

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра химической технологии древесины

М.И.Ведерникова  
Л.Г.Старцева  
В.П.Орлов  
В.Б.Терентьев

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СУШИЛЬНЫХ  
УСТАНОВОК ДЛЯ СУШКИ  
ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

**Часть 11. Вспомогательное оборудование**

Руководство по курсовому и дипломному проектированию  
для студентов специальностей 240100, 280200, 240502  
дневной и заочной форм обучения

**ЕКАТЕРИНБУРГ  
2008**

Печатается по рекомендации методической комиссии  
инженерно-экологического факультета.  
Протокол №3 от 13 декабря 2007 г.

Рецензент доц.кафедры ТППМ В.Г.Дедюхин

Редактор А.Л.Ленская

Подписано в печать 22.06.08 / Формат 60x84 1/16  
Плоская печать Печ.л. 2,56  
Заказ № 312. Поз 59

Переиздание  
Тираж 20 экз.  
Цена 8,80 р.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ  
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

## ХРАНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

**Бункера-хранилища** используют для хранения запасов влажной щепы; вместимость их 300 - 2000 м<sup>3</sup>; они обеспечивают бесперебойную работу цеха в течение нескольких смен или суток. Сырую стружку, опил хранят в бункерах вместимостью до 100 м<sup>3</sup>. Бункера имеют пирамидальную, коническую или цилиндрическую форму. Загрузка бункера производится с помощью транспортных устройств, выгрузка - через сужающееся книзу днище. Чтобы предотвратить зависание материала в бункере, угол наклона сужающейся части должен быть больше угла естественного откоса (обычно  $\beta = 45 - 50^\circ$ ), или одну или две стенки делают вертикальными.

**Бункера-питатели** применяют для объемного дозирования сыпучих материалов. Вместимость этих бункеров 0,8 - 2 м<sup>3</sup>. Для разгрузки бункеров используют пылевые затворы.

**Пример расчета.** Бункер-питатель используется для дозирования влажного опила в сушилку.

Производительность по влажному опилу,  $G_n$ , кг/с ..... 0,91

Относительная влажность опила,  $\omega_{он}$  % ..... 45  
**Абсолютная влажность опила :**

$$\omega_{ан} = 100 \omega_{он} / (100 - \omega_{он}) = 100 \cdot 45 / (100 - 45) = 82\%$$

**Насыпная плотность влажного опила** при  $\omega_{ан} = 82\%$  по табл.4[1]:

$$\rho_n = 141,5 \text{ кг/м}^3$$

**Объем бункера-питателя:**  $V = \tau G_n / \rho_n = 300 \cdot 0,91 / 141,5 = 1,93 \text{ м}^3$ ,

где  $\tau$  - продолжительность, необходимая для аварийного отключения ленточного транспортера, подающего опил в бункер,  $\tau = 5$  мин.

**По ГОСТ 9931-69 выбираем бункер емкостью 2 м<sup>3</sup>**, диаметром 1200 мм, высотой 2200 мм.

## ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Производство древесностружечных плит представляет собой процесс, в котором стружка или щепа непрерывно перемещается от одной операции к другой. При производстве пресс-изделий и масс древесных прессовочных (МДП) на основе древесного опила также необходимо перемещение материала от одной стадии производства к другой. Для транспортирования щепы, стружки и опила применяют, главным образом, ленточные, скребковые и винтовые транспортеры (конвейеры), а также пневмотранспортеры.

**Ленточные транспортеры** (рис.2-1 [2]) перемещают сыпучие материалы на расстояние до 150 - 200 м по горизонтали или под углом к

горизонтальной плоскости до 30°. Скорость движения ленты  $W=0,5 - 0,8$  м/с для опила,  $W=0,8 - 1,2$  м/с для стружки, волокон.

Рабочая ветвь ленточного транспортера поддерживается роликowymi опорами. Для повышения производительности делают трехроликковые опоры, благодаря чему лента приобретает форму желоба. Скорость ленты обычно 0,5 - 2,0 м/с, в отдельных случаях до 3 м/с.

**Производительность ленточного транспортера, м³/с:**

$$V = \bar{G} / \rho_n = 0,16B^2 c W \operatorname{tg}(0,35 \varphi), \quad (1)$$

где  $B$  - ширина ленты, м;  $\varphi$  - угол естественного откоса материала в состоянии покоя, град ( $\varphi = 35 - 40^\circ$  для щепы, опилок и мелких древесных частиц,  $\varphi = 40 - 45^\circ$  для стружки),  $c$  - коэффициент, учитывающий рассыпание материала в зависимости от угла наклона транспортера:

угол наклона, $\alpha$ , град	до 10	10 - 15	15 - 20
коэффициент, $c$	1,0	0,95	0,9

Требуемая производительность транспортера обычно бывает известной. Тогда расчет сводится к определению ширины ленты или скорости ее движения. Расчетную ширину ленты следует округлять до ближайшего стандартного размера. Эти расчеты проводят, используя формулу (1).

**Мощность на приводном валу ленточного транспортера, кВт:**

$$N_0 = (KLW + 0,54 \cdot 10^{-3} \bar{G}L + 10,1 \cdot 10^{-3} \bar{G}H)K_1 K_2, \quad (2)$$

где  $L$  - длина транспортера, м;  $W$  - скорость движения ленты, м/с;  $\bar{G}$  - производительность транспортера, кг/с;  $H$  - высота подъема наклонного транспортера ( $\alpha = 20 - 30^\circ$ ), м;  $K$  - коэффициент, зависящий от ширины ленты, собственной массы и типа подшипников.

Для транспортеров с роликowymi опорами на подшипниках качения:

ширина ленты, мм	400	500	650	800	1000	1200
коэффициент, $K$	0,015	0,018	0,023	0,028	0,038	0,048

Для транспортеров с роликowymi опорами на подшипниках скольжения коэффициент  $K$  возрастает в 3 - 4 раза;  $K_1$  - коэффициент, учитывающий сопротивление на концевых барабанах, в зависимости от длины транспортера:

длина транспортера, м	<15	15-30	30-45	>45
коэффициент, $K_1$	1,25	1,12	1,05	1,0

$K_2$  - коэффициент, учитывающий сопротивление барабанов, в зависимости от числа перегибов и угла охвата барабанов лентой;  $K_2=1,03 - 1,07$ .

**Установочная мощность электродвигателя привода ленточного транспортера, кВт:**

$$N = K_0 N_0 / \eta, \quad (3)$$

где  $K_0$  - коэффициент запаса мощности;  $K_0 = 1,1 - 1,3$ ;  $\eta$  - КПД привода;  $\eta = 0,85 - 0,95$ .

**Пример расчета.** Ленточный транспортер перемещает влажный опил от бункера-хранилища в бункер-питатель.

Производительность транспортера, $\bar{G}_n$ , кг/с	0,91
Насыпная плотность опила при $\omega_{ан} = 82\%$ , $\rho_n$ , кг/м³	141,5

**Характеристика ленточного транспортера**

Транспортер на трех роликowych опорах и на подшипниках скольжения.

Длина, $L$ , м	30
Угол наклона к горизонту, $\alpha$ , град	8
Выбираем плоскую ленту шириной $B=0,5$ м, которая принимает форму желоба благодаря трем роликowym опорам.	

**Объемная производительность транспортера:**

$$V = \bar{G}_n / \rho_n = 0,91 / 141,5 = 64,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

**Скорость движения ленты** при  $V = 64,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$  - формула (1):

$$W = V / 0,16B^2 c \operatorname{tg}(0,35\varphi) = 64,3 \cdot 10^{-4} / 0,16 \cdot 0,5^2 \cdot 1 \cdot \operatorname{tg}(0,35 \cdot 40) = 0,64 \text{ м/с},$$

где  $c=1$  при  $\alpha=9^\circ$ ;  $\varphi=40^\circ$  для опила.

**Мощность на приводном валу транспортера:**

$$N_0 = (KLW + 0,54 \cdot 10^{-3} \bar{G}_n L + 10,1 \cdot 10^{-3} \bar{G}_n H)K_1 K_2 = (3 \cdot 0,018 \cdot 30 \cdot 0,64 + 0,54 \cdot 10^{-3} \cdot 0,91 \cdot 30 + 10,1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,91 \cdot 4,7)1,12 \cdot 1,07 = 1,31 \text{ кВт},$$

где  $H=L \sin \alpha = 30 \cdot \sin 9 = 4,7$  м;  $K = 0,018$  при  $B = 0,5$  м;

$$K_1 = 1,12 \text{ при } L = 30 \text{ м}; K_2 = 1,07.$$

**Установочная мощность электродвигателя:**

$$N = K_0 N_0 / \eta = 1,2 \cdot 1,31 / 0,85 = 1,85 \text{ кВт}.$$

Принимаем электродвигатель по  $N = 1,85$  кВт, по табл.16 [3] типа 4А80В2.

$$N = 2,2 \text{ кВт}.$$

Принимаем ленточный транспортер:  $L = 30$  м,  $\alpha = 9^\circ$ ,  $B = 500$  мм,

$$w = 0,64 \text{ м/с}, N = 2,2 \text{ кВт}.$$

Винтовые транспортеры обладают рядом достоинств: компактностью, дешевой конструкцией и легкостью обслуживания, а главное, герметичностью. Они не требуют больших энергозатрат. Применяются для герметичного перемещения высушенных древесных частиц на расстояние до 40 м. Винтовой транспортер (рис.2-4 [2]) состоит из винта, желоба с полуцилиндрическим днищем и привода; винт расположен по оси желоба. Диаметры винтов нормализованы и равны: 0,20; 0,25; 0,32; 0,4; 0,5; 0,65 и 0,8 м. При перемещении легко сыпучих материалов (щепы, стружки, опила) шаг винта  $t$  принимается равным его диаметру  $D_B$ .

Объемная производительность винтового транспортера, м<sup>3</sup>/с:

$$V = \bar{G} / \rho_n = 0,785 D_n^2 t n K_1 K_2 \quad (4)$$

где  $\bar{G}$  - производительность, кг/с;  $n=0,8-3,0$  с<sup>-1</sup> частота вращения винта;  
 $K_1$  - коэффициент заполнения; для щепы он составляет 0,15 - 0,25,  
 для стружки - 0,2 - 0,3, для опила - 0,3 - 0,4.

$K_2$  - коэффициент, учитывающий снижение производительности в зависимости от угла наклона  $\alpha$  транспортера к горизонту:

угол, $\alpha$ , град.	0	5	10	15	20
коэффициент, $K_2$	1,0	0,9	0,8	0,7	0,65

Установочная мощность электродвигателя, кВт:

$$N = \bar{G} (L\phi + H) g / 1000 \eta, \quad (5)$$

где  $H$  - высота подъема, м;  $\eta$  - КПД привода;  $\eta = (0,8 - 0,9)$ ;

$\phi$  - суммарный коэффициент сопротивления движению материала по желобу:  $\phi=1,8 - 2,5$  для щепы, сырой стружки и опила;  $\phi=1,5 - 1,8$  для сухой стружки и мелких древесных частиц.

**Пример расчета.** Винтовой транспортер перемещает высушенный опил на следующую стадию производства.

Производительность,  $\bar{G}_k$ , кг/с . . . . . 0,526

Относительная влажность,  $\omega_{ок}$ , % . . . . . 5

**Характеристика винтового транспортера горизонтального**

Длина,  $L$ , м . . . . . 25

Шаг винта . . . . .  $t=D_B$

Угол наклона к горизонту,  $\alpha$ , град . . . . . 0

**Абсолютная влажность опила:**

$$\omega_{ак} = 100 \omega_{ок} / (100 - \omega_{ок}) = 100 \cdot 5 / (100 - 5) = 5,3\%$$

**Насынная плотность сухого опила при  $\omega_{ак}=5,3\%$  и по табл.4[1]:**

$$\rho_n = 100 \text{ кг/м}^3$$

**Объемная производительность винтового транспортера:**

$$V = \bar{G}_k / \rho_n = 0,526 / 100 = 0,526 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$$

**Частота вращения винта:**

$$n = V / 0,785 D_B^2 t K_1 = 0,526 \cdot 10^2 / 0,785 \cdot 0,25^2 \cdot 0,25 \cdot 0,3 = 1,43 \text{ с}^{-1}$$

Принимаем  $t=D_B=0,25$  м;  $K_1=0,3$  для опила;  $K_2=0$ , так как  $\alpha=0^\circ$ .

**Выбираем винтовой горизонтальный транспортер:**

$$D_B=0,25 \text{ м}; L=25 \text{ м}; t=0,25 \text{ м}; n=1,43 \text{ с}^{-1}$$

**Установочная мощность электродвигателя:**

$$N = \bar{G}_k (L\phi + H) g / 1000 \eta = 0,526 (25 \cdot 1,8 + 0) 9,8 / 1000 \cdot 0,8 = 0,29 \text{ кВт}$$

Принимаем электродвигатель по  $N=0,29$  кВт по табл.17[3] типа АОЛ-12-2  $N=1,1$  кВт.

