

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»  
Кафедра технологии пищевых производств

Е.В. Волошин

# РАСЧЕТ И КОМПОНОВКА ПНЕВМОТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК

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 19.03.02 Продукты питания из растительного сырья

Оренбург  
2019

УДК 664.72 (075.8)  
ББК 36.821 я 73  
В 68

Рецензент – кандидат технических наук, доцент С.В. Антимонов

**Волошин, Е.В.**  
В 68 Расчет и компоновка пневмотранспортных установок: методические указания / Е.В. Волошин; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019 – 61 с.

Методические указания предназначены для проведения лабораторных работ по дисциплине «Современные транспортные системы» очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 19.03.02 Продукты питания из растительного сырья по общему профилю подготовки.

УДК 664.72 (075.8)  
ББК 36.821 я 73

© Волошин Е.В., 2019  
© ОГУ, 2019

## Содержание

Введение .....	4
1 Лабораторная работа №1 Всасывающие пневмотранспортные установки....	5
1.1 Режимы пневматического транспортирования .....	1
1.2 Устройство пневмотранспортных установок .....	7
1.3 Основные положения по расчету всасывающих пневмотранспортных установок .....	11
1.4 Определение числа внутрицеховых пневмотранспортных установок .....	14
1.5 Группировка пневмотранспортеров .....	17
1.6 Выбор надежной транспортирующей скорости воздуха.....	17
1.7 Подбор пылеотделителя. Определение потерь давления в пылеотделителях.....	29
1.8 Подбор воздуходувной машины .....	32
1.9 Задание.....	32
2 Лабораторная работа №2 Нагнетающие пневмотранспортные установки ..	33
2.1 Классификация пневмотранспортных установок .....	17
2.2 Устройство пневмотранспортных установок .....	34
2.3 Устройство пневмотранспортных установок мукомольных заводов на комплектном оборудовании .....	38
2.4 Расчет нагнетающих пневмотранспортных установок, работающих при высоких концентрациях транспортируемого материала в аэросмеси .....	42
2.5 Задание.....	52
3 Лабораторная работа №3 Компоновка и расчет аэрозольтранспортной установки.....	54
3.1 Общие сведения .....	54
3.2 Расчёт аэрозольтранспортной установки для муки .....	56
Список использованных источников.....	61

## Введение

Пневматический транспорт сыпучих материалов распространен во многих отраслях промышленного производства. С его помощью перемещают без перегрузки всевозможные сыпучие материалы по сложным трассам, состоящим из вертикальных, горизонтальных и наклонных участков. Транспортирование происходит в трубах небольшого диаметра, которые нетрудно разместить даже в стесненных условиях действующего производства.

Материал находится в трубах - материалопроводах, в условиях герметичности, благодаря чему исключаются его потери и выделение в воздух пыли и других веществ. Отсутствие движущихся частей делает материалопровод надежным в эксплуатации и облегчает обслуживание.

Интенсивное обтекание частиц материала потоком воздуха снижает температуру и влажность промежуточных продуктов размола, что способствует улучшению их сыпучести и севкости. Кроме того, в меньшей степени происходит конденсация влаги на внутренних поверхностях вальцовых станков, труб самотеков, ситах рассевов и связанная с ней клейстеризация мучнистых продуктов. Сокращается число очагов развития микрофлоры и вредителей хлебных запасов.

Капитальные затраты на сооружение пневмотранспортных установок меньше затрат на механические транспортные средства, особенно при большой протяженности линий транспортирования. Расходы на текущий и капитальный ремонт установок пневмотранспорта также меньше, и при этом межремонтный период намного большей.

Не представляет трудности автоблокировка, дистанционное управление машинами и механизмами установок пневматического транспорта, а также их автоматизация.

# 1 Лабораторная работа №1 Всасывающие пневмотранспортные установки

**Цель работы:** изучение конструкций всасывающих пневмотранспортных установок, приобретение практических навыков их расчета.

## 1.1 Режимы пневматического транспортирования

Пневмотранспортирование сыпучих материалов представляет собой процесс, который в значительной степени зависит от концентрации частиц транспортируемого материала в аэросмеси.

Существуют массовая и объемная концентрации, а также действительная массовая концентрация.

