

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра машин и аппаратов химических и пищевых производств

С.В. Антимонов, Е.В. Ганин, С.Ю. Соловых

# **МЕТОДИКА ПОДБОРА И РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ (АСПИРАЦИОННОЙ) СЕТИ С УСТАНОВЛЕННЫМ ФИЛЬТРОМ**

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования «Оренбургский государственный  
университет» для обучающихся по образовательной программе  
высшего образования по направлению подготовки 15.03.02  
Технологические машины и оборудование

Оренбург  
2019

УДК 664 (03)  
ББК 36я7  
А 62

Рецензент - кандидат технических наук, доцент Н.П. Владимиров

**Антимонов, С.В.**

**А 62**

Методика подбора и расчета основных элементов вентиляционной (аспирационной) сети с установленным фильтром: методические указания / С.В. Антимонов, Е.В. Ганин, С.Ю. Соловых; Оренбургский гос. ун-т.— Оренбург: ОГУ, 2019. — 20 с.

Методические указания предназначены для выполнения контрольных работ и самостоятельного изучения по дисциплине «Процессы и аппараты защиты окружающей среды» для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование очной и заочной форм обучения.

УДК 664 (03)  
ББК 36я7

© Антимонов С.В.,  
Ганин Е.В.,  
Соловых С.Ю., 2019  
© ОГУ, 2019

## Содержание

1 Основные понятия.....	5
2 Методика подбора и расчета основных элементов вентиляционной (аспирационной) сети.....	9
2.1 Определение суммарного расхода воздуха от вентиляционной установки (сети) .....	9
2.2 Предварительный подбор вентилятора к сети .....	10
2.3 Предварительный подбор фильтра к сети .....	12
2.4 Подбор диаметров воздухопроводов.....	15
Список использованных источников .....	19
Приложение А.....	20

## Введение

Большинство предприятий пищевой промышленности в своей производственной деятельности используют в своей технологии сыпучие дисперсные материалы (зерно, мука, отруби и т.д.). Технология пищевых предприятий предусматривает их транспортировку, перемещение, непосредственное использование в технологическом процессе в качестве сырья и выпуск готового продукта сыпучем виде. Все перечисленные операции сопровождаются образованием и выделением пыли, что ухудшает гигиеническое состояние воздуха и окружающей атмосферы. Кроме того, в определенных условиях и определенные концентрации пыли в воздухе могут привести к возникновению взрывов и пожаров на предприятии, что может привести к порче имущества, а в ряде случаев человеческим жертвам.

Для поддержания воздуха на уровне санитарно-гигиенических норм в помещениях предприятий и снижения на них взрывоопасности, а также улучшения качества получаемого продукта в системе хлебопродуктов нашла широкая применения вентиляция.

Целью данных методических указаний является помочь провести подбор и прикидочные расчеты основных элементов вентиляционной системы в сжатые сроки с установленным фильтром или фильтром циклоном

