрота сушки, 2) низкая температура сушки, 3) возможность получения конечного продукта в виде тонкого порошка, не требующего дальнейшего измельчения и обладающего хорошей растворимостью.

## 2.2 Сушилки с кипящим (псевдооживленным) слоем.

Эффективная сушка многих материалов возможна в кипящем слое [2]. Принципиальная схема сушки топочными газами в кипящем (псевдооживленном) слое показана на рисунке 2.2.



1 – вентилятор; 2 – камера смешения; 3 – сушильная камера; 4 – газораспределительная решетка; 5 – питатель; 6 – порог; 7 – сборник; 8 – циклон.

Рисунок 2.2 – Сушилка с кипящим (псевдооживленным) слоем:



Наиболее распространенные конструкции внутренних насадок барабанов. Подъемно-лопастная насадка применяется для перемещения крупнокусковых и склонных к налипанию высушиваемых материалов. Распределительные насадки – полочная и крестообразная – применяются при сушке мелкокусковых и сыпучих материалов. При помощи таких насадок обеспечивается многократное пересыпание материала и его тесный контакт с сушильным агентом. Промежуточная, или секторная, насадка применяется для перемещения крупнозернистых высушиваемых материалов, обладающих малой сыпучестью. Ячейковая насадка применяется в процессах сушки тонкоизмельченных пылящих материалов. При пересыпании таких материалов в закрытых ячейках насадки достигается интенсивное перемешивание частиц.

Барабанные сушилки широко применяются для сушки сыпучих и мелкокусковых материалов (колчедан, уголь, фосфориты, минеральные соли и др.).

Достоинства барабанных сушилок: 1) интенсивная и равномерная сушка вследствие тесного контакта материала и сушильного агента, 2) большое напряжение барабана по влаге, достигающее  $100 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{ч}$  и более, 3) компактность установки.

					КП ПиАХТ ХТЗ-002 БС 00.00.00 ПЗ	
		N				

и выше, широко применяется как топливо на электростанциях, в чёрной и цветной металлургии, цементной и стекольной промышленности, при производстве стройматериалов и для коммунально-бытовых нужд. Природный газ – токсичная, пожаро- и взрывоопасная смесь.

Для сжигания природного газа и для смешивания с образовавшимися дымовыми газами используется воздух. Воздух – естественная смесь газов, главным образом азота и кислорода, составляющая земную атмосферу. Сухой воздух состоит из следующих газов (% по объёму): азота  $N_2$  78,09; кислорода  $O_2$  20,95; аргона  $Ar$  0,93; углекислого газа  $CO_2$  0,03. Воздух содержит очень небольшие количества остальных инертных газов, а также водорода  $H_2$ , озона  $O_3$ , окислов азота, окиси углерода  $CO$ , аммиака  $NH_3$ , метана  $CH_4$ , сернистого газа  $SO_2$  и др. Воздух нетоксичен, не взрывоопасен. Коррозионных свойств не имеет.

					КП ПиАХТ ХТЗ-002 БС 00.00.00 ПЗ	18
		N				

дит в глубине материала. Поэтому, в соответствии с характером удаления влаги, второй период сушки часто складывается из двух стадий: стадии равномерно падающей скорости и стадии неравномерно падающей скорости.

Двум основным периодам предшествует некоторый, период прогрева материала до температуры сушки.

Кинетика сушки определяется обычно путем взвешивания образцов материала в начале сушки и через определенные промежутки времени. По весу образцов рассчитывают абсолютную влажность материала в различные моменты и строят кривую зависимости абсолютной влажности  $\omega_a$  от времени  $\tau$ , которая называется кривой сушки (см. рис. 4.2).