Под массовой концентрацией подразумевают отношение массового расхода материала к массовому расходу воздуха, поступающих в установку в единицу времени. Эту величину обычно обозначают через  $\mu$ , (кг/кг) и определяют по формуле

$$\mu = \frac{G_M}{G_B}, \quad (1.1)$$

где  $G_M$  - производительность установки, кг/ч;

$G_B$  - расход воздуха, кг/ч.

Действительная массовая концентрация представляет собой отношение массового количества материала к массовому количеству воздуха, которые в процессе транспортирования находятся в некотором ограниченном участке материалопровода.

Величина  $\mu$ , отличается от действительной массовой концентрации  $\mu_d$ . Различие обусловлено тем, что частицы материала и воздух движутся с различными скоростями, причем по длине материалопровода происходит изменение скорости воздушного потока (в связи с изменением давления и объема воздуха), скорости частиц материала и действительной массовой концентрации.

Таким образом, массовая концентрация  $\mu$  - величина постоянная, а действительная  $\mu_d$  - переменная, зависящая от скорости воздушного потока и скорости частиц материала на данном участке материалопровода. Действительная массовая концентрация является одной из основных величин, определяющих потери давления в материалопроводе. Однако введение этой переменной величины в соответствующие формулы вызывает затруднения в расчетах. Поэтому во многих случаях в эмпирические формулы для

определения потерь давления в материалопроводах вместо  $\mu_d$  вводят значения  $\mu$ . Между указанными показателями существует зависимость следующего вида:

$$\mu_d = \mu \frac{V_B}{V_M}, \quad (1.2)$$

где  $V_B$  - средняя скорость воздушного потока на некотором участке материалопровода, м/с;

$V_M$  - средняя скорость частиц материала на том же участке материалопровода, м/с.

Объемная концентрация представляет собой отношение объема частиц транспортируемого материала к объему воздуха, поступающего в материалопровод в единицу времени.

Употребляются также термины «низкая концентрация» и «высокая концентрация». Понятие «высокая концентрация» или «низкая концентрация» не имеют пока общепринятого значения. Величина массовых концентраций  $\mu$ , при которых работают пневмотранспортные установки, колеблется в пределах от 0,2-0,5 до 100 кг/кг и более.

Концентрация менее чем 10 кг/кг наиболее часто встречается в практике. Если при этом протяженность материалопровода не превышает 30 м, тогда потери давления в пневмотранспортной установке равны 15 кПа, и, следовательно, в качестве воздуходувной машины можно применить вентилятор высокого давления.

Пневмотранспортные установки, работающие при концентрациях более чем 10 кг/кг, оснащают турбовоздуходувками, ротационными воздуходувками или компрессорами. Для этих установок характерны малые диаметры материалопроводов, сравнительно небольшие расходы воздуха, простой способ разделения аэросмеси, а в некоторых случаях такие установки отличаются меньшим удельным расходом электроэнергии на единицу транспортируемого материала. Перечисленные особенности позволяют условно считать концентрацию менее чем 10 кг/кг «низкой» и более чем 10 кг/кг «высокой». Таким образом, величина 10 кг/кг является нижним пределом высокой концентрации.

Существует и верхний предел высокой концентрации. Он достигается при определенных условиях и характеризуется отношением объема твердых частиц ко всему объему аэросмеси, показывающему, какую часть объема составляет твердая фаза (удельное объемное содержание).

Удельное объемное содержание твердых частиц в аэросмеси не может быть больше, чем удельное объемное содержание тех же твердых частиц в насыпи. Следовательно, верхним пределом массовой концентрации теоретически является концентрация, полученная, если удельное объемное содержание твердых частиц в аэросмеси близко к удельному содержанию твердых частиц в насыпи. Максимальное значение составляет 90-95 % от величины удельного содержания твердых частиц в насыпи. Это наблюдается в

пневмотранспортных установках с камерными питателями, причем лишь в начале материалопровода.

Существует несколько режимов пневмотранспорта при высокой концентрации аэросмеси: транспорт во взвешенном состоянии с подстилающим слоем в горизонтальных материалопроводах, перемещение в поршневом режиме, транспорт сплошным потоком.

Пневматический транспорт при высоких концентрациях в режиме взвешенного состояния частиц с подстилающим слоем благодаря возможности получения относительно большой производительности и невысокому расходу воздуха, а также простоте устройства получил широкое применение на предприятиях. Его используют как для внутрицехового, так и межцехового перемещения муки, отрубей, рассыпных комбикормов и их компонентов.