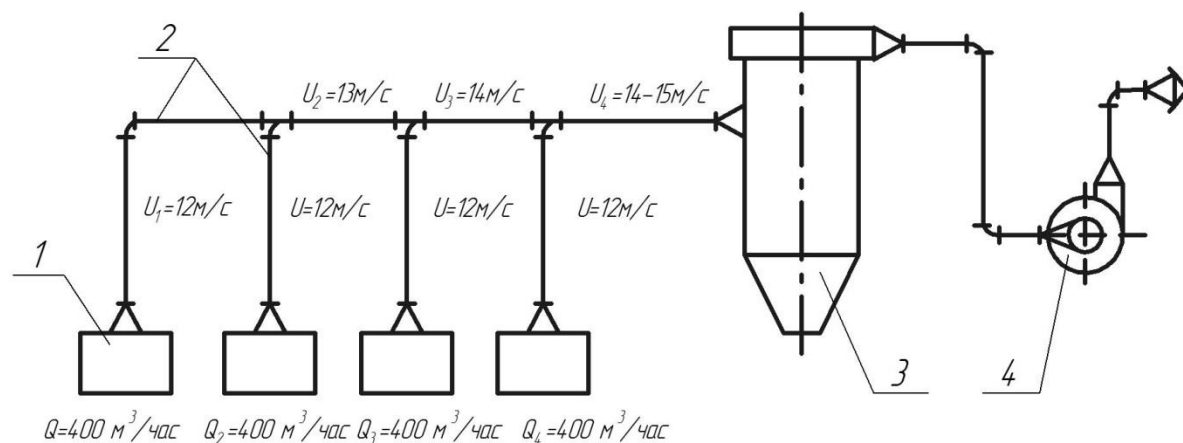
# 1 Основные понятия

Рассмотрим вентиляционную сеть с установленным фильтром или фильтром-циклоном.

Вентиляционная (аспирационная) сеть (установка) состоит из **пяти основных элементов** [2-4]:

- 1) объект аспирации (обеспыливания)- машины и аппараты (транспортное и технологическое оборудование), бункера, силоса и т.д.;
- 2) система воздухопроводов – прямые участки воздухопроводов и фасонные части (колена, отводы, тройники, конфузоры и диффузоры);
- 3) пылеотделитель устройство для очистки воздуха от пыли – фильтр или фильтр-циклон;
- 4) вентилятор - воздуходувная машина для перемещения воздуха или газов;
- 5) контрольно-измерительные приборы и вспомогательная аппаратура – микроманометры, заслонки, смотровые люки, шлюзовые затворы и т.д.

Перечисленные выше элементы, объединенные, в одну систему называют вентиляционной системой (сетью).



- 1- аспирируемое оборудование; 2- воздухопроводы (прямые и фасонные части); 3- фильтр (фильтр - циклон); 4 - вентилятор

Рисунок 1 - Схема вентиляционной сети с установленным фильтром

Фильтрацией называется процесс очистки газов от взвешенных частиц с помощью пористых сред. Осаждение частиц в этом случае происходит под влиянием механизмов: броуновской диффузии, эффекта зацепления, инерционных и электростатических сил. Уловленные в процессе фильтрации частицы по мере накопления образуют в объеме фильтрующего материала пылевой слой и становятся для вновь поступающих частиц частью фильтрующей среды. С одной стороны, это повышает эффективность пылеулавливания, с другой – приводит к постепенному снижению газонепроницаемости (воздухонепроницаемости) фильтра. Последнее обстоятельство вызывает необходимость периодической регенерации фильтрующего материала. Регенерация возможна путем замены забитого пылью фильтра или переснарежения его новым материалом так и посредством периодического механического разрушения и частичного удаления осадка с поверхности фильтрующего слоя.

Для очистки технологических газов и аспирационного воздуха обычно применяются тканевые и зернистые фильтры [1].

**Тканевые фильтры.** Типичная конструкция тканевого фильтра представляет собой следующее. Взвешенные частицы вместе с воздушным потоком поступают в нижнюю часть фильтра. Корпус фильтра разделен на несколько герметичных секций, в каждой из которых размещено по несколько фильтровальных рукавов. Запыленный воздух или газы фильтруются через ткань, проходят в секцию и удаляются через открытый выпускной клапан. Частицы пыли в процессе фильтрации оседают на внутренней поверхности рукавов, в результате чего постепенно увеличивается сопротивление ткани. Когда оно достигает определенного значения, секция переводится на режим регенерации. При регенерации обратной продувкой поток очищенного газ или воздуха направляется через рукав в обратном направлении. Этот поток разрушает слой, осевший на рукаве пыли, и она падает в бункер, откуда удаляется специальным выгрузным устройством. Запыленный продувочный воздух поступает в

газопровод для загрязненного газа и далее – в работающие секции. Регенерация рукавов может осуществляться и путем их встряхивания, иногда оба вида регенерации осуществляются одновременно. Отключение секций на регенерацию производится одновременно.