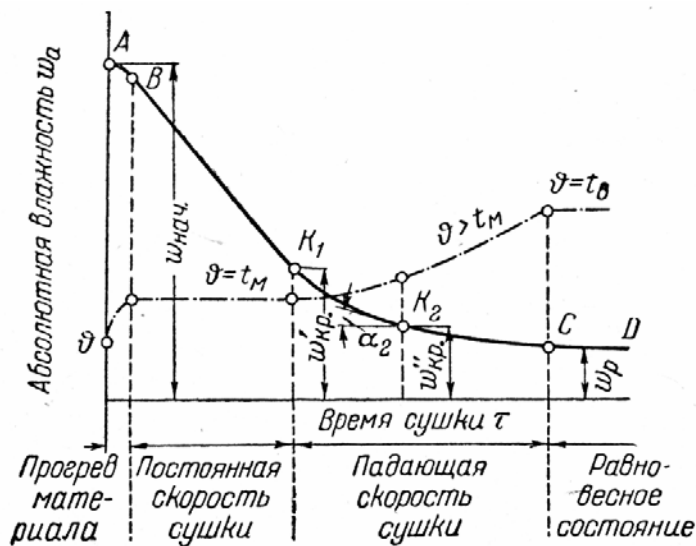


Рисунок 4.2 – Кривая сушки материала и изменения его температуры в процессе сушки

По этой кривой можно определить скорость сушки. Скорость сушки, характеризующаяся изменением абсолютной влажности в единицу времени, может быть найдена для каждого данного момента, как тангенс угла наклона кривой сушки. Найденные значения скорости сушки наносят на график, как функцию абсолютной влажности, и получают кривую скорости сушки. Графическое изображение процесса в виде кривых сушки и кривых скорости сушки дает возможность установить различные периоды его протекания.

Теоретическое количество сухого воздуха  $L_0$ , затрачиваемого на сжигание 1 кг топлива, равно [3, стр. 163]

$$L_0 = 138 \left( 0,0179CO + 0,248H_2 + \sum \frac{m + (n/4)}{12m + n} C_m H_n \right)$$

где составы горючих газов выражены в объемных долях. Подставив соответствующие значения, получим:

$$L_0 = 138 \times \left( 0,0179 \times 0,01 + 0,248 \times 0,05 + eq \frac{1 + 4/4}{12 \times 1 + 4} \times 0,92 \right) = 17,68 \text{ кг/кг}$$

Для определения теплоты сгорания топочных газов воспользуемся формулой [3, стр. 163]:

$$Q_v = \sum_{i=1}^n \varphi_i q_i$$

где  $n = 4$  – число горючих компонентов в сжигаемом топливе (азот не горит);

$\varphi_i$  – доля  $i$ -го компонента в топливе;

$q_i$  – тепловой эффект реакции горения;

По справочным данным [3, стр. 163] тепловой эффект реакции

Реакция	Тепловой эффект реакции, кДж/м <sup>3</sup>
$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$	35741
$C_2H_6 + 3,5O_2 = 2CO_2 + 3H_2O$	63797
$H_2 + 0,5O_2 = H_2O$	10810
$CO + 0,5O_2 = CO_2$	12680

Соответственно теплота сгорания топочных газов

$$Q_v = 0,92 \cdot 35741 + 0,005 \cdot 63797 + 0,05 \cdot 10810 + 0,01 \cdot 12680 = 33868 \text{ кДж/м}^3$$

Плотность газообразного топлива

$$\rho_T = \frac{\sum C_m H_n M_i}{v_0} \frac{T_0}{T_0 + t_T}$$

где  $M_i$  – мольная масса сгораемого компонента, кмоль/кг;

$t_T$  – температура топлива, принимаем  $t_T = 20$  °С [3, стр. 163];

$v_0$  – мольный объем,  $v_0 = 22,4$  л.



$I_0$  – энтальпия свежего воздуха, кДж/кг;

$i_{cr} = c_{cr}t_{cr}$  – энтальпия сухих газов, кДж/кг;

$c_{cr} = 1,05$  кДж/(кг·К) – теплоемкость сухих газов;

$t_{cr} = 300$  °С – температура сухих газов;

$x_0$  – влагосодержание свежего воздуха, кг/кг сухого воздуха, при температуре  $t_0 = 18$  °С и относительной влажности  $\varphi_0 = 72$  %;

$i_n = r_0 + c_n t_n$  – энтальпия водяных паров, кДж/кг;

$r_0$  – теплота испарения воды при температуре 0 °С, равная 2500 кДж/кг;

$c_n = 1,97$  кДж/(кг·К) – средняя теплоемкость водяных паров;

$t_n$  – температура водяных паров,  $t_n = t_{cr} = t_1 = 300$  °С.