Пневматический транспорт при низких концентрациях материала (транспорт с летящими частицами) характеризуется высокими скоростями воздуха (18-25 м/с и более), значительно превышающими величины скорости витания частиц транспортируемого материала.

## **1.2 Устройство пневмотранспортных установок**

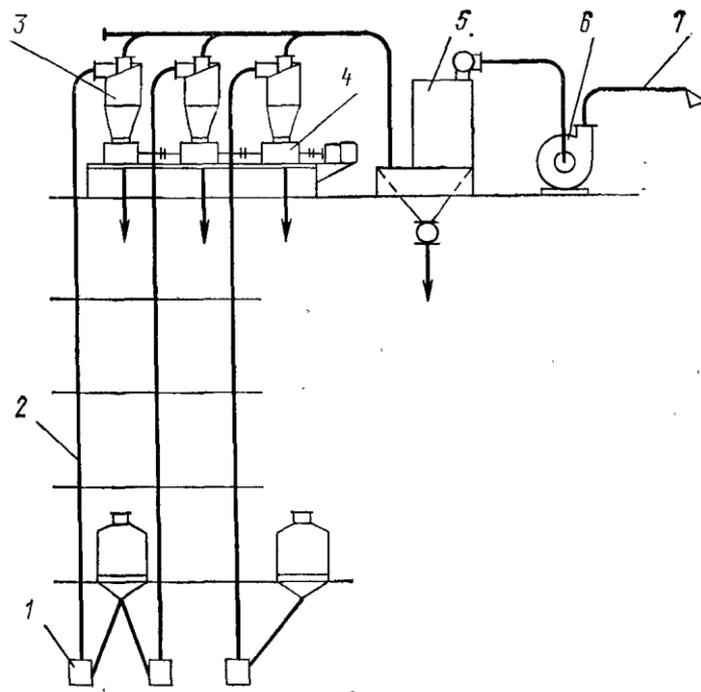
### **1.2.1 Всасывающая разветвленная пневмотранспортная установка**

Работает при низких концентрациях аэросмеси. Транспортирующий воздух всасывается в приемное устройство 1 (рисунок 1.1), в которое также поступает поток сыпучего материала из-под вальцовых станков, дробилок, рассевов или самотечных труб. В приемниках частицы материала смешиваются с потоком воздуха и затем перемещаются им по материалопроводам 2 в отделители 3 центробежного типа (циклоны). Здесь происходит отделение основной массы сыпучего материала от транспортирующего воздуха. Очистку от мелких и легких частиц транспортирующий воздух проходит в рукавном тканевом фильтре 5. Затем, пройдя через воздуходувную машину 6, воздух удаляется в атмосферу по воздуховоду 7.

Все элементы пневмотранспортной установки, расположенные по направлению движения воздуха после отделителей, соединены между собой воздухопроводами.

Герметизирующие устройства - шлюзовые затворы 4 барабанного типа - выводят материал из отделителей.

Разветвленная пневмотранспортная установка всасывающего типа включает от 2 до 70 материалопроводов диаметром от 50 до 150 мм.



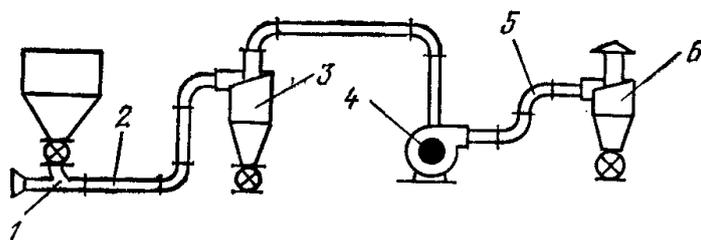
1 - приемник; 2 - материалопровод; 3 - отделитель; 4 - шлюзовой затвор; 5 - фильтр; 6 - воздуходувная машина; 7 - воздуховод.

Рисунок 1.1 - Всасывающая разветвленная пневмоустановка

### 1.2.2 Всасывающая однотрубная пневмотранспортная установка

Установка этого вида работает при низких концентрациях аэросмеси. Используют её для межцехового перемещения отрубей, отходов и зерновой пыли, осажденной циклонами.

Такая установка состоит из загрузочного устройства 1 (рисунок 1.2), материалопровода 2, отделителя 3, пылеотделителя 6, системы воздуховодов 5 и центробежного вентилятора 4.