Тканевые фильтры различают по конструктивным признакам: 1) по форме фильтровальных элементов (рукавные, плоские, клиновые); 2) способу регенерации ткани (встряхиваемые с обратной продувкой, с вибровстряхиванием, с импульсной продувкой); 3) наличие и форме корпуса для размещения фильтрующего материала (прямоугольные, цилиндрические, открытые - бескамерные); 4) числу секций в установке (однокамерные и многосекционные).

Помимо рукавных фильтров применяют фильтры с плоской разверткой ткани со значительно большей по сравнению с рукавными фильтрами фильтрующей поверхностью, приходящейся на единицу объема. Фильтрующие элементы таких аппаратов имеют прямоугольную реже клинообразную форму с одним открытым торцом, которым они закрепляются распределительной перегородке.

Несмотря на преимущества фильтров с плоской разверткой ткани по габаритным признакам, они используются реже, чем рукавные. Это объясняется сложностью смены мешков и истиранием ткани на каркасе [1].

***Зернистые фильтры.*** Фильтрующим материалом этих фильтров являются зерна различной формы. Несмотря на такие достоинства, как теплостойкость, возможность работы в условиях агрессивной среды, прочность при различных механических нагрузках, перепадах давлений и резких изменениях температур, зернистые фильтры применяются значительно реже тканевых, это объясняется повышенной стоимостью, сложностью длительной регенерации, высоким гидравлическим сопротивлением.

Зернистые фильтры подразделяются на насыпные и жесткие. В пищевой промышленности применение не нашли в виду высоких энергозатрат [1].



## 2 Методика подбора и расчета основных элементов вентиляционной (аспирационной) сети

### 2.1 Определение суммарного расхода воздуха от вентиляционной установки (сети)

Общий расход воздуха находят как сумму расходов воздуха всего аспирируемого оборудования

$$Q_{сети} = Q_{общ} = \sum_{i=1}^n Q_i, \text{ м}^3/\text{час}, \quad (1)$$

где  $Q_i$  - расход воздуха от  $i$  -ой машины (точке отсоса),  $\text{м}^3/\text{час}$  или  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;

$n$  – количество точек отсоса входящих в аспирационную установку (сеть).

С учетом 5% подсоса воздуха в воздуховодах запишем выражение (1) в следующем виде

$$Q_{сети} = Q_{общ} = 1,05 (Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots Q_n) \quad (2)$$

В формуле (2) :1,05 – подсос воздуха в воздуховодах принимают ориентировочно 5 % от полезного расхода  $\sum_{i=1}^n Q_i$ . Величина  $Q_i$  - расход воздуха от  $i$  – ой машины (точки отсоса) принимается из справочной литературы согласно нормативам, установленным для каждого вида оборудования индивидуально [2,3].

*Например,* Необходимо рассчитать суммарный расход воздуха от четырех бункеров (рисунок 1), входящих в одну вентиляционную сеть

Расход воздуха от одного бункера принимаем, согласно справочным нормативам  $Q_i = 400 \text{ м}^3/\text{час}$ , тогда из формулы (2)

$$Q_{\text{общ}} = 1,05(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) = 1,05(400 + 400 + 400 + 400) = 1680 \text{ м}^3/\text{час}$$

## 2.2 Предварительный подбор вентилятора к сети

Предварительно вентилятор к сети подбирают по расходу воздуха и ориентировочному давлению вентилятора.

Расход воздуха в сети перемещаемый вентилятором определяют с учетом общего расхода воздуха и подсосов в сети, в зависимости от типа выбранного пылеотделителя т.е.

$$Q_v = Q_{\text{общ}} + Q_{\text{подс}}, \text{ м}^3/\text{час}, \quad (3)$$

где  $Q_{\text{подс}}$  – подсос во всасывающих фильтрах 10 %  $\sum_{i=1}^n Q_i$   $\text{ м}^3/\text{час}$ .

Подсос воздуха через клапаны, которые отключают аспирацию, принимают  $100 \text{ м}^3/\text{час}$  на каждый клапан.