**Пневмотранспортные установки по назначению** могут быть всасывающими, нагнетательными и всасывающе-нагнетательными.

По величине разности давлений, определяемой потерями давления в сети, установки пневмотранспорта разделяются на установки низкого давления - до 5 кПа, среднего - 5 - 20 кПа и высокого - выше 20 кПа. Схема всасывающе-нагнетательной пневмотранспортной установки по перемещению древесного материала приведена на рис.1.\* Высушенный материал (стружка, опил, щепа) из сушилки равномерно подается в трубопровод пневматической установки загрузочным устройством  $ЗШ_1$  (шлюзовым затвором). Материал перемещается по пневмопроводу до пункта назначения. Отделение транспортируемой стружки или опила от воздуха происходит в циклоне  $Ц_2$ . Транспортный воздух через систему пневмопроводов и циклон просасывается вентилятором  $В$  и подается на очистку от пыли в циклон  $Ц_1$ . Опил или стружка из циклона  $Ц_2$  шлюзовым питателем  $ЗШ_3$  подается в бункер.

**Пневмопроводы и отводы.** Трубопроводы для пневмотранспорта имеют круглое сечение. Рекомендуемые диаметры труб: 300; 315; 340; 355; 375; 400; 425; 450; 475; 500; 530; 560; 600; 630 и 670 мм.

Толщина стенки труб 1,6 мм для установок низкого и среднего давления. Отводы (колена) подвержены сильному износу, поэтому толщина стенки 3 - 4 мм.

**Загрузочные питатели** (шлюзовые и винтовые затворы) необходимы для равномерной подачи стружки или опила в пневмопровод. Частота вращения должна быть не более 0,33 - 0,66 с<sup>-1</sup>.

**Циклоны** служат для отделения стружки или опила от воздуха. Рекомендуется выбирать циклоны НИИОГАЗ типа ЦН-24.

**Вентиляторы**, главным образом, используют центробежные типа ЦП7-40 (пылевые среднего давления) при невысоких концентрациях смеси ( $\bar{Y} \leq 0,5$  кг/кг). Вентиляторы высокого давления типа ВВД применяют для перемещения материала на расстояние до 300 м при концентрации  $\bar{Y} \leq 1,0$  кг/кг.

**Производительность установки по транспортируемому материалу,** кг/с:

$$\bar{G} = \bar{G}_k K_n, \quad (6)$$

где  $\bar{G}_k$  - производительность по высушенному материалу, кг/с;

$K_n$  - коэффициент неравномерности подачи материала в пневмопровод

\* Рисунок оформлен в соответствии с требованиями, предъявляемыми к оформлению курсовых и дипломных проектов по ГОСТ 7.32-81.

СХЕМА ПНЕВМОТРАНСПОРТНОЙ УСТАНОВКИ

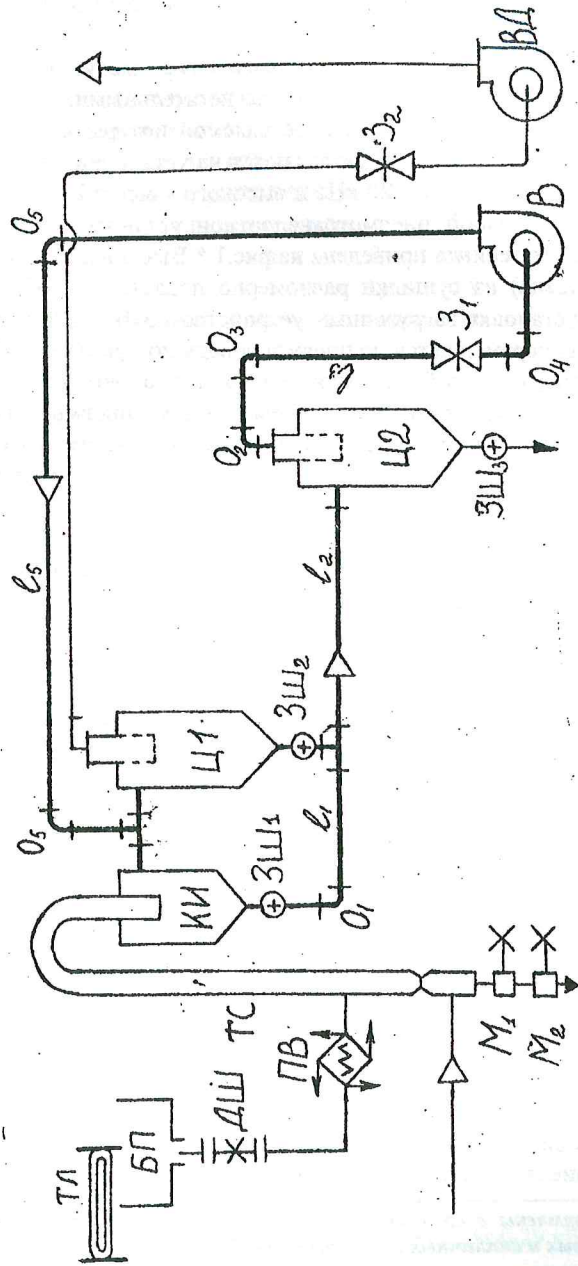


Рис. 1

ТС – труба-сушилка; КИ – камера инерционная; Ц – циклон; В – вентилятор; ВД – вентилятор-дымосос; ДШ – дозатор шлозовый; ПВ – питатель винтовой; ТЛ – затвор шлозовый; БП – бункер-питатель; 3Ш – заслонка; О – отвод (коллено); М – затвор типа «Мигалка»; М<sub>1</sub> – вентилятор-дымосос; М<sub>2</sub> – вентилятор; ВД – вентилятор-дымосос; В – вентилятор; ДШ – дозатор шлозовый; ПВ – питатель винтовой; 3Ш – заслонка; О – отвод (коллено)

( $K_H=2$  при подаче непосредственно из сушилки;  $K_H=1,15$  при подаче через питатель).

Концентрация материала (стружки, опила) в двухфазном потоке для всасывающе - нагнетательных установок,  $\bar{Y}$ , кг опила /кг воздуха:

$\bar{Y}=0,1 - 2,5$  кг/кг при  $\Delta P=1 - 10$  кПа;  $\bar{Y}=2,5 - 35$  кг/кг при  $\Delta P=10 - 40$  кПа;  $\bar{Y}=5 - 40$  кг/кг при  $\Delta P=50 - 130$  кПа.

Скорость воздуха в горизонтальном пневмопроводе:

$$W_{\text{пн}}=[K(4 \bar{Y}-W_B/W_M+0,01\rho_m+b)](1,2/\rho_t)^{0,5}, \quad (7)$$

где  $\rho_m$  - плотность древесины, кг/м<sup>3</sup>, табл.3[1];  $\rho_t$  - плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $b$  - вид транспортируемого материала (табл.1),  $K$  - коэффициент, учитывающий снижение скорости в отводах и влияние длины транспортирования:  $K = 1,05 - 1,0$  при длине пневмопровода меньше 80 м и  $K = 1,0$  м при длине больше 80 м.

Обратное значение относительной скорости воздуха  $W_B$ , соответствующей устойчивому движению частиц  $W_B/W_M=1/A$ , указано в табл.1

Таблица 1

Коэффициент  $b$  и отношения действительной скорости материала и скорости воздуха в пневмопроводе  $A=W_M/W_B$

Материал	$b$	$A=W_M/W_B$ при $\bar{Y} \leq 2,0$	Материал	$b$	$A=W_M/W_B$ при $\bar{Y} \leq 2,0$
Опилки: мелкие	7	0,90	Сортированная технологическая щепка (длина частиц до 35 мм)	11	0,7
крупные	8	0,95			
Стружка: мелкая	9	0,85			
крупная	10	0,80			

Скорость воздуха в вертикальном пневмопроводе равна скорости воздуха в горизонтальном пневмопроводе, так как условия перемещения материала по вертикальным трубам благоприятнее, чем по горизонтальным, поэтому  $W_T$  обеспечит движение материала на вертикальных участках.

Расход воздуха пневмотранспортной установки, м<sup>3</sup>/с:

$$V = \bar{G} / (\bar{Y} \rho_t). \quad (8)$$

Диаметр пневмопровода определяют из уравнения расхода:

$$V = 0,785 d^2 W_{\text{пн}}$$

Найденный диаметр округляют до ближайшего рекомендуемого (см. выше). Минимально допустимый диаметр пневмопровода:  $d=200$  мм для стружки и опила;  $d=250$  мм для щепы и волокна.

Скорость воздуха в пневмопроводе должна быть больше критической скорости ( $W_{\text{пн}} > W_{\text{кр}}$ ), при которой частицы материала, не оседая на дно го-

горизонтального трубопровода, будут перемещаться в осевом направлении:

$$W_{кр} = 5,6d^{0,34}d_s^{0,36}(\rho_m/\rho_t)^{0,5} \bar{Y}^{0,25}, \quad (9)$$

где  $d_s$  - эквивалентный диаметр частицы, м.

Скорость движения частиц материала:  $W_m = (0,75-0,85) W_{пн}$ .

**Общее гидравлическое сопротивление пневмотранспортной установки  $\Delta P_{пн}$ , Па:**

$$\Delta P_{пн} = \Delta P_B + \Delta P_M + \Delta P_{под} + \Delta P_{разг} + \Delta P_{ц}, \quad (10)$$

где  $\Delta P_B$  - потери давления при движении чистого воздуха, Па;  $\Delta P_M$  - дополнительные потери, возникающие при движении материала, Па;  $\Delta P_{под}$  - потери давления на поддержание материала в псевдооживленном состоянии, Па;  $\Delta P_{разг}$  - потери давления на разгон материала при загрузке его в пневмопровод, Па;  $\Delta P_{ц}$  - потери давления в циклоне - разгрузителе, Па.

**Пример расчета пневмотранспортной установки.** Пневмотранспортная установка перемещает высушенный опил в циклон. Установка всасывающе-нагнетательная (см. рис.1) включает пневмопровод, пылевые затворы, циклон-разгрузитель, вентилятор.

Производительность по опилу,  $G_k$ , кг/с ..... 0,526

Плотность соснового опила при  $\omega_{ак} = 5,3\%$ ,  $\rho_m$ , кг/м<sup>3</sup>, табл. 3[1] ... 480

Температура воздуха,  $t$ , °C ..... 50

**Плотность воздуха при  $t = 50$  °C:**

$$\rho_t = \rho_0 \cdot 273 / (273 + t) = 1,29 \cdot 273 / (273 + 50) = 1,09 \text{ кг/м}^3.$$

**Производительность пневмопровода по транспортируемому опилу:**

$$\bar{G} = \bar{G}_k \cdot K_n = 0,526 \cdot 1,15 = 0,61 \text{ кг/с},$$

где  $K_n$  - подача опила в пневмопровод через шлюзовой питатель;  $K_n = 1,15$ .

Концентрацию опила в транспортируемом воздухе принимаем  $\bar{Y} = 0,7$  кг опила/кг воздуха.

**Скорость воздуха в горизонтальном пневмопроводе:**  $W = [K(4 \bar{Y} - W_B/W_m + 0,01\rho_m + b)](1,2/\rho_t)^{0,5} = [1,05(4 \cdot 0,7 - 1/0,9 + 0,01 \cdot 480 + 7)](1,2/1,09)^{0,5} = 14,9 \text{ м/с}$ ,

где  $K = 1,05$ , так как  $L < 80$  м;  $W_B/W_m = 1/A$ ;  $A = 0,9$ ;  $b = 7$  (по табл.1).

**Расход воздуха пневмотранспортной установки:**

$$V = \bar{G} / (\bar{Y} \rho_t) = 0,526 / (0,7 \cdot 1,09) = 0,69 \text{ м}^3/\text{с}.$$

**Диаметр пневмопровода:**

$$d = (V/0,785W)^{0,5} = (0,69/0,785 \cdot 14,9)^{0,5} = 0,24 \text{ м}.$$

Принимаем  $d = 249$  мм;  $\varnothing 250 \times 0,6$  мм.

**Фактическая скорость воздуха:**

$$W_\phi = V/0,785d^2 = 0,69/0,785 \cdot 0,249^2 = 14 \text{ м/с}.$$

**Критическая скорость воздуха:**

$$W_{кр} = 5,6d^{0,34}d_s^{0,36}(\rho_m/\rho_t)^{0,5} Y^{0,25} = 5,6 \cdot 0,25^{0,34} \cdot 0,002^{0,36} (480/1,09)^{0,5} \cdot 0,7^{0,25} = 7,2 \text{ м/с}.$$

Фактическая скорость воздуха  $W_\phi = 14$  м/с больше критической,  $W_{кр} = 7,2$  м/с. Следовательно, опил будет транспортироваться, не оседая на дно горизонтального участка трубопровода.

Пример расчета циклона - разгрузителя ЦН2 (см. раздел **Циклоны НИИОГАЗ**).

Примеры расчетов шлюзовых затворов (см. раздел **Пылевые затворы**).

**Расчет вентилятора.** Воздух, перемещающий высушенный древесный материал от сушилки на последующую переработку, всасывается или нагнетается вентилятором. Расчет и выбор вентилятора проводим согласно схеме (см. рис.1).

Диаметр пневмопровода, $d$ , м .....	0,25
Скорость воздуха, $W_\phi$ , м/с .....	14
Температура воздуха, $t$ , °C .....	50
Плотность воздуха, $\rho_t$ , кг/м <sup>3</sup> .....	1,09
Вязкость воздуха, $\mu_t$ (Рис. VI [4]), Па·с .....	$19 \cdot 10^{-6}$
Концентрация опила в воздухе, $Y$ , кг/кг .....	0,7
Объемная производительность, $V$ , м <sup>3</sup> /с .....	0,69

**Расчет потери давления при движении чистого воздуха,  $\Delta P_B$**  при разветвленной сети проводим по самому длинному участку.