Из этих двух уравнений

$$\alpha = \frac{Q\eta + c_t t_t - i_{cr} \left( 1 - \sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n \right) - i_n \sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n}{L_0 (i_{cr} + i_n x_0 - I_0)}$$

Пересчитаем содержание компонентов топлива, при сгорании которых образуется вода, из объемных долей в массовые:

$$CH_4 = \frac{0,920 \times 16 \times 273}{22,4 \times 0,652 \times (273 + 20)} = 0,9390$$

$$C_2H_6 = \frac{0,005 \times 30 \times 273}{22,4 \times 0,652 \times (273 + 20)} = 0,0096$$

$$H_2 = \frac{0,050 \times 2 \times 273}{22,4 \times 0,652 \times (273 + 20)} = 0,0064$$

Количество влаги, выделяющейся при сгорании 1 кг топлива, равно

$$\sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n = \frac{9 \times 4}{12 \times 1 + 4} \times 0,939 + \frac{9 \times 6}{12 \times 2 + 6} \times 0,0096 + \frac{9 \times 4}{12 \times 0 + 2} \times 0,0064 = 2,19 \text{ кг/кг}$$

Коэффициент избытка воздуха

$$\alpha = \frac{51945 \times 0,95 + 1,34 \times 20 - 1,05 \times 300 \times (1 - 2,19) - (2500 + 1,97 \times 300) \times 2,19}{17,68 \times [1,05 \times 300 + (2500 + 1,97 \times 300) \times 0,0092 - 41,9]} = 8,06$$

Общая удельная масса сухих газов, получаемая при сжигании 1 кг топлива и разбавлении топочных газов воздухом до температуры смеси 300 °С, равна:

$$c_{cr} = 1 + \alpha L_0 - \sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n$$

					КП ПиАХТ ХТЗ-002 БС 00.00.00 ПЗ	24
		N				

Согласно [3, табл. X.2], принимаем напряжение барабана сушилки по влаге

$$A = 65 \text{ кг}/(\text{м}^3 \times \text{ч}).$$

Объем барабана составит:

$$V_6 = W/A = 4460 / 65 = 68,6 \text{ м}^3.$$

Принимая отношение длины барабана к его диаметру  $L : D = 6$ , определяем диаметр барабана:

$$D = \sqrt[3]{\frac{2V}{3\pi}} = \sqrt[3]{\frac{2 \times 68,6}{3 \times 3,14}} = 2,45$$

По нормали [2, с. 770] принимаем диаметр барабана

$$D = 2,4 \text{ м.}$$

Соответственно, длина барабана

$$L = 6D = 6 * 2,4 = 14,4 \text{ м.}$$

Принимаем округленно

$$L = 15 \text{ м.}$$

Уточняем объем барабана

$$V = \pi D^2 / 4 L = 3,14 * 2,4^2 / 4 * 15 = 67,8 \text{ м}^3.$$

Действительный объем несколько меньше, что допускается. Площадь поперечного сечения барабана

$$F = \pi D^2 / 4 = 3,14 * 2,4^2 / 4 = 4,52 \text{ м}^2.$$

Находим среднюю массу материала, проходящего через барабан:

$$G_{\text{ср}} = \frac{G_1 + G_2}{2} = (5,76 + 7,00) / 2 = 6,38 \text{ кг/с.}$$

Время пребывания материала в барабане [2, формула 21-42]:

$$\tau = \frac{V_6 \rho_n \Psi}{G_{\text{ср}}} = 67,8 * 3300 * 0,15 / 6,38 = 5260 \text{ с.}$$