*Например,*  $Q_v$  для четырех бункеров, входящих в одну вентиляционную сеть, в которой в качестве пылеотделителя используется фильтр, будет следующее

$$Q_v = Q_{\text{общ}} + Q_{\text{подс}} = 1680 + 0,1 \cdot 1600 = 1840 \text{ м}^3/\text{час}$$

Ориентировочное давление вентилятора равно ориентировочному сопротивлению сети, принимают от 1600 до 1800 Па.

По найденному расходу  $Q_v$ ,  $\text{ м}^3/\text{час}$  и ориентировочному сопротивлению сети  $H_v^{op} = 1600 - 1800$  Па из справочной литературы предварительно подбирают вентилятор с максимальным КПД и наименьшим номером. Вентиляторы ВЦП развивают давление до 2000 Па. Если же в сети

потребуется большее давление, то принимают вентиляторы ЦП7-40, которые развивают давление 4000 Па. На очищенном воздухе можно использовать вентиляторы общего назначения Ц7-40 или Ц9-57, если они дают более высокий КПД. Чем пылевые вентиляторы [3,5].

*Например*, по расходу воздуха  $Q_6 = 1830 \text{ м}^3/\text{час}$  и ориентировочному давлению  $H_6^{op} = 1500 \text{ Па}$  по рабочей характеристике вентилятора ВЦП –3 (вентилятора). Приложение, рисунок -5) подбираем вентилятор с КПД  $\eta_6$  не менее 0,9  $\eta_{max}$  (указан на характеристике).

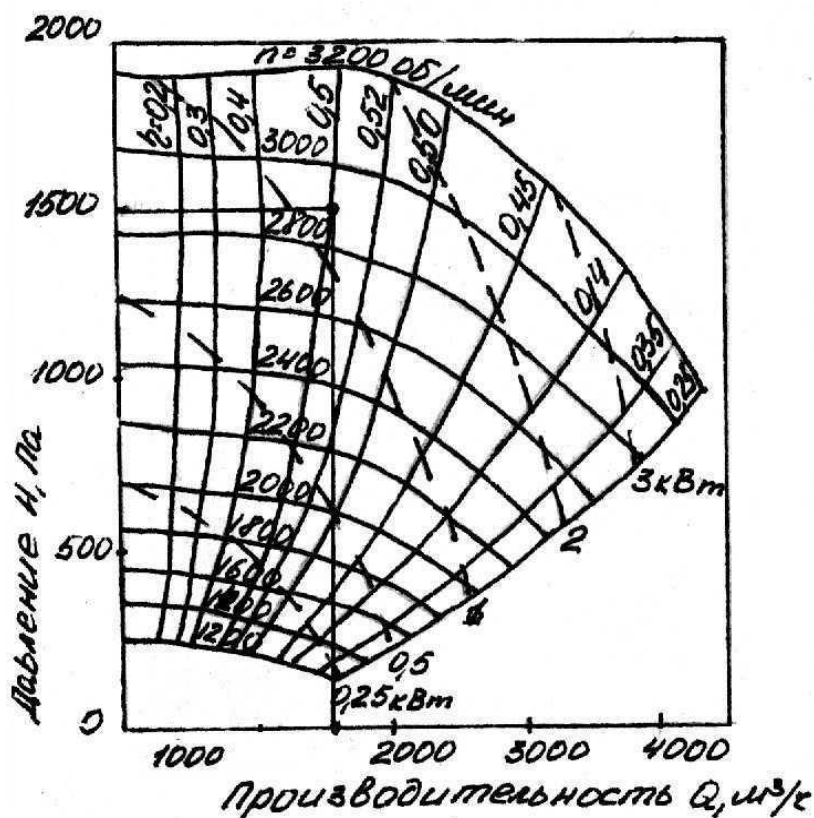


Рисунок 2 - Рабочие характеристики вентилятора ВЦП-3

Для данного вентилятора ВЦП-3, из рисунка 2 видно  $\eta_6 = 0,5$ . Данные для определения рабочих характеристик вентилятора взять из рисунка 5 «Аэродинамические характеристики вентилятора типа ВЦП» приложения.