**Критерий Рейнольдса**  $Re = W_\phi d \rho_t / \mu_t = 14 \cdot 0,25 \cdot 1,09 / 19 \cdot 10^{-6} = 200 \cdot 10^3$ .

**Коэффициент трения** для гладкой трубы принимаем по рис.1.5 [4, с.22] при  $e = 0,1$  мм, при  $d/e = 250/0,1 = 2500$ , по  $Re = 200 \cdot 10^3$ ,  $\lambda = 0,016$ .

**Длина пневмопровода** принимается ориентировочно по рис.1:

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 = 10 + 20 + 15 + 20 + 30 + 8 = 103 \text{ м}.$$

**Местные сопротивления** принимаем по табл.12 [3] и рис.1:

вход в трубу, $\zeta_{вх} = 1$ .....	3шт.
отводы при $\alpha = 90^\circ$ , $\zeta_{от} = 0,39$ .....	6шт.
переход с круглого сечения на прямоугольный	
(вход в циклон), $\zeta_{п} = 0,21$ .....	1шт.
заслонка, $\zeta_3 = 1,54$ .....	1шт.
вход и выход из вентилятора, $\zeta_{в} = 0,21$ .....	2шт.

$$\Sigma \zeta = 3\zeta_{вх} + 6\zeta_{от} + \zeta_{п} + \zeta_3 + 2\zeta_{в} = 3 \cdot 1 + 6 \cdot 0,39 + 0,21 + 1,54 + 2 \cdot 0,21 = 7,51.$$

**Потери давления при движении чистого воздуха:**

$$\Delta P_B = (1 + \lambda L/d + \Sigma \zeta) 0,5 W_\phi^2 \rho_t = (1 + 0,016 \cdot 103/0,25 + 7,51) 0,5 \cdot 14^2 \cdot 1,09 = 1613 \text{ Па}.$$

**Потери, возникающие при движении материала по пневмопроводу:**

$$\Delta P_{мат} = 0,5 \lambda Y / W_\phi^2 \rho_t / d = 0,5 \cdot 0,015 \cdot 0,7 \cdot 30 \cdot 14^2 \cdot 1,09 / 0,25 = 135 \text{ Па},$$

где  $\lambda_\gamma=0,01-0,02$ ; принимаем коэффициент сопротивления трения  $\lambda_\gamma=0,015$ ;  $l=l_1+l_2=10+20=30$  м согласно рис.1.

**Потери давления на поддержание материала в псевдооживленном состоянии для мелких частиц:**

$$\Delta P_{\text{ПОД}}=H \rho_t g \bar{Y}=20 \cdot 1,09 \cdot 9,8 \cdot 0,7=150 \text{ Па,}$$

где  $H$  - сумма всех вертикальных участков,  $H=l_4=20$  м. Для крупных частиц

$$\Delta P_{\text{ПОД}}=H \rho_t g \bar{Y} W_\phi / (W_\phi - W_M).$$

**Потери давления на разгон материала при загрузке его в пневмопровод:**

$$\Delta P_{\text{РАЗГ}}=\zeta_{\text{РАЗГ}} \bar{Y} (0,5 W_\phi^2 \rho_t)=1,5 \cdot 0,7 (0,5 \cdot 14^2 \cdot 1,09)=112 \text{ Па,}$$

где  $\zeta$  - коэффициент сопротивления разгонного участка, принимается в пределах  $\zeta_{\text{РАЗГ}}=1-2$ ; принимаем  $\zeta_{\text{РАЗГ}}=1,5$ .

**Общее гидравлическое сопротивление пневмотранспортной установки:**

$$\Delta P_{\text{ПН}}=\Delta P_B+\Delta P_M+\Delta P_{\text{ПОД}}+\Delta P_{\text{РАЗГ}}+\Delta P_{\text{Ц}}=1613+135+150+112+172=2182 \text{ Па.}$$

**Приведенное сопротивление:**

$$\Delta P_{\text{ПР}}=\Delta P_{\text{ПН}}(273+t)P_0/273(P_0+\Delta P_{\text{ПН}})=2182(273+50)10^5/273(10^5+2182)=2527 \text{ Па.}$$

**Объемная производительность вентилятора:**

$$V_B=1,12V=0,69 \cdot 1,12=0,77 \text{ м}^3/\text{с} \text{ (или } 2,8 \text{ тыс.м}^3/\text{ч}),$$

где  $1,12$  - коэффициент запаса.

По объемной производительности  $V_B=2,8$  тыс.м<sup>3</sup>/ч,  $\Delta P_{\text{ПР}}=2527$  Па и  $\bar{Y}=0,7$  кг/кг выбираем вентилятор высокого давления по рис.12 [3] типа ВВД №8  $V=2,8$  тыс.м<sup>3</sup>/ч,  $\Delta P=2600$  Па,  $\eta=0,55$ ,  $n=21,6$  с<sup>-1</sup>.

**Установочная мощность электродвигателя:**

$$N_3=\beta V \Delta P_{\text{ПР}}/1000=1,15 \cdot 0,77 \cdot 2527/1000 \cdot 0,55=4,1 \text{ кВт,}$$

где  $\beta=1,15$  по табл.33 [3].

**Выбираем электродвигатель** по табл.17 [3] типа ВАО-41-2,  $N=5,5$  кВт,  $\eta_{\text{дв}}=0,84$ .

## ПОДАЧА И ДОЗИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛА

**Питатели.** С помощью питателей осуществляется *равномерно регулируемая* подача, например, влажного древесного опила или стружки из бункера-питателя в барабанную сушилку и др. Основные *типы питателей*: шлюзовой, винтовой, тарельчатый и ленточный.

В производстве древесных плит в основном используют *шлюзовые питатели* как простые, надежные и дешевые *объемные дозаторы* небольшой точности.

*Питатели являются также и пылевыми затворами* (шлюзовой, вин-

товой). Расчет питателей, дозаторов и затворов одинаковой конструкции аналогичен.

**Дозирование материалов** производится объемным или весовым методом. Для дозирования объемным методом пользуются мерниками, которые снабжены градуированными по объему шкалами, а также шлюзовыми, тарельчатыми, ленточными, винтовыми и другими питателями. Объемный метод пригоден для дозирования сыпучих материалов, не склонных к слеживанию и комкованию. Весовой метод дозирования более точен, но весовые дозаторы сложно устроены.

**Шлюзовые дозаторы** устойчиво сохраняют заданную производительность, если объемная масса материала в процессе дозирования изменяется незначительно.

**Винтовые дозаторы.** Для улучшения постоянства подачи применяют винты с переменным шагом, который уменьшается в сторону разгрузки. Материал при этом уплотняется и выходит из дозатора с более постоянным объемом.

**Вибрационные винтовые дозаторы.** Вибрация винта создается эксцентриком, вследствие чего обеспечивается захват винтом постоянного количества материала и достигается большая точность подачи материала.

**Дозаторы тарельчатого типа** выдерживают заданную производительность более точно, чем дозаторы шлюзовые или ленточные.

**Условные обозначения промышленных питателей (дозаторов)** определяются типом, видом механизма регулирования производительности, исполнением электродвигателя и исполнением по материалу.

**Тип:** Ш1, Ш2, Ш3 - шлюзовые; В1, В2, В3 - винтовые; Т1 - тарельчатые; первая цифра - тип исполнения; вторая цифра (см) - диаметр ротора для шлюзовых, диаметр винта для винтовых и диаметр тарелки для тарельчатых питателей.

**Вид механизма регулирования производительности:** Р - ручной; Э - электрический исполнительный механизм; П - пневматический исполнительный механизм; Б - без регулирования.

**Исполнение электродвигателя:** Н - невзрывозащищенное; В - взрывозащищенное (ВЗТ4).

**Исполнение по материалу:** У - не коррозионно-стойкое; К - коррозионно-стойкое. Последние цифры - порядковый номер модели.

**Примеры условного обозначения.** *Питатели Ш2 - 30 ПВК - 01:* Ш2 - шлюзовой для подачи материалов температурой не более 250°C; 30 - наружный диаметр ротора (см); П - регулирование производительности от пневматического исполнительного механизма; В - взрывозащищенный электродвигатель; К - коррозионно-стойкое исполнение; 01 - порядковый

номер модели питателя (детали, соприкасающиеся с продуктом, из стали 08Х22Н6Т). *Питатель В2 - 06 РНУ - 04*: В2 - винтовой вибрационный; 06 - диаметр винта (см); Р - ручное регулирование производительности; Н - невзрывозащищенный электродвигатель; У - не коррозионно-стойкое исполнение; 04 - порядковый номер модели питателя (длина транспортирования 1000 мм).

**Шлюзовые питатели (табл. 2, рис. 2)**

*Шлюзовые питатели типа Ш1* предназначены для подачи хорошо сыпучих порошкообразных и зернистых материалов (размер частиц не более 30 мм) с поверхностной влажностью не выше 1,5%, насыпной плотностью не более 1800 кг/м<sup>3</sup>, температурой 5 - 100°С; применяются для установки под бункером и на вертикальных участках трубопроводов в качестве подающих (дозировющих) устройств и шлюзовых затворов. Также широко используются в производстве древесных плит и пресс-изделий не только на стадии сушки. Производительность регулируют изменением частоты вращения ротора. Шлюзовые питатели выпускают с нерегулируемым приводом, с приводом, регулируемым вручную, а также от электрического или пневматического исполнительного механизма. По конструкции шлюзовые питатели одного типа аналогичны, различаются только узлами регулирования производительности.

*Питатели типа Ш2* применяются для более высоких температур материала (100 - 250°С), а *Ш3* - для подачи сыпучих материалов в трубопроводы напорного пневмотранспорта давления не более 0,15 МПа.

Таблица 2

**Технические характеристики шлюзовых питателей**

Питатель (дозатор)						Электродвигатель		
Тип	$V \cdot 10^4$ , м <sup>3</sup> /с	$n$ , с <sup>-1</sup>	D, мм	L, мм	$m$	Тип	N, кВт	$n$ , с <sup>-1</sup>
Ш1-15	0,38-3,6	0,033-0,32	150	100	4	В71В6	0,55	15,3
Ш1-20	1,02-10		200	150	4			
Ш1-30	4,2-39	0,035-0,33	300	250	6	В80В6	1,1	24,3
Ш1-45	16-156		450	400	6	В90L4	2,2	

*Обозначения.* V - производительность, м<sup>3</sup>/с; n - частота вращения, с<sup>-1</sup>; D - диаметр ротора, мм; L - длина ротора (диаметр загрузочного штуцера), мм; N - мощность, кВт; m - число секторов

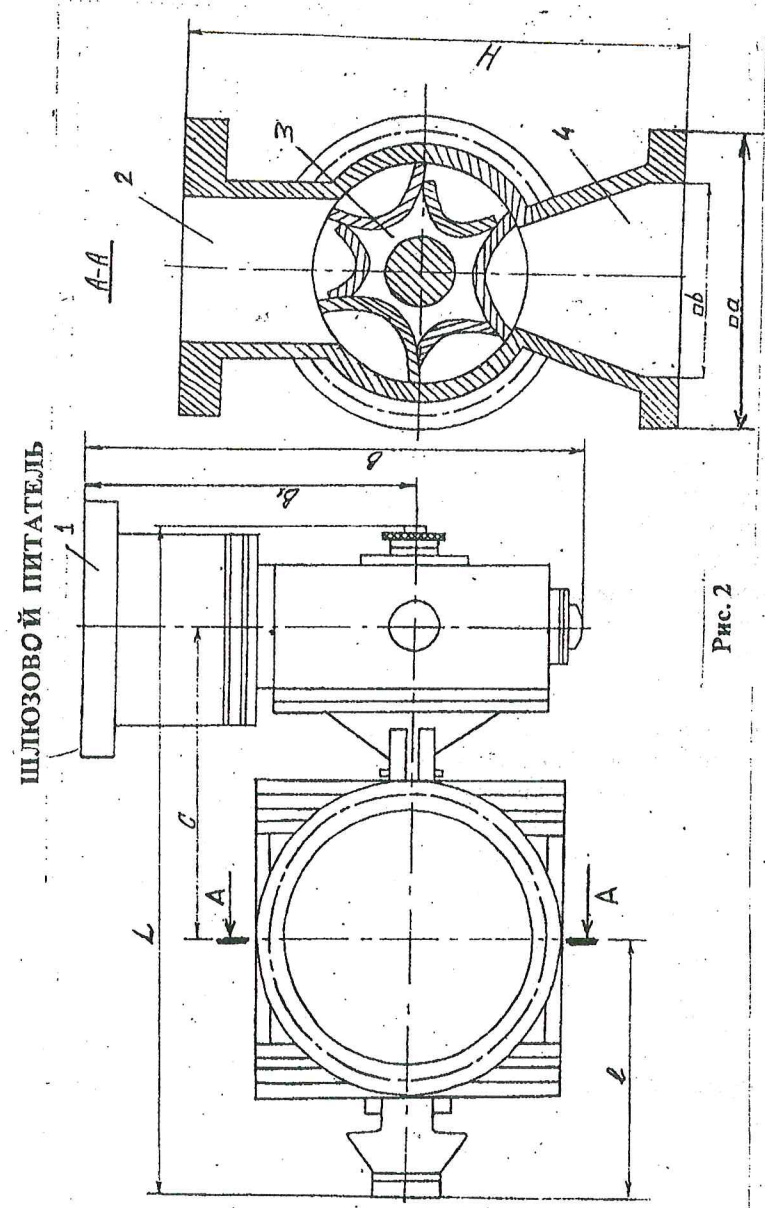


Рис. 2

1 - привод; 2 - загрузочное окно; 3 - ротор; 4 - выгрузочное окно



**Расчет шлюзовых питателей. Объемная производительность шлюзового питателя (дозатора), м<sup>3</sup>/с:**

$$V = \bar{G} / \rho_n = K_1 K_2 0,785 D^2 n L, \quad (11)$$

где D - диаметр ротора, м; L - длина ротора, м; n - частота вращения ротора, с<sup>-1</sup>; K<sub>1</sub> - коэффициент заполнения ротора; K<sub>1</sub>=0,4 - 0,8 для стружки, опила и щепы; K<sub>2</sub> - коэффициент, учитывающий, что 25% сечения ротора занято лопастями, K<sub>2</sub>=0,8.