1 - загрузочное устройство; 2 - материалопровод; 3 - отделитель; 4 - вентилятор; 5 - воздуховод; 6 - пылеотделитель.

Рисунок 1.2 - Всасывающая однотрубная пневмоустановка

Приемными устройствами обычно служат приемники типа «тройник». Материал в приемники подается шлюзовыми затворами, винтовыми,

скребковыми и другими дозаторами.

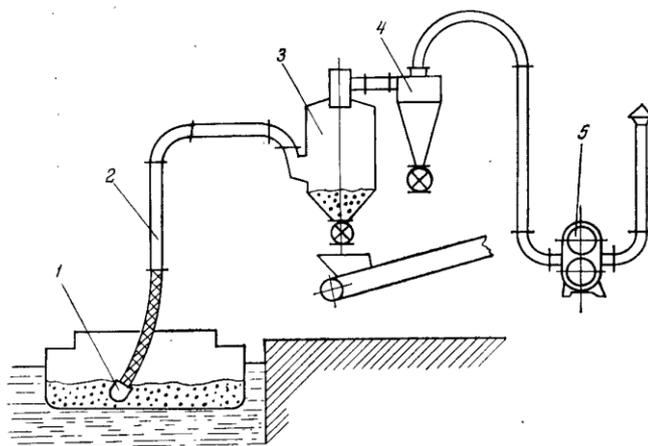
### 1.2.3 Пневмотранспортная установка для выгрузки зерна из судов, железнодорожных вагонов и забора его из открытой насыпи

Для указанных целей применяют установку всасывающего типа (рисунок 1.3) с ротационной воздуходувной машиной 5 большой производительности или многоступенчатой турбовоздуходувкой.

Начальный участок материалопровода представляет собой гибкий рукав 2, что позволяет перемещать приемное сопло 1 в различные точки судна, вагона или насыпи.

Отделение всего транспортируемого материала происходит в разгрузителе 3, а очистка воздуха от пыли в центробежном пылеотделителе 4.

Режим работы установки характеризуется высокой скоростью воздуха в материалопроводе, относительно большой производительностью и высокой концентрацией аэросмеси. Такая пневмотранспортная установка отличается повышенной по сравнению с механическими средствами выгрузки энергоемкостью, но она на много компактнее, маневреннее, исключает пылевыведение и проста в управлении.



1 - сопло; 2 - гибкий рукав; 3 - разгрузитель; 4 - пылеотделитель;  
5 - воздуходувная машина.

Рисунок 1.3 - Пневмоустановка для выгрузки зерна из судов, вагонов

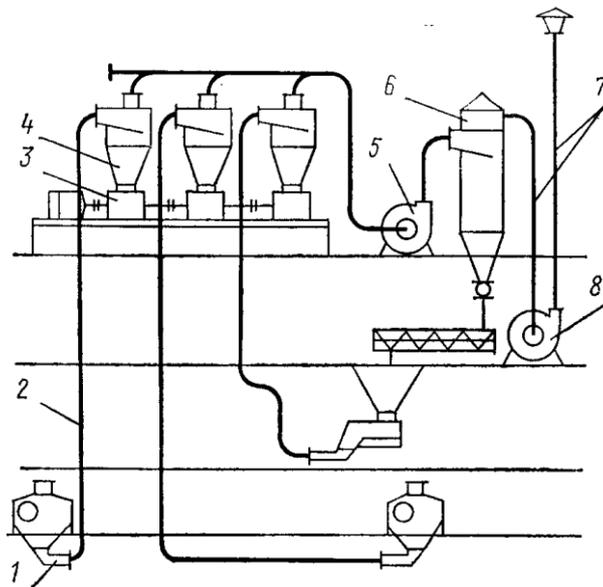
Размещают установку на морских и речных причалах, на площадках для разгрузки железнодорожных вагонов. Она может быть как стационарной, так и передвижной. Оборудование передвижной установки монтируют на колесной платформе, что позволяет приближать ее к разгружаемому объекту.

#### 1.2.4 Всасывающая разветвленная пневмотранспортная установка на комплектном оборудовании

Размольное отделение мукомольного завода на комплектном оборудовании состоит из двух секций производительностью по 250 т/сут. В каждой секции продукты размола перемещаются двумя всасывающими разветвленными установками (рисунок 1.4). Первая установка включает 24 материалопровода, диаметры нижних участков от 45 до 100 мм, а вторая - 18 материалопроводов, диаметры нижних участков от 45 до 120 мм.