## 2.3 Предварительный подбор фильтра к сети

По найденному расходу воздуха в сети с учетом 10 % подсоса воздуха в воздухопроводах, подбирают фильтр или фильтр-циклон.

*Например*, если необходимо подобрать к аспирационной сети с общим расходом воздуха  $Q_{сети} = 1600 \text{ м}^3/\text{час}$  всасывающий фильтр или фильтр-циклон, то его расчет и подбор к сети проводят следующим образом.

По расходу воздуха и допустимой нагрузке на ткань определяют необходимую фильтрующую поверхность:

$$S_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{Q_{y\phi}}, \text{ м}^2, \quad (4)$$
$$S_{\phi} = \frac{Q_{сети}}{Q_{y\phi}}$$

где  $Q_{\phi}$  – расход воздуха поступающего в фильтр,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , равный  $Q_{сети}$ ;

$Q_{y\phi}$  – удельная нагрузка на ткань,  $\text{м}^3/(\text{ч м}^2)$ ,  $Q_{y\phi} = 120-180 \text{ м}^3/(\text{ч м}^2)$   
(кроме фильтров-циклонов типа РЦИ  $Q_{y\phi} = 420 \text{ м}^3/(\text{ч м}^2)$ ).

$$S_{\phi} = \frac{1600}{420} = 3,8 \text{ м}^2$$

По найденной поверхности  $S_{\phi}$ , согласно справочной литературе [5] или таблице №4 принимают ближайший фильтр с фильтрующей поверхностью, равной или близкой к расчетной – РЦИ-5,2-8.

Затем определяют действительную удельную нагрузку на ткань:

$$Q'_y = \frac{Q_{\phi}}{S'_{\phi}}, \quad (5)$$

где  $S'_\phi$  – действительная площадь фильтрующей поверхности принятого фильтра, м<sup>2</sup>

$$Q'_y = \frac{1600}{5,2} = 307,7 \text{ м}^3/(\text{ч м}^2)$$

Следует учитывать, что во время встряхивания рукавов одна секция фильтра отключается от вентилятора и удельная нагрузка на ткань возрастает до величины

$$Q''_y = \frac{Q_y}{\left(1 - \frac{1}{z}\right)}, \quad (6)$$

где  $z$  - число секций фильтра.

$$Q''_y = \frac{307,7}{\left(1 - \frac{1}{8}\right)} = 351,7 \text{ м}^3/(\text{ч м}^2)$$