**Установочная мощность электродвигателя, кВт:**

$$N = \bar{G} L g \varphi \beta / 1000 \eta, \quad (12)$$

где φ - коэффициент сопротивления, φ=1,8 - 2,5 для щепы, сырой стружки и опила; φ=1,5 - 1,8 для сухой стружки и опила; η=0,6 - 0,8 КПД; β=1,3 - 3 коэффициент неравномерности подачи материала.

**Пример расчета шлюзового дозатора.** Шлюзовой дозатор установлен под бункером-питателем. Назначение - равномерная, регулируемая подача влажного соснового опила в барабанную сушилку. Дозатор одновременно выполняет и роль питателя.

Производительность, $\bar{G}_n$ , кг/с .....	0,91
Температура опила, $\theta_n$ , °C .....	20
Насыпная плотность при $\omega_{oa}=82\%$ , $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup> .....	141,5

**Объемная производительность шлюзового дозатора:**

$$V = \bar{G} / \rho_n = 0,91 / 141,5 = 64,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

**Выбираем** стандартный шлюзовой дозатор по  $V=64,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$  по табл.2 или по каталогу [5] **типа ШИ-45**, диаметр ротора D=450 мм, длина ротора L=400 мм (равна диаметру загрузочного штуцера), частота вращения ротора n=0,035-0,33 с<sup>-1</sup>.

**Частота вращения ротора** для обеспечения производительности  $V=64,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$  по формуле (9):

$$n = V / 0,785 K_1 K_2 D^2 L = 64,3 \cdot 10^{-4} / 0,785 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,45^2 \cdot 0,4 = 0,16 \text{ с}^{-1},$$

где K<sub>1</sub>=0,8 для опила; K<sub>2</sub>=0,8.

**Установочная мощность электродвигателя** по формуле (10):

$$N = \bar{G}_n L g \varphi \beta / 1000 \eta = 0,91 \cdot 0,4 \cdot 9,8 \cdot 3 \cdot 2,5 / 1000 \cdot 0,6 = 0,045 \text{ кВт},$$

где β=3; φ=2,5.

**Выбираем взрывозащищенный электродвигатель** по N=0,045 кВт по табл.2 типа В71В6 N=0,55 кВт, n=15,3 с<sup>-1</sup>.

**Винтовые питатели (рис.3, табл.3)**

**Винтовые питатели типа В1** предназначены для подачи хорошо

ВИНТОВОЙ ПИТАТЕЛЬ

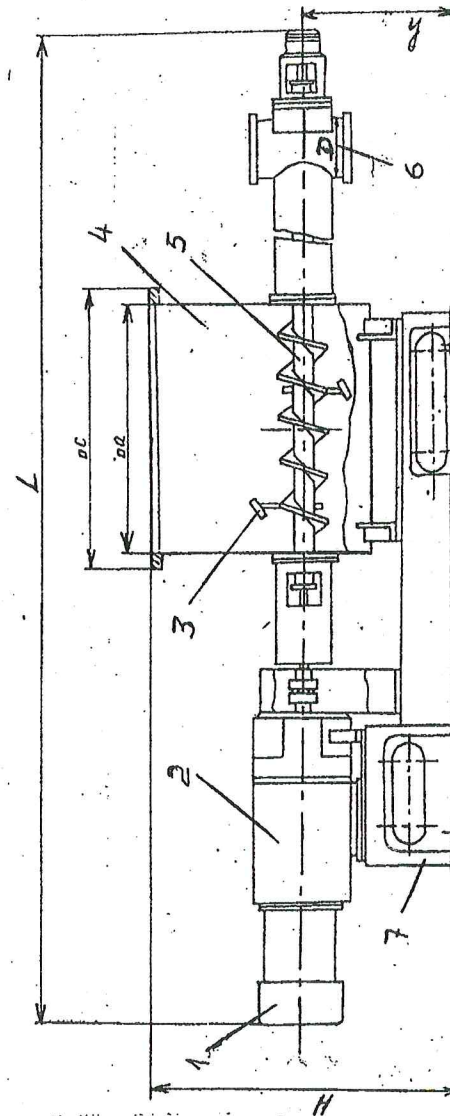


Рис. 3

1 - электродвигатель; 2 - вариатор; 3 - вращитель; 4 - загрузочная камера; 5 - винт; 6 - разгрузочный патрубок; 7 - рама

Таблица 3

Технические характеристики винтовых питателей типа В1

Питатель						Электродвигатель		
Тип	$V \cdot 10^4, \text{ м}^3/\text{с}$	$n, \text{ с}^{-1}$	$D_{в}, \text{ мм}$	$l_{тр}, \text{ мм}$	$t, \text{ мм}$	Тип	$N, \text{ кВт}$	$n, \text{ с}^{-1}$
В1-06	0,16-1,02 0,36-2,11	0,48-2,45	63	630-1250	40	В80А4	1,1	25
В1-10	1,69-10,0		100		100	В90Л4	2,2	
В1-16	6,7-39,7		160	1000-2000	160	В100Л4	4,0	
В1-25	19,4-116,7		250	1250-2500	200	ВА051-4У5	7,5	
<i>Обозначения. <math>D_{в}</math> - диаметр винта; <math>l_{тр}</math> - длина транспортирования; <math>t</math> - шаг винта</i>								

сыпучих порошкообразных и зернистых материалов (размер частиц не более 5 мм) с поверхностной влажностью не выше 1,5%, насыпной плотностью не более 1800 кг/м<sup>3</sup>, температурой 5 – 100°С. Производительность питателей регулируют вручную изменением частоты вращения винта с помощью вариатора.

Расчет винтового питателя проводится по формулам (4),(5) так же, как и расчет винтового транспортера.

**Винтовые вибрационные питатели типа В2** (табл.4) применяются для равномерной подачи нелипких плохо сыпучих порошкообразных материалов с поверхностной влажностью не выше 1,5 %, насыпной плотностью не более 1800 кг/м<sup>3</sup>, температурой 5 - 60°С, склонных к образованию сводов над выпускными отверстиями бункеров. Питателем перемещают материал по горизонтальным трубопроводам. Производительность регулируют вручную с помощью вариатора.

**Пример расчета винтового питателя.** Загрузка сушилок КС и трубно-сушилок влажными древесными частицами осуществляется дозатором (шлюзовым) и питателем (винтовым). Назначение - подача влажного соснового опила в сушилку КС. Горизонтальный питатель устанавливают под дозатором. Высота подъема (Н) равна нулю, угол наклона к горизонту ( $\alpha$ ) равен нулю.

Производительность,  $\bar{G}_n, \text{ кг/с}$  ..... 0,91  
 Температура опила,  $\theta_n, \text{ }^\circ\text{C}$  ..... 20  
 Насыпная плотность при  $\omega_{oa}=82\%, \rho_n, \text{ кг/м}^3$  ..... 141,5

**Объемная производительность шлюзового дозатора:**

$$V = \bar{G}/\rho_n = 0,91/141,5 = 64,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

**Выбираем** стандартный винтовой питатель по  $V=64,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$  по табл.3 или по каталогу [5] **типа В1-25**, диаметр винта  $D_{в}=250 \text{ мм}$ , шаг

Таблица 4

Технические характеристики винтовых вибрационных питателей типа В2

Питатель						Электродвигатель					
Тип	$V \cdot 10^4, \text{ м}^3/\text{с}$	$n, \text{ с}^{-1}$	$D_{в}, \text{ мм}$	$l_{тр}, \text{ мм}$	$t, \text{ мм}$	Тип	$N, \text{ кВт}$	$n, \text{ с}^{-1}$			
В2-04	0,038-0,238	0,167-1,0	40	630-1000	40	В80А4	1,1	23,1			
В2-06	0,169-1,02 0,36-2,11	0,48-2,45	63	630-1600	40 64						
В2-10	1,69-10,1		100	800-2000	100				2В90Л4	2,2	25
В2-16	6,7-39,7		160	1000-2500	160				2В100А	4,0	25
В2-25	19,4-116,7		250		200				ВА051-4У5	7,5	24,3

винта  $t=200 \text{ мм}$ , длина транспортирования  $l_{тр}=1250 \text{ мм}$ , частота вращения  $n=0,48-2,45 \text{ с}^{-1}$ .

**Частота вращения винта** при производительности  $V=64,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$  по формуле (4):  $n=V/0,785 D_{в}^2 t K_1 K_2 = 64,3 \cdot 10^{-4}/0,785 \cdot 0,25^2 \cdot 0,2 \cdot 0,3 \cdot 1 = 2,18 \text{ с}^{-1}$ ,

где  $K_1=0,3$  для опила;  $K_2=1$  при  $\alpha=0^\circ$ .

Следовательно, винтовой питатель типа В1-25 подходит, так как  $n=2,18 \text{ с}^{-1}$  входит в пределы  $n=0,48 - 2,45 \text{ с}^{-1}$ .

**Установочная мощность электродвигателя:**

$$N = \bar{G}_n(1_{тр}\varphi + H)g/1000 \eta = 0,91(1,25 \cdot 2,5 + 0)9,8/103 \cdot 0,8 = 0,035 \text{ кВт},$$

где  $\varphi=2,5$  для опила;  $\eta=0,8$ .

**Принимаем электродвигатель** по  $N=0,035 \text{ кВт}$  и по табл.4 с запасом типа В80А4  $N=1,1 \text{ кВт}$ ,  $n=23,1 \text{ с}^{-1}$ .

**Тарельчатые питатели**

Эти питатели (рис.5-8 [2]) применяются для подачи хорошо сыпучих порошкообразных и зернистых материалов (размер частиц не более 3мм) с поверхностной влажностью не выше 1,5%, насыпной плотностью не более 1800 кг/м<sup>3</sup>, температурой 5 - 100°С. Они используются для загрузки сушилок и других аппаратов. Могут быть использованы в качестве разгрузочных устройств бункеров. Производительность питателя регули-

руют ручную изменением частоты вращения тарелки с помощью вариатора или высотой кольцевой щели между манжетой и тарелкой, изменением положения ножа на тарелке. Технические характеристики питателей типа Т1 приведены в табл. 5, типа ПТ – в табл. 6.

Таблица 5

**Технические характеристики тарельчатых питателей типа Т1**

Тип	Питатели		D тарелки, мм	Электродвигатели		
	V·10 <sup>6</sup> , м <sup>3</sup> /с	n, с <sup>-1</sup>		тип	N, кВт	n, с <sup>-1</sup>
T1-025-01	0,167-1,02	0,002-0,012	250	B63B4	0,37	25
T1-025-02	0,83-5,0	0,016-0,1	400	B63B4	0,37	25
T1-040-01	2,78-14,4					
T1-040-02	16,9-99,2					
T1-040-03	57,8-347					
T1-063-01	166,7-1000	0,06-0,36	630	B90L4	2,2	25
T1-063-02	778-4722					
T1-100-01	2222-17500					

**Тарельчатые питатели типа ПТ** (питатель тарельчатый) предназначены для подачи легко сыпучих материалов (размер частиц не более 125 мм).

Чем крупнее частицы, тем больше диаметр тарелки необходимо выбрать.

Таблица 6

**Технические характеристики тарельчатых питателей типа ПТ**

Тип	V·10 <sup>6</sup> , м <sup>3</sup> /с	N, с <sup>-1</sup>	D тарелки, мм	N, кВт
ПТ-800	5,0	0,066	800	2,7
ПТ-1000			1000	
ПТ-1500	11,1	0,188	1500	5,5
ПТ-1800	18,0		1800	
ПТ-2000	25,0		2000	
ПТ-2500	8,3	0,1130	2500	20,0
ПТП-2000	19,4	0,188	2000	5,5
ПТП-2500			2500	

Чтобы не происходило сбрасывание материала с тарелки под действием центробежной силы, необходимо соблюдать следующее условие:

$$n < 0,5 (f/R)^{0,5}, \quad (13)$$

где f - коэффициент трения материала о тарелку; f=0,4 - 0,5 для сырой стружки, опила, щепы; f=0,25 - 0,35 для сухой стружки, опила, щепы; R - радиус тарелки, м; n - частота вращения тарелки, с<sup>-1</sup>.

**Объемная производительность тарельчатого питателя, м<sup>3</sup>/с:**

$$V = h^2 n (\pi R + h/3 \operatorname{tg} \varphi) / \operatorname{tg} \varphi, \quad (14)$$

где h - высота подъема манжеты питания над тарелкой; h=0,05 - 0,1 м;

φ - угол естественного откоса; φ=50° - опил; φ=60° - стружка, волокна, щепа.