Основное отличие этих пневмотранспортных установок от установок аналогичного назначения обычных мукомольных заводов состоит в следующем.

Начальные участки материалопроводов расположены горизонтально, причем длина некоторых из них более 20 м. Приемники выполнены в виде отвода, сужающегося в направлении потока аэросмеси. В нижней части отвода имеются отверстия небольшого диаметра для регулирования притока воздуха в материалопровод. Транспортируемый материал поступает в верхнюю часть приемника, а воздух засасывается частично из машины вместе с материалом, а также через отверстия в приемнике. Соединения участков материалопроводов выполнены не на фланцах, а на резиновых муфтах, обжатых металлическими хомутами с затяжными винтами. Обжимные хомуты не устанавливаются на стеклянных вставках. Материалопроводы состоят из двух участков различного диаметра: нижнего - меньшего диаметра и верхнего - большего диаметра.



1 - приемник У2-БПО; 2 - материалопровод переменного сечения; 3 - шлюзовой затвор РЗ-БШМ; 4 - разгрузитель У2-БЦР; 5 - вентилятор высокого давления ВПЗ-9,6/1200; 6 - фильтр РЦИ-31,2-48; 7 - воздухопроводы; 8 - вентилятор среднего давления.

Рисунок 1.4 - Схема всасывающей пневмоустановки мукомольного завода на комплектном оборудовании

Отделителями служат циклоны диаметром от 160 до 450 мм, высотой 800 мм. На выходных патрубках разгрузителей установлены дроссельные заслонки из трех или четырех поворотных пластин.

Выходные патрубки отделителей объединены коллектором, который через переходной участок воздуховода соединен с всасывающим отверстием вентилятора высокого давления. В переходном участке воздуховода перед вентилятором установлена поворотная заслонка с мембранным приводом. Заслонка предохраняет электродвигатель от перегрузки при запуске.

Пройдя через рабочее колесо, воздух с мелкими частицами материала направляется в рукавный тканевый фильтр. Рукава фильтра изготовлены из синтетического фетра. Для их очистки в каждый рукав подают импульсы сжатого воздуха с давлением 40-45 кПа. Из фильтра очищенный воздух отсасывается вентилятором среднего давления и удаляется в атмосферу.

Особенности рассматриваемой пневмотранспортной установки: применение материалопроводов малого диаметра; высокие скорости воздушного потока в материалопроводах (23-38 м/с); глубокое дросселирование воздушного потока при помощи дроссельных вставок на выпускных патрубках разгрузителей (вплоть до предельного разрежения, создаваемого вентилятором высокого давления - 12 кПа); работа фильтра при давлении, близком к атмосферному, и с высокой удельной нагрузкой на ткань -  $6-8 \text{ м}^3/(\text{мин} \cdot \text{м}^2)$ .

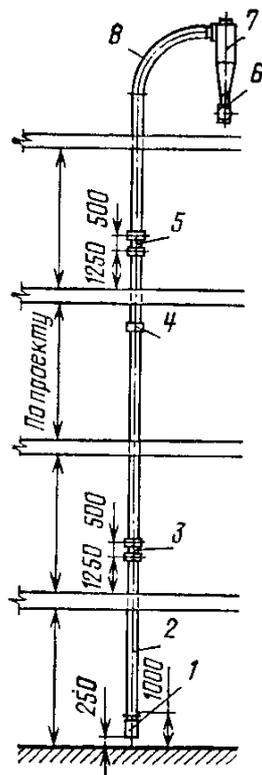
Ввиду того что через вентилятор высокого давления протекает запыленный воздух, его рабочее колесо в целях взрывобезопасности изготовлено из металлов, не вызывающих искрообразования при соударении с твердыми предметами.

### **1.3 Основные положения по расчету всасывающих пневмотранспортных установок**

Всасывающая разветвленная внутрицеховая пневмотранспортная установка мукомольного завода состоит из ряда параллельно включенных в сеть пневмотранспортеров; одного или нескольких коллекторов, объединяющих группы пневмотранспортеров; пылеотделителей для очистки отработавшего воздуха; воздухопроводов, соединяющих между собой коллекторы, пылеотделители и воздухоудвную машину, а также последнюю с атмосферой. Пневмотранспортер (рисунок 1.5) состоит из приемного устройства 1, материалопровода 2, разгрузителя 7, а также смотровых вставок 3 и 5, соединительных муфт 4, отвода 8, шлюзового затвора 6.