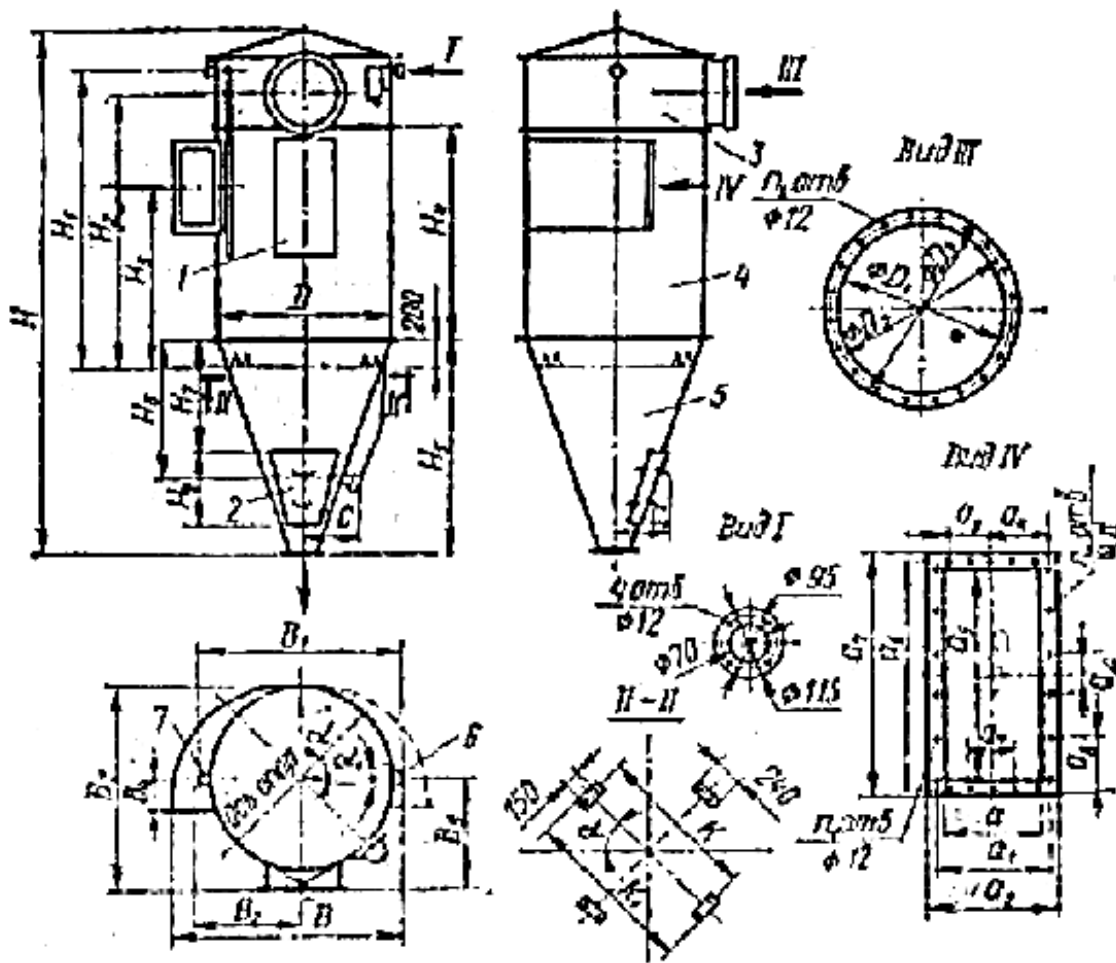
При этом сопротивление фильтра в период встряхивания также увеличивается. Поэтому при проектировании лучше применять фильтры с большим числом рукавов (не менее трех).

По действительной нагрузке на ткань  $Q'_y$  определяют сопротивление фильтра, используя формулу

$$H_\phi = B Q_y'^n, \text{ Па}, \quad (7)$$

где  $B$  и  $n$  - опытные коэффициенты, зависящие от вида пыли и состояния ткани, а также от вида и концентрации пыли; для сукна № 2 на зерновой пыли принимают  $B = 1,3$  и  $n = 1,27$ , на мучной пыли  $B = 1,5$  и  $n = 1,2$ .

$$H_\phi = 1,5 \cdot (351,7)^{1,2} = 1704 \text{ Па}$$



1-дверь; 2 -люк; 3 – камера чистого воздуха; 4 -корпус; 5 –днище; 6 –  
левое исполнение; 7-правое исполнение

Рисунок 3 – Фильтр-циклон типа РЦИ

## 2.4 Подбор диаметров воздухопроводов

При проектировании трассы воздухопроводы проводят по кратчайшему пути с наименьшим количеством отводов, параллельно и перпендикулярно стенам и балкам избегая косых и длинных воздухопроводов.

При вычерчивании воздухопроводов их диаметры  $D$  (мм) рассчитывают предварительно по формуле

$$D = 19 \sqrt{\frac{Q_i}{v}}, \text{ мм}, \quad (8)$$

где  $Q_i$  – расход воздуха (м<sup>3</sup>/час) находят сложением расходов аспирируемых машин, объединенных тройниками;

$v$  – скорость движения воздуха (м/с); на первом участке принимаем скорость воздуха надежно транспортную  $v_1 = 12$  м/с.