Принимаем угол наклона барабана  $\alpha = 3^\circ$  и определяем число оборотов барабана:

$$n = \frac{L}{a \tau D \text{tg } \alpha}$$

					КП ПиАХТ ХТЗ-002 БС 00.00.00 ПЗ	26
		N				

Для построения рабочей линии на диаграмме необходимо знать как минимум две точки. Одна – параметры сушильного агента на входе в сушилку. Для определения координат второй точки зададимся произвольным значением  $x$  и определим значение  $I$ . Пусть  $x = 0,1$  кг влаги / кг сухого воздуха. Тогда

$$I = 392 - 117 \times (0,1 - 0,0248) = 383 \text{ кДж/кг}$$

По полученным данным построим рабочую линию. Согласно [3, табл. X.2] температура сушильного агента на выходе из сушилки

$$t_2 = 120 \text{ }^\circ\text{C}$$

Проводим линию до пересечения с изотермой  $t = t_2 = 120 \text{ }^\circ\text{C}$  и определяем параметры отработанного сушильного агента:

$$x_2 = 0,11 \text{ кг/кг}, I_2 = 369 \text{ кДж/кг}$$

Тогда расход сухого газа

$$L_{\text{ср}} = \frac{W}{x_2 - x_1} = \frac{1,24}{0,11 - 0,0248} = 14,5 \text{ кг/с}$$

Тогда расход сухого воздуха

$$L = \frac{W}{x_2 - x_0} = \frac{1,24}{0,11 - 0,0092} = 12,3 \text{ кг/с}$$

Расход тепла на сушку

$$Q_c = L_{\text{ср}} (I_1 - I_0) = 14,5 \times (392 - 41,9) = 5080 \text{ кДж/с}$$

Расход топлива на сушку

$$G_T = Q_c / Q = 3091 / 51945 = 0,060 \text{ кг/с} = 214 \text{ кг/час}$$

#### 4.6 Расчет действительной скорости газа в барабане

Действительная скорость газа определяется по уравнению [3, стр. 167]:

$$\omega_d = \frac{V_r}{0,785 D^2}$$

где  $V_r$  – объемный расход сушильного агента в барабане:

$$V_r = L_{\text{ср}} v_0 \frac{T_0 + t_{\text{ср}}}{T_0} \left( \frac{1}{M_{\text{ср}}} + \frac{x_1}{M_B} \right)$$

где  $x_1 = 0,0248$  кг/кг – влагосодержание газов на входе в сушилку;

$t_{\text{ср}} = (t_1 + t_2)/2 = (300 + 120)/2 = 210$  – средняя температура сушильного агента

$$V_r = 8,82 \times 22,4 \times \frac{273 + 210}{273} \left( \frac{1}{29} + \frac{0,0248}{81} \right) = 12,16 \text{ м}^3/\text{с}$$

Тогда

$$\omega_d = \frac{12,16}{0,785 \times 2,4^2} = 0,27 \text{ м/с}$$

Давление, создаваемое вентилятором при подаче воздуха [6, ф-ла 2.9, 2.10]:

$$\Delta p = (p_2 - p_1) + (\Delta p_{\text{вс}} + \Delta p_{\text{н}}) + \frac{\omega^2 \rho}{2}$$

$$\Delta p = \left( p_{\text{ст.н.}} + \frac{\omega_{\text{н}}^2 \rho}{2} \right) - \left( p_{\text{ст.вс.}} + \frac{\omega_{\text{вс}}^2 \rho}{2} \right)$$

где  $p_1$  – давление в простр., из которого вентилятор забирает воздух, Па;

$p_2$  – давление в пространстве, куда вентилятор подает воздух, Па;

$\Delta p_{\text{вс}}$  и  $\Delta p_{\text{н}}$  – потери давления во всасывающей и нагнетательной линиях, Па;

$\omega$  – скорость воздуха на выходе из сети, м/сек;

$p_{\text{ст.н.}}$  и  $p_{\text{ст.вс.}}$  – статические давления непосредственно нагнетания и всаса, Па;

$\omega_{\text{н}}$  и  $\omega_{\text{вс}}$  – скорости воздуха в нагнет. и всасывающем трубопроводах, м/сек;