По заданной производительности V и по табл. 5, 6 выбирают тарельчатый питатель и определяют частоту вращения тарелки по формулам (13, 14).

**Пример расчета тарельчатого дозатора.** Тарельчатый дозатор установлен перед винтовым питателем сушилки КС. Используемый материал - сосновые опилки. Объемная производительность по влажному опилу при ω<sub>ан</sub>=82% составляет V=64,3·10<sup>-4</sup> м<sup>3</sup>/с.

По табл. 5 и V=64,3·10<sup>-4</sup> м<sup>3</sup>/с выбираем тарельчатый питатель типа Т1-100-01, диаметр тарелки D<sub>т</sub>=1000 мм, n=0,06 - 0,36 с<sup>-1</sup>, электродвигатель типа В100 L4, N=4 кВт, n=25 с<sup>-1</sup>.

**Максимально допустимая частота вращения тарелки:**

$$n < 0,5 (f/R)^{0,5} = 0,5 (0,5/0,5)^{0,5} < 0,5.$$

**Частота вращения, соответствующая заданной производительности,**

$$V = 0,0064 \text{ м}^3/\text{с по формуле (14):}$$

$$N = V \operatorname{tg} \varphi / h^2 (\pi R + h/3 \operatorname{tg} \varphi) = 64,3 \cdot 10^{-4} \operatorname{tg} 50^\circ / 0,1^2 (3,14 \cdot 0,5 + 0,1/3 \operatorname{tg} 50^\circ) = 0,48 \text{ с}^{-1}.$$

**Принимаем тарельчатый питатель Т1-100-01, D<sub>т</sub>=1000 мм, n=0,48 с<sup>-1</sup>.**

**Ленточные питатели**

Эти питатели по устройству подобны ленточным транспортерам. Отличие заключается в ширине ленты и длине транспортирования. Производительность питателя регулируется скоростью движения ленты с помощью коробки скоростей, встроенной в приводной механизм. На ленточный питатель сыпучий материал поступает через воронку. На выходе из воронки установлен шибер, подъем или опускание которого приводит к изменению ширины выходной щели, следовательно, и к изменению количества выходящего материала, т.е. производительности. Технические характеристики ленточных питателей приведены в табл. 7. Производи-

Таблица 7

**Технические характеристики ленточных питателей**

Тип	B, мм	L, мм	ω, м/с	N, кВт	Габаритные размеры, мм		
					L	B <sub>1</sub>	H
ПЛ-а	250	800	0,01 - 0,035	1	1340	702	433
ПЛ-1	400	865	0,018 - 0,26	1	1485	815	920
ПЛ-2	400	1300	0,018 - 0,26	1	1920	815	920
ПЛ-3	400	1600	0,018 - 0,26	1	2220	788	920
ПЛ-4	400	2200	0,018 - 0,26	1	2820	815	920
ПЛ-5	400	2700	0,018 - 0,26	1	3320	815	920
ПЛ-6	400	3200	0,018 - 0,26	1	3820	815	920

*Обозначения. B - ширина ленты; ω - скорость движения ленты; N - мощность электродвигателя; L - длина; B<sub>1</sub> - ширина, H - высота*

тельность ленточных питателей 0,08 м<sup>3</sup>/с и более, скорость движения ленты 0,01 - 0,26 м/с, ширина ленты 400, 500, 750, 900, 1100 мм. Расчет проводится так же, как и ленточного транспортера по формулам (1 - 3).

### ВЫГРУЗКА СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА

Выгрузка сухого сыпучего материала (древесных частиц) из сушилок, инерционной камеры и циклонов осуществляется с помощью пылевого затвора и транспортера. Условные графические обозначения питателей и дозаторов на схемах показаны в табл. 8.

#### Требование к выбору пылевого затвора

Затворы должны иметь небольшие размеры, особенно по высоте, должны быть герметичными и безотказными в действии, способными работать на противодавлении и при разрежении в бункере (аппарате).

Негерметичность в пылевом затворе при наличии в бункере давления выше атмосферного ведет к выбросу пыли в окружающую среду, а при разрежении в бункере вызывает резкое снижение степени очистки циклона. При подсосе в бункер 15% от общего расхода воздуха через циклон *степень очистки снижается практически до нуля.*

При нерегулярном выпуске пыли происходит переполнение бункера пылью, что *недопустимо*, так как уменьшается степень очистки и создается возможность забивания циклона пылью.

#### Основные типы пылевых затворов

При непрерывном пылеудалении применяют автоматически действующие затворы типа Мигалка (разрежение 1000 Па) и затворы с электроприводом (шлюзовые и шнековые с пылевой пробкой).

Затвор типа Мигалка работает автоматически за счет уравнивающего контргруза (рис.4). При разрежении до 2000 Па устанавливают последовательно два затвора типа Мигалка. Для обеспечения герметичности высота вертикального участка над Мигалкой рассчитывается из условий, учитывающих разрежение в бункере:

$$H_m = P_{разр} / \rho_{нас} g + 0,1 \text{ м,}$$

где  $P_{разр}$  - разрежение в бункере, Па;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Диаметр Мигалки принимается равным диаметру выгрузного отверстия выгрузки пыли из бункера циклона. Недостатком затворов типа Мигалка являются большие подсосы воздуха, что снижает степень очистки. Основные размеры затворов типа Мигалка приведены в табл. 9.

*Затворы с электроприводом* обеспечивают более высокую герметичность по сравнению с затворами типа Мигалка.

Таблица 8

Условные графические обозначения питателей и дозаторов на схемах (ГОСТ 2.794 - 79)

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Бункерная емкость		<b>Дозаторы объемные</b>	
<b>Питатели</b>			
Ленточные		Шлюзовые (винтовые, секторные)	
Пластинчатые		Винтовые (шнековые)	
Скребокковые		Тарельчатые (дисковые)	
Тарельчатые (дисковые)		Щелевые	
Шлюзовые (лопастные, секторные)		Жидкостные	
<b>Дозаторы весовые</b>			
Винтовые (шнековые)		Периодического действия	
Вибро-винтовые		Непрерывного действия	
		Дозаторы объемно-весовые	

Таблица 9

Основные размеры затвора типа Мигалка

$D_n$	$D_n$	$D$	$D_1$	$H$	$L$	$L$
200	219	217	325	600	150	305
250	273	273	377	660	170	325
300	325	321	426	700	195	350
400	426	416	630	810	250	848
500	530	527	720	850	300	948
600	630	629	820	900	350	1048

**Шлюзовой (роторный, лопастной) затвор.** Для обеспечения герметичности на лопасти ротора прикрепляют резиновые накладки, зазор между лопастями и стенками корпуса не должен превышать 0,2 - 0,5 мм. Расчет этих затворов такой же, как и шлюзовых питателей, формулы (11),(12). Шлюзовые затворы (см. рис.2) хорошо себя зарекомендовали при установке их под бункерами циклонов и других аппаратов при выгрузке сухого материала. Не рекомендуется применять в случае улавливания слипающихся пылей. Технические характеристики шлюзовых затворов – см. табл.2.

**Шиберные затворы (рис. 5)** применяют при периодичной выгрузке пыли, мелких частиц и при перепадах давления до  $\pm 1000$  Па.

**Винтовой затвор** - это транспортер с пылевой пробкой. Применяется для неслипающейся пыли и одновременно используется как транспортер на умеренные расстояния, до 30 м. Особенностью затвора является наличие винта с переменным шагом или затвор, лишенный нескольких витков (уплотняющий винт) для создания уплотняющей пробки из материала. В уплотняющем винте, показанном на рис. 6, образование пылевой пробки происходит примерно в центре, где исключены от 1 до 2 витков винта.

Основные размеры винтовых затворов при коэффициенте заполнения  $\phi = 0,3$  приведены в табл. 10. Частоту вращения винта для заданной производительности определяют по формуле (4).

**Примеры расчетов шлюзовых затворов.** Согласно рис. 2 на пневмотранспортной установке установлено 3 шлюзовых дозатора: на выгрузке высушенного опила из инерционной камеры КИ, из циклона Ц1 и из циклона - разгрузителя Ц2. Количество опила, удаляемого из инерционной камеры, составляет 40 - 60% от количества высушенного опила  $G_k$ . Производительность по высушенному сосновому опилу  $\bar{G}_k = 0,526$  кг/с.

Насыпная плотность опила при  $\omega_{ак} = 5,3\%$ ,  $\rho_n = 100$  кг/м<sup>3</sup>. Расчет трех затворов проводится с запасом, производительность каждого принимается  $G_k = 0,526$  кг/с.

ЗАТВОР ТИПА «МИГАЛКА»

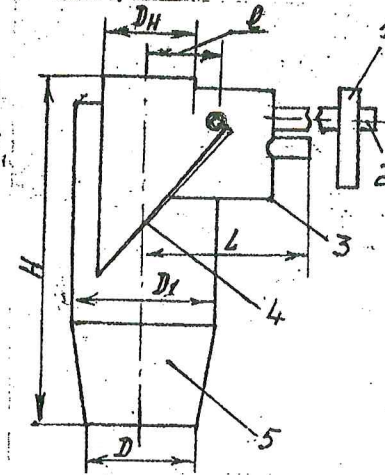


Рис. 4

ШИБЕРНЫЙ ЗАТВОР

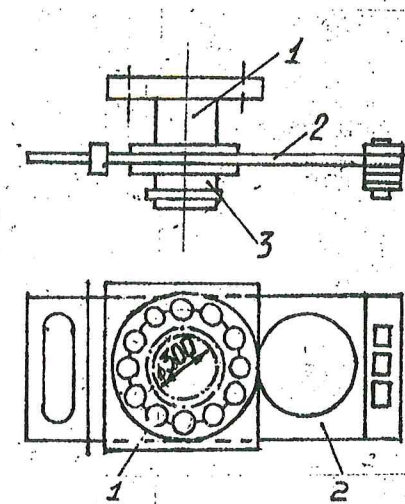


Рис. 5

1 – груз; 2 – рычаг; 3 – люк; 4 – плоский клапан; 5 - корпус

1 – входной патрубок; 2 – шибер;

ВИНТОВОЙ ЗАТВОР С ПЫЛЕВОЙ ПРОБКЕЙ

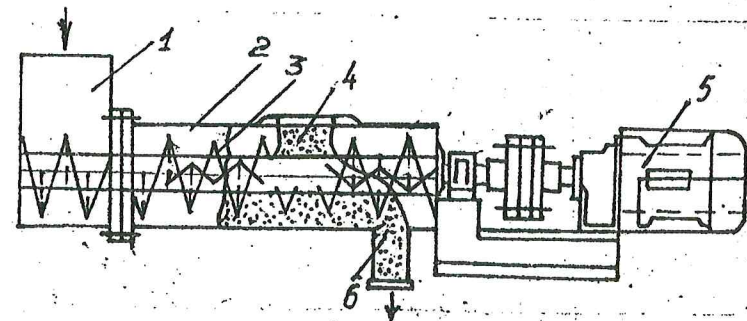


Рис. 6

1 – входной патрубок; 2 – корпус винта; 3 – спираль винта; 4 – пылевая пробка; 5 – привод винта; 6 – выходной патрубок

Таблица 10

**Винтовой затвор - транспортер с пылевой пробкой**

Тип	V·10 <sup>4</sup> , м <sup>3</sup> /с	n, с <sup>-1</sup>	D <sub>в</sub> , мм	L, мм	Δ, мм	t, мм	Диаметр патрубка, мм	
							загрузочного	разгрузочного
B1-20	15	1,0	200	20	4	160	200	184
B1-32	58	1,0	329	20	4	240	300	260
B1-40	78	0,625	400	30	6	320	400	350
B1-50	133	0,625	500	30	6	400	500	450
B2-20	16	1,05	200	20	4	160	200	180
B2-30	55	1,06	300	20	4	240	300	270
B2-40	136	1,07	400	30	6	320	415	360
B2-50	266	1,08	500	30	6	400	515	440

*Обозначения. V – производительность; n – частота вращения; D<sub>в</sub> – диаметр винта; L – длина транспортера; Δ – толщина витков винта; t – шаг винта*

**Объемная производительность затвора:**

$$V = \bar{G}_k / \rho_{\text{нас}} = 0,526 / 100 = 0,526 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Выбираем шлюзовой затвор по табл.2 или каталогу [5] по  $V = 0,526 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$  с учетом диаметра пневмопровода  $d = 0,25 \text{ м}$ .

Выбираем шлюзовой затвор Ш1-30, диаметр ротора  $D = 300 \text{ мм}$ , диаметр разгрузочного штуцера  $L = d = 250 \text{ мм}$ .

Находим требуемую частоту вращения ротора для обеспечения производительности  $V = 0,526 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$ :

$$n = V / 0,785 D^2 L K_1 K_2 = 0,526 \cdot 10^{-2} / 0,785 \cdot 0,3^2 \cdot 0,25 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 0,465 \text{ с}^{-1}.$$

Рекомендуется выбирать частоту вращения не более  $0,3 - 0,66 \text{ с}^{-1}$ . Рассчитанная частота вращения входит в рекомендуемые пределы.

**Установочная мощность электродвигателя:**

$$N = \bar{G}_k L g \phi / 1000 \eta = 0,526 \cdot 0,25 \cdot 9,8 \cdot 2,5 \cdot 3 / 1000 \cdot 0,6 = 16,1 \cdot 10^{-3} \text{ кВт}.$$

Принимаем взрывозащищенный электродвигатель типа В71В6 по  $N = 16,1 \cdot 10^{-3} \text{ кВт}$  и по табл.2  $N = 0,55 \text{ кВт}$ ,  $n = 15,3 \text{ с}^{-1}$ .