*Например*, диаметр воздухопроводов на первом участке аспирационной сети (расчет проведем для сети приведенной в примере) будет равен

$$D = 19 \sqrt{\frac{400}{12}} = 109,69 \text{ мм}$$

Принимаем наиболее близкий стандартный диаметр 110 мм.

На втором участке увеличиваем скорость воздуха до  $v_2 = 13$  м/с и диаметр воздухопровода будет равен

$$D = 19 \sqrt{\frac{800}{13}} = 149,04 \text{ мм}$$

Принимаем для второго участка наиболее близкий стандартный диаметр 160 мм

Рассчитаем диаметр для третьего участка, скорость на третьем участке примем  $v_3=14$  м/с

$$D = 19 \sqrt{\frac{1200}{14}} = 175,90 \text{ мм}$$

Принимаем для третьего участка наиболее близкий стандартный диаметр 180 мм

Для четвертого участка на входе в фильтр или фильтр–циклон принимаем входную скорость 14-15 м/с. Для нашего примера  $v_{вх} = v_4=14,14$  м/с, тогда диаметр воздухопровода будет равен

$$D = 19 \sqrt{\frac{1600}{14,14}} = 202,11$$

Принимаем для четвертого участка наиболее близкий стандартный диаметр 200 мм



### 3 Задание на самостоятельное выполнение контрольной работы

Таблица 1 – Комбикормовый завод

Вариант №	Оборудование	Расход воздуха от одной точки отсоса (единицы), м <sup>3</sup> /час	Марка циклона
1	Бункер	480	РЦИ
2	Скребковый конвейер ЦТ-12	250	РЦИ
3	Скребковый конвейер ЦТ-25	280	РЦИ
4	Скребковый конвейер ТСЦ-50	300	РЦИ
5	Скребковый конвейер ТСЦ-100	420	РЦИ
6	Смеситель А9-СКГ	300	РЦИ
7	Весовой дозатор	1080	РЦИ
8	Просеивающая машина	400	РЦИ
9	Магнитная колонка БКМ	180	РЦИ
10	Молотковая дробилка ДДР	1200	РЦИ

Таблица 2 – Мелькомбинат

Вариант №	Оборудование	Расход воздуха от одной точки отсоса (единицы), м <sup>3</sup> /час	Марка циклона
1	Вальцевый станок А1-БЗН (сверху аспирация)		РЦИ
2	Вальцевый станок А1-БЗН (аспирация снизу)		РЦИ
3	Рассев ЗРШ-4М	960	РЦИ
4	Магнитный сепаратор У1-БМП	180	РЦИ
5	Автомат для фасовки муки Т1-БРА	500	РЦИ
6	Фасовочный аппарат (в зоне встряхивания)	480	РЦИ
7	Смеситель А9-БСГ	300	РЦИ
8	Бункера для муки и отрубей	240	РЦИ
9	Бункера для готовой продукции	340	РЦИ
10	Установка А1-БПК	600	РЦИ

## Список использованных источников

1 Вальдберг, А.Ю. Технология пылеулавливания / А. Ю. Вальдберг, Л.М. Исянов, Э.Я. Тарат. - Л.: Машиностроение: Ленингр. отд-ние, 1985. - 192 с.

2 Вайсман, М.Р. Вентиляционные и пневмотранспортные установки [Текст] : учеб. для сред. спец. заведений / М.Р. Вайсман, И.Я. Грубиян.- 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Колос, 1984. - 368 с.

3 Веселов, С.А. Проектирование вентиляционных установок предприятий по хранению и переработке зерна. / С.А. Веселов - Москва: Колос, 1974. - 288 с.

4 Веселов, С.А. Практикум по вентиляционным установкам / С.А. Веселов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Колос, 1982. - 255 с.

5 Справочник по аспирационным и пневмотранспортным установкам / Н. П. Володин, М. Г. Касторных, А. И. Кривошеин. - М. : Колос, 1984. - 288 с.