$\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Принимаем одинаковые скорости для нагнетающего и всасывающего трубопроводов (могут быть достигнуты подбором диаметров трубопроводов). Тогда

$$\omega_{\text{н}} = \omega_{\text{вс}}$$

Соответственно

$$\Delta p = p_{\text{ст.н.}} - p_{\text{ст.вс.}}$$

Принимаем

$$p_{\text{ст.н.}} = 0,005 \text{ МПа}$$

Поскольку забор воздуха ведется из атмосферы, то

$$p_{\text{ст.вс.}} = 0 \text{ МПа}$$

Тогда

$$\Delta p = 0,05 - 0 = 0,005 \text{ МПа} = 5000 \text{ Па}$$

Мощность, расходуемая вентилятором, определяется по формуле [6, ф-ла 2.11]

$$N = \frac{G \Delta p}{1000 \eta}$$

где  $G = L / \rho$  – производительность вентилятора, м<sup>3</sup>/с;

$\rho$  – плотность воздуха,  $\rho = 1.293 \text{ кг/м}^3$  [6, табл. IV];

$\eta$  – общий КПД вентиляторной установки.

ного патрубка 4. Выхлопная труба 3 часто соединяется с улиткой 5, служащей для преобразования вращательного движения газа на выходе из циклона в поступательное (газ может выводиться также прямо на выхлоп или через колено). Нижняя коническая часть корпуса соединяется с пылесборником 6, снабженным затвором. Циклоны конструкции НИИОГАЗ имеют диаметр от 40 до 800 мм..

Для циклонов этого типа рекомендуются следующие оптимальные соотношения перепада давления  $\Delta p$  (в Н/м<sup>2</sup>) к плотности газа  $\rho$  (в кг/м<sup>3</sup>) [6, с. 329]

$$\frac{\Delta p}{\rho} = 550 - 750$$

Принимаем

$$\frac{\Delta p}{\rho} = 700$$

Коэффициент сопротивления циклона ЦН-15 [6, с. 329]

$$\zeta = 105.$$

Определяем диаметр циклона, приравнявая два выражения для скорости газа в корпусе циклона:

$$\omega_{\text{ср}} = \frac{4 V}{\pi D^2} = \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho \zeta}}$$

Отсюда

$$D = 2 \sqrt[4]{\frac{V^2 \rho \zeta}{\pi^2 2 \Delta p}}$$

где  $V$  = объемный расход газа:

$$V = \frac{L_{\text{сг}} P_{\text{нн}} T_1}{\rho T_{\text{нн}} P_1}$$

где  $\rho = 2.14 \text{ кг/м}^3$  – плотность отработанного сушильного агента (воздуха при  $t = 120 \text{ }^\circ\text{C}$ );

$P_{\text{нн}} = 0,101 \text{ МПа}$  – давление при нормальных условиях;

$T_{\text{нн}} = 273 \text{ К}$  – температура при нормальных условиях;

$P_1 = P_{\text{атм}} = 0,101 \text{ МПа}$  – давление сушильного агента в сушилке;

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной курсовой работе был выполнен технологический расчет сушильной установки с барабанной сушилкой для высушивания двойного суперфосфата. По результатам технологического расчета был выполнен технологический расчет вспомогательного оборудования, в частности очистительного устройства (циклона) для очистки отходящих газов из сушилки от частиц суперфосфата.

По результатам технологического расчета были определены основные размеры корпуса барабанной сушилки: диаметр и длина.

Рассчитанная сушильная установка удовлетворяет техническому заданию и может быть использована в производстве двойного суперфосфата.

					КП ПиАХТ ХТЗ-002 БС 00.00.00 ПЗ	34
		N				

Перв. примен.	Справ. №	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
		A1			КП ПчАХТ ХТЗ-002 БС 06.00.00 ВО	Чертеж общего вида			
							<u>Сборочные единицы</u>		
				1		Приемник		1	
				2		Обечайка		1	
				3		Бандаж		2	
				4		Насадка		12	
				5		Приводной диск		1	
				6		Рама		2	
Подп. и дата	Подп. и дата			7		Упор		2	
				8		Привод		1	
		A2		9	КП ПчАХТ ХТЗ-002 БС 06.09.00 СБ	Маховик		1	
Инв. № подл.	<b>КП ПчАХТ ХТЗ-002 БС 06.00.00</b>					Лит.	Лист	Листов	
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			1	
	Разраб.		Морозова			<b>Барабанная сушилка</b>			
	Пров.		Новоселова						
Н.контр.					<b>НТИ СевКавГТУ Кафедра МАХП и ПСМ</b>				
Утв.		Свидченко							