Принимаем 3 шлюзовых затвора типа Ш1-30,  $D = 300 \text{ мм}$ ,  $n = 0,465 \text{ с}^{-1}$ ; электродвигатель типа В71В6  $N = 0,55 \text{ кВт}$ .

**ОЧИСТКА ГАЗОВ ОТ ПЫЛИ**

**Циклоны.** Циклоны серии ЦН используются для очистки газов от 100 до 1000 м<sup>3</sup>/ч при концентрации пыли до 2,5 кг/м<sup>3</sup>. Они рассчитаны на давление (или разрежение) 2500 Па и температуру до 400<sup>0</sup>С.

Для обеспечения эффективной работы циклона должны соблюдаться основные требования:

- отсутствует подсос воздуха через бункер пыли;
- своевременно отводится улавливаемая пыль из бункера циклона;
- газы подводятся к циклону и отводятся от него по возможности по

прямым газоходам;

-не допускается установка задвижек на входных и выходных патрубках во избежание нарушения равенства их гидравлических сопротивлений.

Для надежности работы циклона температура газов должна быть выше точки росы на 20 – 25<sup>0</sup>С.

Выбор типа и диаметра циклона производится с учетом заданного расхода запыленного газа, физико-механических свойств пыли, требуемой степени очистки, габаритов установки, эксплуатационной надежности и стоимости очистки. В табл.11 показана область применения циклонов НИИОГАЗ.

Допускаемая запыленность газов зависит от диаметра циклона и для слабо слипающихся пылей приведена в табл. 12.

**Степень очистки** (коэффициент очистки  $\eta$ , %) - это отношение количества уловленной пыли в циклоне  $\bar{G}_{\text{ул}}$  к количеству пыли, поступившей в циклон  $\bar{G}_{\text{вх}}$  за это же время:

$$\eta = \bar{G}_{\text{ул}} / \bar{G}_{\text{вх}} \cdot 100.$$

Чем крупнее частицы, тем выше эффективность очистки. Коэффициент уноса  $\epsilon$ , % - это отношение количества пыли, уносимой газами из циклона  $\bar{G}_{\text{вых}}$ , к количеству пыли, поступившей за то же время в циклон:

$$\epsilon = \bar{G}_{\text{вых}} / \bar{G}_{\text{вх}} \cdot 100; \quad \epsilon = 100 - \eta.$$

Таблица 11

**Область применения циклонов НИИОГАЗ**

Тип циклона	Рекомендации по применению
ЦН-11	При одинаковой эффективности очистки эти циклоны имеют наиболее высокие технико-экономические показатели ( $\eta = 85 - 87\%$ , $d_p < 20 \text{ мкм}$ )
ЦН-15	Отличаются меньшими габаритами, более устойчивой работой на пыли, склонной к налипанию. Применяют при очистке газов с высокой концентрацией мелкой пыли и для улавливания сильно слипающейся пыли ( $\eta = 83 - 85\%$ , $d_p < 20 \text{ мкм}$ )
ЦН-24	При невысоких требованиях к качеству очистки $\eta = 78 - 80\%$ и для очистки газов от пыли с размером частиц более 20 мкм циклоны отличаются высокой пропускной способностью и меньшими энергозатратами

Эффективность очистки зависит от диаметра циклона, скорости входа запыленного газа, размера частиц пыли, температуры запыленного газа, диаметра выхлопной трубы и формы входящего патрубка.

Таблица 12

Допускаемая запыленность газов							
Диаметр циклона, мм	800	600	500	400	300	200	100
Допускаемая запыленность, кг/м <sup>3</sup>	2,5	2,0	1,5	1,2	1	до 0,8	до 0,6

**Диаметр циклона.** Теоретически и опытным путем установлено, что циклоны небольших диаметров обладают наивысшей степенью очистки, так как с уменьшением диаметра циклона возрастает центробежная сила. Поэтому рекомендуется устанавливать циклоны диаметром не более 800 – 1000 мм, группируя их так, чтобы в одной группе было не более 8 циклонов при прямоугольной компоновке и не более 14 при круговой (рис.7 – 11). Согласно ГОСТу 9617-67 для циклонов приняты следующие размеры диаметров, мм: 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400, 3000. Циклоны ЦН-11, ЦН-15 имеют диаметры в пределах от 200 до 2000 мм, а циклоны ЦН-24 - в пределах от 400 до 3000 мм. Основные размеры циклонов приведены в Приложении (табл.1 - 5).

**Скорость запыленного газа.** Различают скорость входа запыленного газа  $\omega_{вх}$  в прямоугольный патрубок циклона и условную скорость газа  $\omega_{ц}$ , отнесенную к площади всего сечения цилиндрической части циклона.

Наиболее эффективна скорость входа газа в циклон  $\omega_{вх}=20 - 25$  м/с, но не менее 15 м/с. С увеличением  $\omega_{вх}$  повышается эффективность очистки, но возрастает гидравлическое сопротивление циклона, так как увеличивается условная скорость. Для обеспечения эффективной очистки условную скорость  $\omega_{ц}$  принимают в пределах 2,5 – 4 м/с. При малой плотности газов скорость  $\omega_{ц}$  может быть  $> 4$  м/с.

**Размеры частиц пыли.** Крупные частицы пыли осаждаются быстрее. Увеличение плотности вещества также ускоряет их улавливание.

**Температура запыленного газа.** При повышении температуры запыленного газа увеличивается вязкость газа и снижается эффективность очистки.

**Диаметр выхлопной трубы.** Экспериментально установлено, что самым эффективным является отношение  $D/d=0,59$  (см. рис.7 - 11).

**Форма входного патрубка** бывает круглой, квадратной, треугольной и прямоугольной. Опытном установлено, что прямоугольный входной патрубок имеет меньшие потери давления и более высокую производительность.

**Наклон входного патрубка** способствует вращательному движению газового потока, поэтому угол между осью входного патрубка и осью циклона ЦН составляет  $11^\circ$  (ЦН-11 - наивысшая степень очистки),  $15^\circ$  (ЦН-15) и  $24^\circ$  (ЦН-24).

ОДИНОЧНЫЙ ЦИКЛОН ЦН

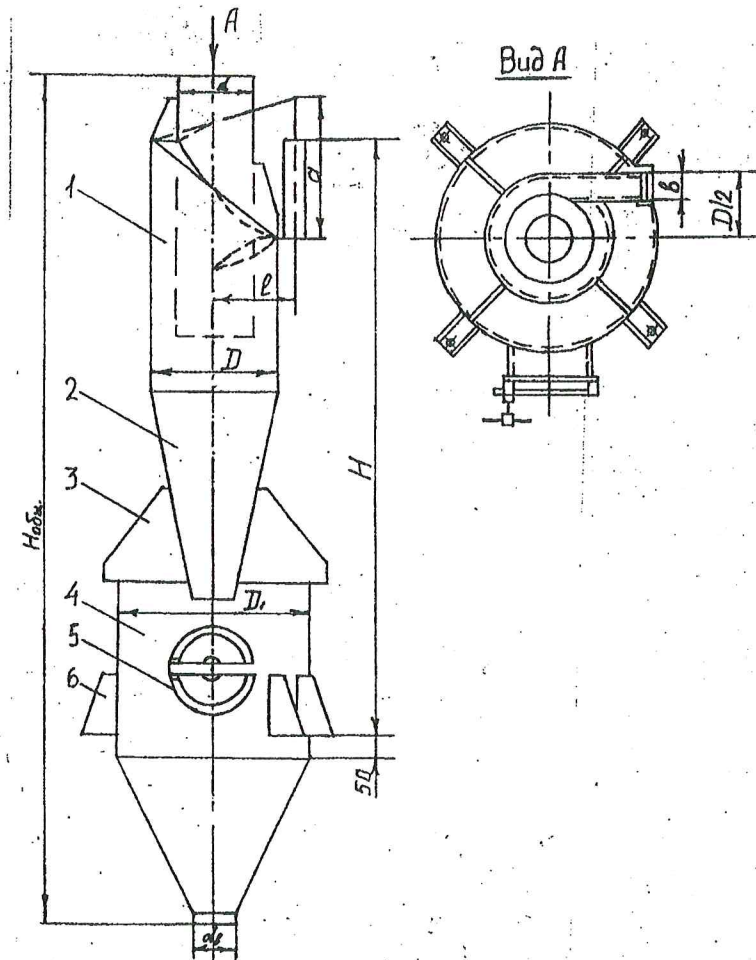


Рис. 7

- 1 – циклон; 2 – коническая часть циклона; 3 – косынки;
- 4 – бункер; 5 – лок; 6 – лапы опорные

ГРУППОВОЙ ЦИКЛОН ИЗ ДВУХ ЭЛЕМЕНТОВ

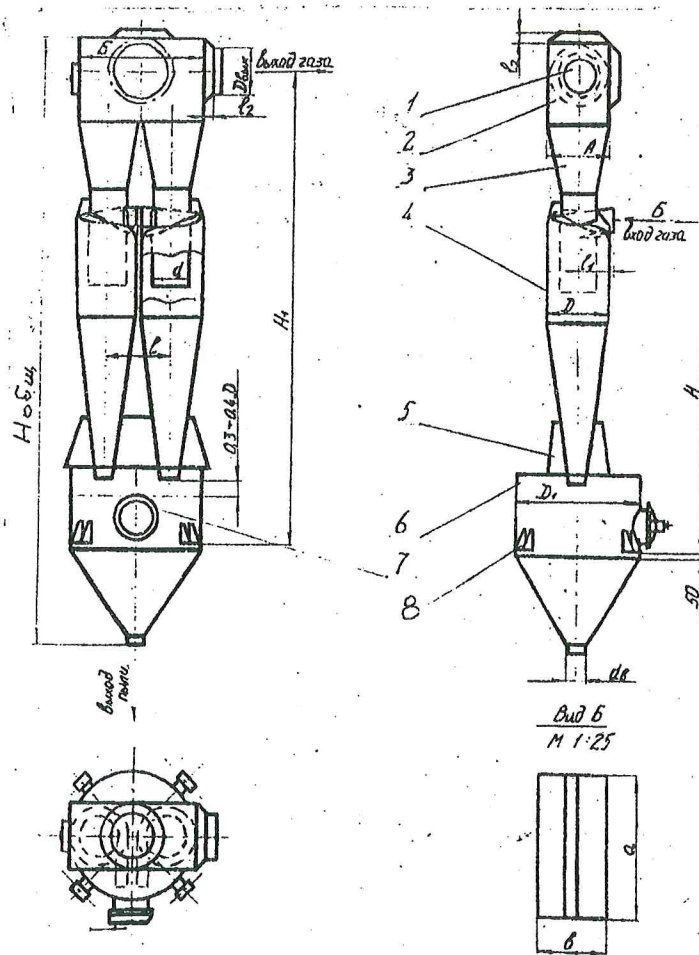


Рис. 8

1 – заглушка; 2 – сборник чистого газа; 3 – кольцевой диффузор;  
4 – циклон; 5 – косынки; 6 – бункер; 7 – люк; 8 – лапы опорные

ГРУППОВОЙ ЦИКЛОН ИЗ ЧЕТЫРЕХ ЭЛЕМЕНТОВ

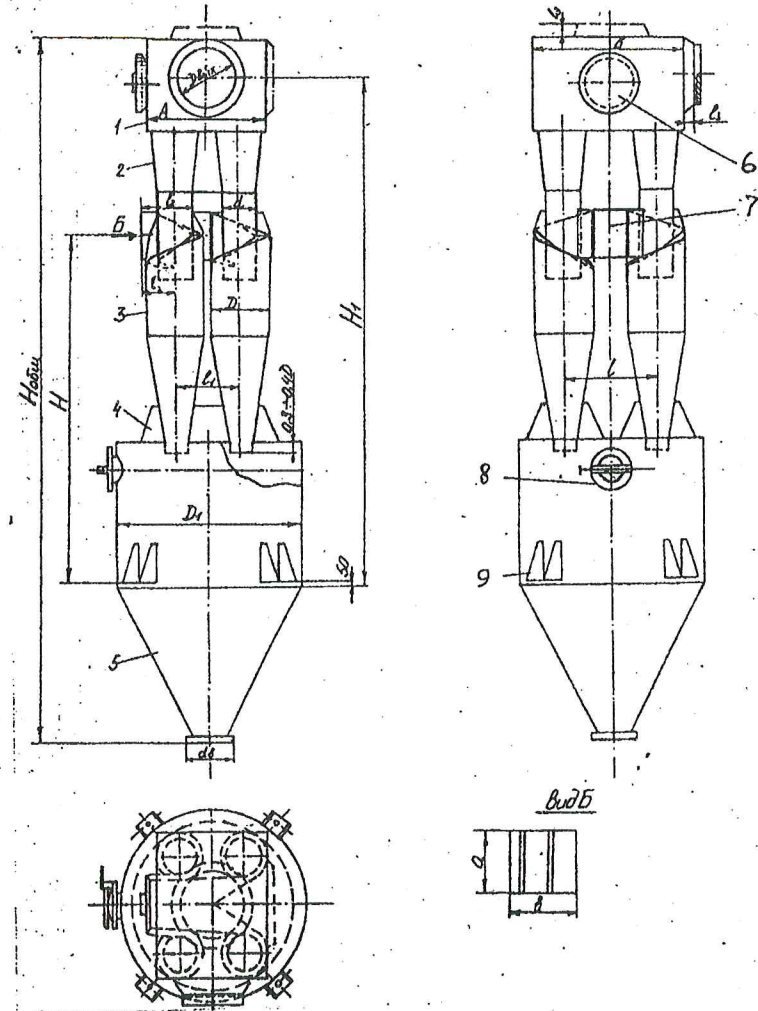


Рис. 9

1 – сборник чистого газа; 2 – кольцевой диффузор; 3 – циклон;  
4 – косынки; 5 – бункер; 6 – заглушка; 7 – коллектор;  
8 – люк; 9 – лапы опорные