К проектированию внутрицеховых пневмотранспортных установок приступают после выполнения следующих работ:

- составления технологической схемы и количественного баланса процесса переработки зерна в муку;



1 - приемное устройство; 2 - материалопровод; 3, 5- смотровые вставки; 4 - муфта; 6 - шлюзовой затвор; 7 - разгрузитель; 8 - отвод.

Рисунок 1.5 - Схема пневмотранспортера

- размещения технологического оборудования на планах и разрезах здания;

- проектирования коммуникаций движения продуктов.

Пользуясь коммуникациями движения продуктов, определяют необходимое число пневматических транспортеров. Производительность каждого из них устанавливают на основе количественного баланса технологического процесса.

В процессе проектирования внутрицеховых пневмотранспортных установок необходимо стремиться к следующему:

- минимальному числу пневматических транспортеров;
- наименьшей их протяженности и наименьшему числу фасонных деталей в них;
- рациональному размещению технологического оборудования, позволяющему использовать преимущества пневматического транспорта для увеличения производительности предприятия;
- улучшению условий труда и санитарного состояния в цехах;
- максимальному использованию одних и тех же объемов воздуха для обеспыливания оборудования и пневматического транспорта.

Пневмотранспортные установки проектируют с учетом действующих правил по технике безопасности, производственной санитарии и противопожарных норм.

На мукомольных заводах, оборудованных внутрицеховым пневмотранспортом, следует применять специальное технологическое оборудование: обоечные машины для обработки зерна и вальцовые станки. Эти машины имеют встроенные приемники. Их можно разместить на первом этаже производственного корпуса, тем самым уменьшить на один этаж высоту завода.

Диаметры приемников вальцовых станков указывают при заказе станков.

Для вертикальных пневмотранспортеров при перемещении зерна применяют приемники конструкции НТО, при перемещении продуктов размола зерна приемники типа «сопло». Для горизонтальных пневмотранспортеров используют приемники типа «тройник».

В качестве материалопроводов используют газоводопроводные, электросварные и бесшовные стальные трубы с толщиной стенки не менее 4 мм для зерна и не менее 2,5 мм для продуктов его переработки. Бесшовные трубы характеризуются несколько меньшим аэродинамическим сопротивлением.

Отводы материалопроводов изготавливают из бесшовных труб радиусом 1-2 м.

Для разделения аэросмеси в подготовительном отделении используют пневматические сепараторы (при транспортировании зерна из обоечных и щеточных машин) и центробежные разгрузители-циклоны, в размольных отделениях - центробежные разгрузители, а также пневмобичевые машины.

В каждом пневмотранспортере предусматривают устройство для измерения и регулирования расходов воздуха. Для этого разгрузители снабжают улитками. Регулирующее устройство монтируют на прямом участке между улиткой и коллектором.

Отработавший воздух от пыли очищается во всасывающих тканевых фильтрах.

В качестве воздуходувных машин используют турбовоздуходувки и вентиляторы высокого давления. Предпочтение отдают машинам с большим КПД.

Коллекторы и воздуховоды изготавливают из листовой стали толщиной 1,2-1,5 мм в зависимости от диаметра и величины разрежения воздуха.

В размольных отделениях мукомольных заводов пневмотранспортеры располагают у стен вдоль здания и группируют между окнами. Разгрузители размещают на станинах продольными рядами, группами, не более чем по шесть в каждой. Транспортируемые продукты выводят шлюзовыми затворами, установленными под каждым разгрузителем. Привод шлюзовых затворов осуществляется группами от электродвигателя через редуктор. В группы шлюзовые затворы соединяют эластичными муфтами.

Разгрузители устанавливают таким образом, чтобы фланцы выхлопных труб находились на одном уровне - на отметке разгрузителя наибольшей высоты. Недостаточную высоту остальных разгрузителей компенсируют цилиндрическими патрубками, которые устанавливают между разгрузителем и

шлюзовым затвором.

Воздуходувные машины желательно располагать около пылеотделителей в отдельном звукоизолированном помещении. Рекомендуется их размещать на виброизолирующих основаниях (бесфундаментных). Выхлопные воздуховоды следует выводить выше конька крыши на 1-1,5 м и оборудовать дефлекторами.