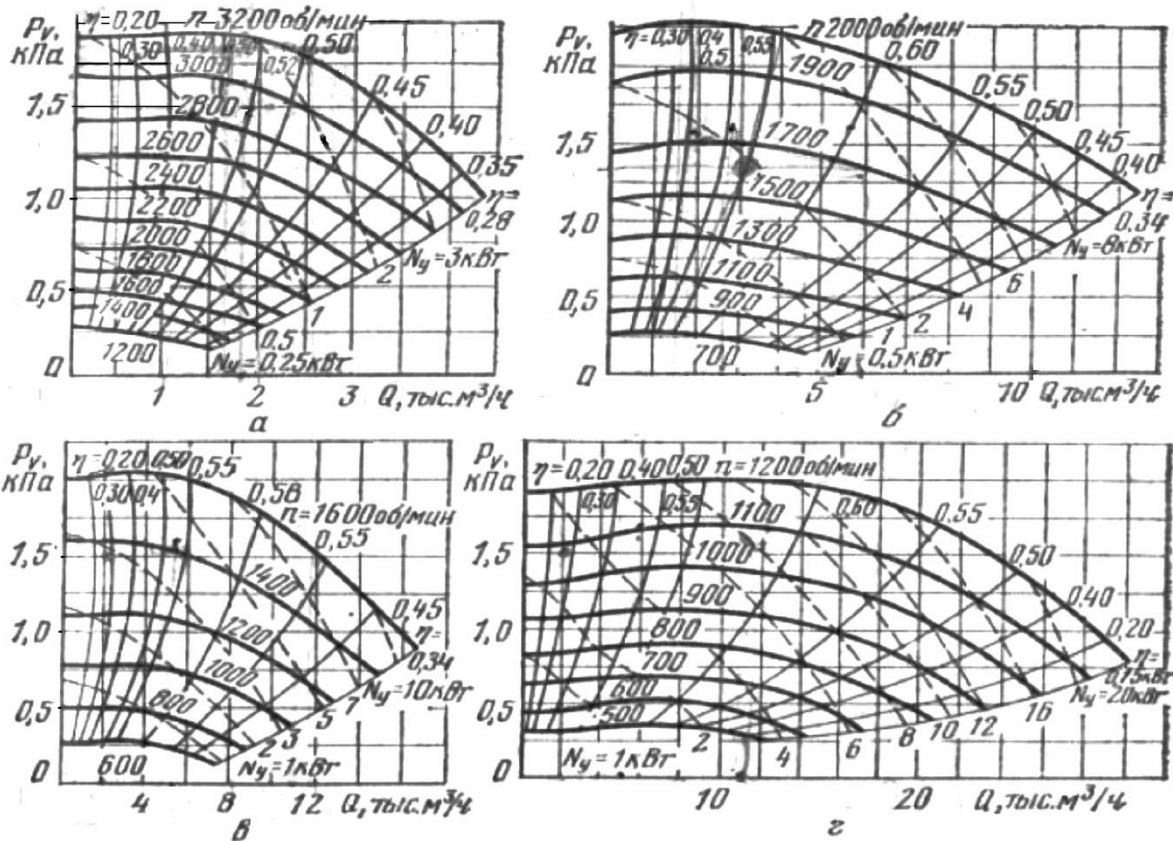
# Приложение А

(справочное)

## Характеристики вентиляторов

Таблица А.1 – Типоразмеры фильтра-циклона РЦИ

Типоразмер	Фильтрующая поверхность, м <sup>3</sup>	Число рукавов
РЦИ -1,7-4	1,7	4
-5,2-8	5,2	8
-6,9-16	6,9	16
-10,4-16	10,4	16
-15,6-24	15,6	24 </td
-23,4-36	23,4	36
-31,2-48	31,2	48
-40,8-48	40,8	48
-40,6-72	46,8	72



а - ВЦП-3; б - ВЦП-5; в - ВЦП-8; г - ВЦП-16

Рисунок А.1 – Аэродинамические характеристики вентилятора типа ВЦП