ГРУППОВОЙ ЦИКЛОН ИЗ ШЕСТИ ЭЛЕМЕНТОВ

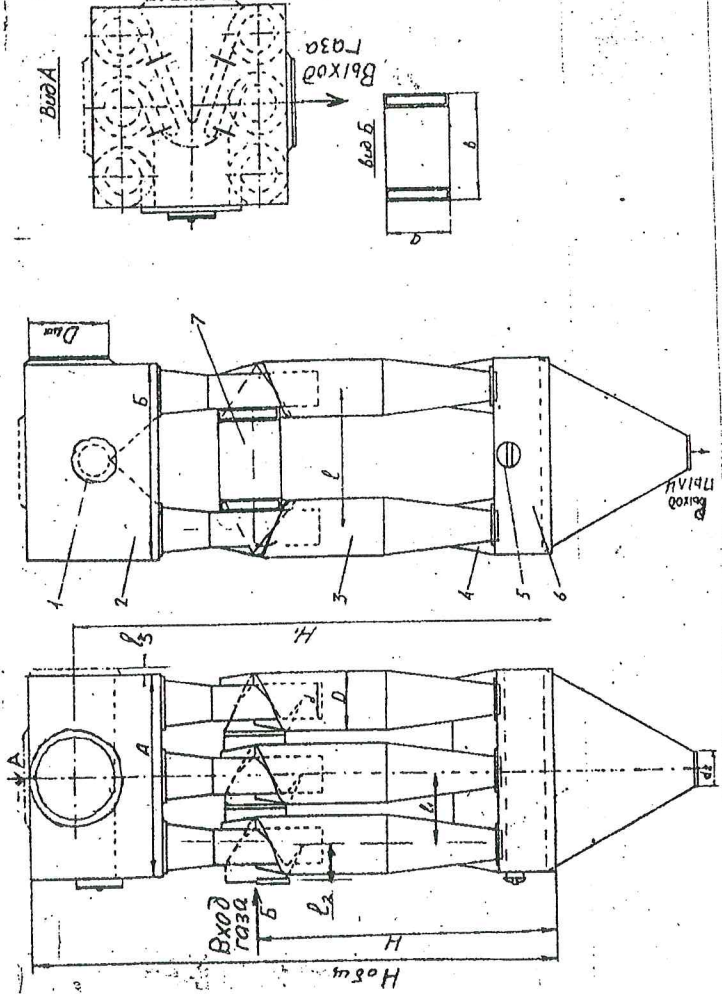


Рис. 10

1 — заглушка; 2 — сборник чистого газа; 3 — циклон; 4 — косынки; 5 — люк;  
6 — бункер; 7 — коллектор входа газа

ГРУППОВОЙ ЦИКЛОН ИЗ ВОСЬМИ ЭЛЕМЕНТОВ

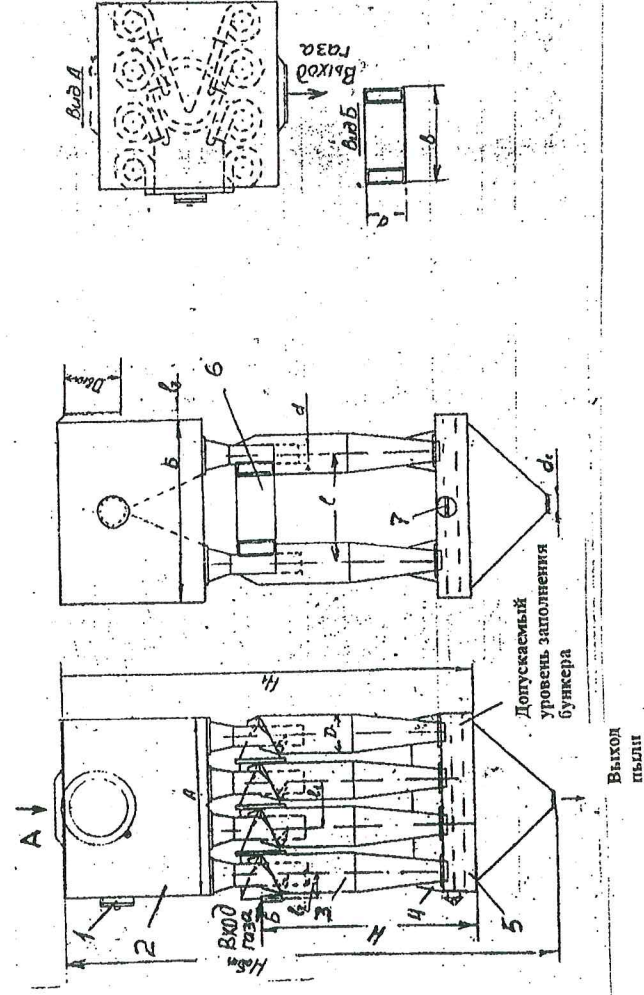


Рис. 11

1 — заглушка; 2 — сборник чистого газа; 3 — циклон; 4 — косынки; 5 — бункер;  
6 — коллектор входа газа; 7 — люк

По комплексу показателей экономичности, эффективности и удобству компоновки лучшим является циклон ЦН-11, далее идет ЦН-15 и затем ЦН-24.

**Гидравлическое сопротивление циклонов**

Различают два вида работы одиночных циклонов:

- *работа циклона в сети*, т.е. выход потока газов из циклона осуществляется в газовый тракт через сравнительно длинный прямой участок с диаметром, равным диаметру выхлопного патрубка циклона; после циклона могут быть установлены другие газоочистные аппараты;

- *работа циклона на выхлоп* - очищенный газ из циклона выходит непосредственно в атмосферу.

В случае работы циклона в сети к потерям давления, имеющим место непосредственно в циклоне, прибавляются невосполнимые потери, связанные с раскручиванием и выравниванием потока за циклоном. В случае работы циклона на выхлоп потерянной является и вся кинетическая энергия вращающегося потока, выходящего из циклона в большой объем. Эта энергия больше энергии, теряемой в прямом выходном участке при раскручивании потока, примерно на величину скоростного давления. Поэтому коэффициент сопротивления  $\xi_{\text{ц}}^{\text{в}}$  циклона, работающего на выхлоп, больше коэффициента сопротивления  $\xi_{\text{ц}}^{\text{с}}$  циклона, работающего на сеть (табл. 13).

*Коэффициент сопротивления циклона* зависит от его диаметра, состояния внутренней поверхности стенок, скорости, вязкости и запыленности потоков (концентрации и крупности взвешенных частиц). Значения коэффициентов сопротивления  $\xi$  различных типов циклонов диаметром 500 мм, выполненных из листовой стали, при скорости потока  $W_{\text{ц}} \geq 3$  м/с приведены в табл. 13.

Таблица 13

**Значения коэффициентов сопротивления циклонов  
(D=500 мм; d/D=0,59; W<sub>ц</sub>= 3 м/с)**

Коэффициент сопротивления	Тип циклона		
	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-24
$\xi_{\text{ц} 500}^{\text{с}}$ - работа циклона на сеть	245	155	75
$\xi_{\text{ц} 500}^{\text{в}}$ - работа циклона на выхлоп	250	163	80

*Зависимость коэффициента сопротивления циклона от его диаметра и концентрации пыли:*

$$\xi_{\text{ц}} = K_1 K_2 \xi_{\text{ц} 500},$$

где  $\xi_{\text{ц} 500}$  - коэффициент сопротивления циклона, работающего на выхлоп, или на сеть, при D=500 мм;

$K_1$  - поправочный коэффициент на влияние диаметра, D (табл. 14);

Таблица 14

**Поправочный коэффициент K<sub>1</sub>**

Тип циклона	Диаметр циклона, D, мм				
	150	200	300	400	500
ЦН-11	0,94	0,95	0,96	0,99	1,0
ЦН-15	0,85	0,90	0,93	1,0	1,0
ЦН-24	0,85	0,90	0,93	1,0	1,0

$K_2$  - поправочный коэффициент на влияние запыленности (табл. 15).

В пределах *изменения диаметра* от 150 до 500 мм коэффициент сопротивления заметно увеличивается (см.табл.14); при дальнейшем увеличении *диаметра он практически остается постоянным*. Повышение концентрации пыли в потоке газов, поступающих в циклон, несколько снижает сопротивление (см. табл.15).

Таблица 15

**Поправочный коэффициент K<sub>2</sub>**

Тип циклона	Запыленность, C·10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,85
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86

*Коэффициент сопротивления группового циклона:*

$$\xi_{\text{ц}}^{\text{гп}} = K_1 K_2 \xi_{\text{ц} 500} + K_3,$$

где  $K_3$  - принимается по табл.16 в зависимости от варианта компоновки группового циклона.

Таблица 16

**Поправочный коэффициент K<sub>3</sub>**

Характеристика группового циклона	K <sub>3</sub>
Круговая компоновка, нижний организованный подвод.	60
Прямоугольная компоновка, организованный подвод, циклонные элементы расположены в одной плоскости:	
отвод из общей камеры чистого газа	35
улиточный отвод из циклонных элементов	28
свободный подвод потока в общую камеру	60

*Гидравлическое сопротивление циклонов, Па:*

$$\Delta P_{\text{ц}} = 0,5 \xi_{\text{ц}} W_{\text{ц}}^2 \rho_1.$$

Опыт показывает, что для каждого типа циклонов выражение  $\Delta P_{\text{ц}}/\rho_1$  имеет оптимальное значение: для ЦН-11 оно составляет 800 - 1400, для

ЦН-15 – 500 – 1000, а для ЦН-24 равно 300 – 600.

Верхний предел принимают, когда предъявляются особые требования к сокращению габаритов установки и эффективности. В остальных случаях – ближе к нижнему пределу.

**Пример расчета циклона-разгрузителя сушилки.** Назначение - улавливание частиц высушенного соснового опила после барабанной сушилки. Циклон работает на сеть.

Размер частиц опила, $d_p$ , м	.....	$2 \cdot 10^3$
Производительность по высушенному опилу, $\bar{G}_k$ , кг/с	.....	0,526
Гидравлическое сопротивление сушилки и газоходов до входа в циклон, $\sum \Delta P_i$ , Па	.....	762
Объемный расход очищаемого газа, $V_{12}$ , м <sup>3</sup> /с	.....	6
Температура, $t_2$ , °С	.....	95
Влагосодержание, $x_2$ , кг/кг	.....	0,1
Вязкость (по прил.3[6]), $\mu_{12}$ , Па·с	.....	$19 \cdot 10^{-6}$

**Запыленность воздуха на входе в циклон:**

$$\bar{C} = \bar{G}_k / V_{12} = 0,526 / 6 = 88 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3.$$

Выбираем циклон ЦН-24, так как улавливаются крупные частицы  $d_p = 2$  мм.

Принимая прямоугольную компоновку циклонных элементов типа ЦН-24 с организованным подводом воздуха, определяем **коэффициент гидравлического сопротивления группового циклона:**

$$\zeta_{гп}^{гп} = K_1 K_2 \zeta_{4500}^c + K_3.$$

Подставляя значения коэффициентов из табл.14-16, получаем  $\zeta_{гп}^{гп} = 1 \cdot 0,9 \cdot 75 + 35 = 102,5$ . Принимаем диаметр элемента циклона  $D = 800$  мм. Отношение по  $\Delta P_{гп} / \rho_1$  для циклона ЦН-24 принимаем (см. выше):

$$\Delta P_{гп} / \rho_1 = 500 \text{ м}^2/\text{с}^2.$$

**Условная скорость воздуха в циклоне:**

$$W_{гп} = [(\Delta P_{гп} / \rho_1) / 0,5 \zeta_{гп}^{гп}]^{0,5} = (500 / 0,5 \cdot 102,5)^{0,5} = 3,12 \text{ м/с}.$$

**Объемный расход воздуха, проходящего через один элемент группового циклона:**  $Q = 0,785 D^2 W_{гп} = 0,785 \cdot 0,8^2 \cdot 3,12 = 1,57 \text{ м}^3/\text{с}.$

**Число циклонных элементов в групповом циклоне:**  $Z = V_{12} / Q = 6 / 1,57 = 3,82.$

Выбираем групповой циклон ЦН-24 из 4 элементов диаметром 800 мм.

**Скорость газа в элементах группового циклона:**

$$W_{гп} = V_{12} / 0,785 D^2 Z = 6 / 0,785 \cdot 0,8^2 \cdot 4 = 3 \text{ м/с}.$$

**Абсолютное давление запыленного воздуха в циклоне:**

$$P_a = B \pm P = 9,81 \cdot 10^4 - 762 = 97338 \text{ Па}.$$

Циклон работает под разрежением, поэтому в формуле ставим знак «минус», если под давлением знак «плюс». Атмосферное давление

$B = 9,81 \cdot 10^4$  Па;  $P$  - давление газов на входе в циклон:  $P = \sum \Delta P_i$  - сумма гидравлических сопротивлений газоходов и аппаратов до циклона, Па [6].

**Плотность влажного воздуха при рабочих условиях:**

$$\rho_{12} = P_a (1 + x_2) / 462 (273 + t_2) (0,62 + x_2) = [(9,81 \cdot 10^4 \cdot 762) (1 + 0,1)] / 462 (273 + 95) (0,62 + 0,1) = 0,88 \text{ кг/м}^3.$$

**Гидравлическое сопротивление группового циклона:**

$$\Delta P_{гп} = 0,5 \zeta_{гп}^{гп} W_{гп}^2 \rho_1 = 0,5 \cdot 102,5 \cdot 3^2 \cdot 0,88 = 406 \text{ Па}.$$

**Пример расчета циклона - разгрузителя пневмотранспортной установки.** Назначение - отделение транспортируемого опила от воздуха (см. рис.2). Размер частиц  $d_p = 2 \cdot 10^{-3}$  м. Расход воздуха  $V = 0,69 \text{ м}^3/\text{с}.$

**Коэффициент гидравлического сопротивления группового циклона**

$$\zeta_{гп}^{гп} = K_1 K_2 \zeta_{4500}^c + K_3 = 1 \cdot 0,86 \cdot 75 + 35 = 99,5,$$

где  $\zeta_{4500}^c = 75$  (по табл.13) для ЦН-24, работающего на сеть;  $K_1 = 1$  при  $D = 500$  мм (по табл. 14),  $K_2 = 0,86$  при  $C = 0,76 \text{ кг/м}^3$  (по табл.15),  $K_3 = 35$  для прямоугольной компоновки с централизованным подводом и отводом воздуха (по табл.16).

**Условная скорость воздуха в циклоне:**

$$W_{гп} = [(\Delta P_{гп} / \rho_1) / 0,5 \zeta_{гп}^{гп}]^{0,5} = [300 / 0,5 \cdot 99,5]^{0,5} = 2,46 \text{ м/с},$$

где  $\Delta P_{гп} / \rho_1 = 300 \text{ м}^2/\text{с}^2$  (см. выше).  
**Объемный расход воздуха, проходящего через один элемент группового циклона,  $D = 500$  мм:**  $Q = 0,785 D^2 W_{гп} = 0,785 \cdot 0,5^2 \cdot 2,46 = 0,48 \text{ м}^3/\text{с}.$

**Число циклонных элементов в групповом циклоне:**

$$Z = V / Q = 0,69 / 0,48 = 1,44.$$

Выбираем циклон ЦН-24 из двух элементов диаметром  $D = 500$  мм.  
**Фактическая скорость воздуха в элементах группового циклона:**

$$W_{гп} = V / 0,785 D^2 Z = 0,69 / 0,785 \cdot 0,5^2 \cdot 2 = 1,76 \text{ м/с}.$$

**Гидравлическое сопротивление группового циклона:**

$$\Delta P_{гп} = 0,5 \zeta_{гп}^{гп} W_{гп}^2 \rho_1 = 0,5 \cdot 99,5 \cdot 1,8^2 \cdot 1,09 = 176 \text{ Па},$$

где  $\rho_1 = 1,09 \text{ кг/м}^3$  (см. расчет пневмотранспортной установки).

ПРИЛОЖЕНИЕ  
Основные размеры циклонов НИИОГАЗ

Таблица 1

Основные размеры циклонов в сборе

D	D <sub>1</sub>	d	b	d <sub>в</sub>	L	a				H				H <sub>общ</sub>			
						ЦН-11	ЦН-15	ЦН-24	ЦН-11	НЦ-15	ЦН-24	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-24			
200	325	120	52	100	120	96	132	-	990	1016	-	1398	1435	-	-	-	-
300	500	180	78	150	180	144	198	-	1516	1555	-	2120	2175	-	-	-	-
400	600	240	104	200	240	192	264	444	1980	2034	1825	2630	2701	1825	2880	2880	2880
500	800	300	130	200	300	240	330	555	2528	2595	2336	3395	3485	2336	3335	3335	3335
600	900	360	156	200	360	288	396	666	2994	3074	2763	3993	4100	2763	3920	3920	3920
700	1000	420	182	200	420	336	462	777	3459	3552	3190	4580	4707	3190	4497	4497	4497
800	1200	480	208	200	480	384	528	888	4004	4112	3698	5349	5493	3698	5253	5253	5253
900	1400	540	234	300	540	432	594	999	4551	4672	4205	6017	6179	4205	5910	5910	5910
1000	1600	600	260	300	600	480	660	1110	5099	5233	4714	6788	6968	4714	6668	6668	6668
1200	1800	720	312	300	720	576	792	1332	6030	6190	5568	7974	8190	5568	7830	7830	7830
1400	2200	840	364	300	840	672	924	1554	7121	7310	6583	9500	9752	6583	9382	9382	9382
1600	2400	960	416	300	960	768	1056	1776	8052	8267	7437	10685	10974	7437	10494	10494	10494
1800	2800	1080	468	300	1080	864	1188	1998	9147	9390	8455	12230	12552	8455	12012	12012	12012
2000	3000	1200	520	500	1200	960	1320	2220	10079	10348	9310	13230	13590	9310	12990	12990	12990
2400	3600	1440	624	500	1440	-	-	2664	-	-	-	-	-	-	-	15673	15673
3000	4500	1800	780	500	1800	-	-	3330	-	-	-	-	-	-	-	19655	19655

Таблица 2

Основные размеры группы из двух циклонов

D	D <sub>1</sub>	A+B	D <sub>max</sub>	d	a			b	d <sub>в</sub>	I	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
					ЦН-15	ЦН-11	ЦН-24						
200	500	240x460	159	120	132	96	-	132	150	220	120	32	32
300	800	360x680	245	180	198	144	-	184	200	320	180	50	50
400	1000	480x900	325	240	264	192	444	236	200	420	240	65	65
500	1000	500x1024	377	300	330	240	555	294	200	524	300	75	75
600	1200	600x1224	426	360	396	288	666	346	200	624	360	85	85
700	1400	700x1424	530	420	462	336	777	398	300	724	420	105	105
800	1600	800x1624	630	480	528	384	888	450	300	824	480	125	125
900	1800	900x1824	720	540	594	432	999	502	300	924	540	145	145
1000	2000	1000x2028	720	600	660	480	1110	560	300	1028	600	145	145
1200	2400	1200x2428	920	720	702	576	1332	664	300	1228	720	185	185
1400	2800	1400x2828	1020	840	924	672	1554	768	300	1428	840	205	205
1600	3600	1600x3228	1220	960	1056	768	1776	872	500	1628	960	245	245
1800	3600	1800x3636	1320	1080	1188	864	1998	988	500	1836	1080	265	265

Окончание табл. 2

D	H				H <sub>1</sub>				H <sub>общ</sub>					
	ЦН-15		ЦН-11		ЦН-24		ЦН-15		ЦН-11		ЦН-24		ЦН-15	
	A	B	D <sub>1</sub>	D <sub>max</sub>	d	ЦН-15	ЦН-11	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-11	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-11	ЦН-24
200	480	584	800	219	120	132	96	-	248	200	200	344	240	120
300	700	856	1000	325	180	198	144	-	352	200	200	496	340	180
400	920	1128	1400	426	240	264	192	444	456	300	300	648	440	240
500	1040	1308	1600	530	300	330	240	555	568	300	300	808	540	300
600	1240	1560	1800	630	360	396	288	666	672	300	300	960	640	360
700	1440	1812	2000	820	420	462	336	777	776	300	300	1112	740	420
800	1640	2064	2400	920	480	528	384	888	880	300	300	1264	840	480
900	1840	2316	2800	1020	540	594	432	999	984	300	300	1416	940	540
1000	2040	2576	3000	1120	600	660	480	1110	1096	500	500	1576	1040	600
1200														
1400														
1600														
1800														

Таблица 3

Основные размеры группы из четырех циклонов

D	H				H <sub>1</sub>				H <sub>общ</sub>						
	ЦН-15		ЦН-11		ЦН-24		ЦН-15		ЦН-11		ЦН-24		ЦН-15		
	A	B	D <sub>1</sub>	D <sub>max</sub>	d	ЦН-15	ЦН-11	ЦН-24	B	d <sub>B</sub>	l	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>	
200	480	584	800	219	120	132	96	-	248	200	200	344	240	120	45
300	700	856	1000	325	180	198	144	-	352	200	200	496	340	180	65
400	920	1128	1400	426	240	264	192	444	456	300	300	648	440	240	85
500	1040	1308	1600	530	300	330	240	555	568	300	300	808	540	300	105
600	1240	1560	1800	630	360	396	288	666	672	300	300	960	640	360	125
700	1440	1812	2000	820	420	462	336	777	776	300	300	1112	740	420	165
800	1640	2064	2400	920	480	528	384	888	880	300	300	1264	840	480	185
900	1840	2316	2800	1020	540	594	432	999	984	300	300	1416	940	540	205
1000	2040	2576	3000	1120	600	660	480	1110	1096	500	500	1576	1040	600	225

Таблица 4

Основные размеры группы из шести циклонов

D	A=B	D <sub>max</sub>	d	a			d <sub>b</sub>	l	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>
				ЦН-15	ЦН-11	ЦН-24					
200	900	273	120	96	-	388	484	280	120	55	
300	1200	426	180	144	-	562	706	380	180	100	
400	1600	530	240	192	444	736	928	480	240	105	
500	1700	720	300	240	555	918	1158	580	300	145	
600	2000	820	360	288	666	1092	1380	680	360	165	
700	2300	920	420	336	777	1266	1602	780	420	182	
800	2700	1120	480	384	888	1440	1824	880	480	225	
900	3000	1220	540	432	999	1614	2046	980	540	245	
1000	3300	1320	600	480	1110	1796	2276	1080	600	265	

D	H			H <sub>1</sub>			H <sub>общ</sub>		
	ЦН-15	ЦН-11	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-11	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-11	ЦН-24
200	1366	1340	-	1990	1953	-	2710	2675	-
300	1885	1845	-	2795	2740	-	3860	3806	-
400	2444	2390	2235	3630	3560	3510	5066	4995	4946
500	2885	2818	2625	4340	4250	4190	5975	5885	5825
600	3404	3324	3095	5117	5010	4937	7067	6960	6887
700	3924	3830	3560	5880	5755	5670	7858	7732	7648
800	4482	4375	4068	6785	6640	6545	9155	9010	8915
900	5002	4880	4535	7555	7393	7285	10055	9893	9785
1000	5623	5489	5105	8435	8255	8135	11105	10925	10805

Таблица 5

Основные размеры группы из восьми циклонов

D	A=B	D <sub>max</sub>	d	a			d <sub>b</sub>	l	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>
				ЦН-15	ЦН-11	ЦН-24					
200	1200	325	120	96	-	492	588	280	120	65	
300	1600	426	180	144	-	718	862	380	180	85	
400	2000	630	240	192	444	944	1136	480	240	125	
500	2300	720	300	240	555	1178	1418	580	300	145	
600	2700	920	360	288	666	1404	1692	680	360	185	
700	3000	1020	420	336	777	1630	1966	780	420	205	
800	3450	1220	480	384	888	1856	2240	880	480	245	
900	3850	1320	540	432	999	2082	2514	980	540	265	
1000	4250	1520	600	480	1110	2316	2796	1080	600	305	

D	H			H <sub>1</sub>			H <sub>общ</sub>		
	ЦН-15	ЦН-11	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-11	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-11	ЦН-24
200	1485	1460	-	2200	2165	-	3207	3170	-
300	2045	2005	-	3035	2980	-	4410	4356	-
400	2605	2550	2395	3930	3858	3810	5766	5694	5646
500	3125	3058	2866	4700	4610	4550	6556	6466	6406
600	3685	3605	3373	5595	5487	5415	7847	7740	7667
700	4202	4110	3840	6368	6242	6158	8753	8627	8543
800	4882	4775	4468	7389	7245	7150	9966	9966	9966
900	5542	5421	5075	8320	8188	8090	11285	11123	11015
1000	6103	5970	5585	9216	9035	8915	12589	12410	12290

**Список литературы**

1. Ведерникова М.И., Орлов В.П., Терентьев В.Б., Штеба Т.В., Кожевников Н.П. Проектирование сушильной установки для сушки измельченной древесины. Ч.1. Технологические и гидродинамические расчеты. Екатеринбург, УГЛТА, 2000. 39с.
2. Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия. 1962, 314 с.
3. Ведерникова М.И. Гидравлические расчеты. Ч.1. Расчет и выбор насосов и вентиляторов. Екатеринбург, УГЛТА, 2000. 40с.
4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л.: Химия, 1987. 576с.
5. Объемные питатели: Каталог. М.: ЦИНТИХИМнефтемаш, 1979. 28с.
6. Старцева Л.Г., Ведерникова М.И. Гидравлические расчеты. Часть II. Примеры расчетов и выбора насосов и вентиляторов. Екатеринбург, УГЛТА, 2000. 44 с.

**Содержание**

Хранение материалов .....	3
Транспортирование материалов .....	3
Подача и дозирование материала .....	12
Выгрузка сыпучего материала .....	22
Очистка газов от пыли .....	26
Приложение .....	38
Список литературы .....	44