Пневмотранспортные установки соединяют с системой управления и автоблокировки предприятия.

#### 1.4 Определение числа внутрицеховых пневмотранспортных установок

Объем воздуха, необходимый для транспортировки заданного количества материала, с учетом подсосов и величина потерь давления в пневмотранспортной установке должны соответствовать производительности и величине давления, развиваемого выбранной воздуходувной машиной (таблица 1.1).

Для мукомольного завода одной и той же производительности можно запроектировать разное число пневмотранспортных установок. Оно зависит от параметров работы воздуходувной машины.

При выборе воздуходувной машины предпочтение следует отдавать машинам с большей производительностью. В этом случае изменения и нарушения режима технологического процесса меньше отражаются на работе пневмотранспортеров, объединенных в одну установку, эффективнее используются возможности воздуходувных машин.

Таблица 1.1 - Параметры работы некоторых воздуходувных машин при максимальном КПД

Марка воздуходувной машины	Производительность, м <sup>3</sup> /с	Развиваемое давление, кПа	Максимальный КПД
Нагнетатель 50-21-1	0,83	11,0	0,78
ТВ-42-1,4	0,97	40,0	0,78
ТВ-80-1,2	1,3	20,0	0,75
ТВ-100-1,12	1,7	12,5	0,78
ТВ-150-1,12	2,5	13,5	0,78
ТВ-200-1,12	3,3	14,5	0,78
ТВ-250-1,12	4,2	12,5	0,78
ТВ-350-1,06	5,8	6,5	0,76
ЦВ-18 № 8 -	2,7	12,0	0,65
ЦВ-18 № 9	2,3	10,0	0,64

Для размольных отделений мукомольных заводов небольшой и средней

производительности можно считать удачным вариант, при котором все пневмотранспортеры обслуживаются одной или двумя воздуходувными машинами одинаковой производительности. Если в размольном отделении завода существуют параллельные секции, целесообразно для каждой из них проектировать отдельную пневмотранспортную установку. Это обеспечивает удобства в эксплуатации.

В подготовительном отделении мукомольных заводов самостоятельные пневмотранспортные установки обслуживают отдельные этапы подготовки зерна к помолу, например до и после бункеров для отволаживания зерна.

Число пневмотранспортных установок  $n_y$  для подготовительного и размольного отделений мукомольного завода можно определить из выражения

$$n_y = \frac{1,25 Q_{\text{пред}}}{Q_{\text{в.м}}}, \quad (1.3)$$

где  $Q_{\text{пред}}$  - предварительный расход воздуха во всех пневмотранспортерах данного цеха, м<sup>3</sup>/с;

$Q_{\text{в.м}}$  - производительность выбранной воздуходувной машины, м<sup>3</sup>/с;

1,25 - коэффициент, учитывающий подсосы воздуха во всех частях пневмотранспортной установки.

Для предварительного определения расхода воздуха во всех запроектированных пневмотранспортерах составляют таблицу 1.2.

Таблица 1.2 - Предварительное определение расхода воздуха в пневмотранспортерах

№ пневмотранспортера	Наименование машины, из которой поступает транспортируемый материал	Количество транспортируемого материала, кг/с		Массовая концентрация материала в аэросмеси $\mu_{\text{пред}}$	Расход воздуха $Q_{\text{пред}}$ м <sup>3</sup> /с
		по балансу $G_{\text{бал}}$	расчетное $G_{\text{расч}}$		

Графы 1 и 2 заполняют согласно ведомости коммуникации движения продукта. Производительность каждого пневмотранспортера  $G_{\text{бал}}$  определяют на основе количественного баланса технологического процесса и заносят в графу 3 таблицы 1.2.

Расчетную производительность  $G_{\text{расч}}$ , кг/с каждого пневмотранспортера определяют по формуле

$$G_{\text{расч}} = aG_{\text{бал}}, \quad (1.4)$$

где  $a$  - коэффициент запаса.

Для зерноочистительного отделения коэффициент запаса следует

принимать равным 1,2, а для размольного - 1,15. Значения  $G_{расч}$  вносят в графу 4.

Величину концентрации аэросмеси  $\mu_{пред}$  определяют по таблице 1.3 и вносят в графу 5 таблицы 1.2.

Таблица 1.3 - Рекомендуемые значения концентрации материала в аэросмеси

Транспортируемый материал	Протяженность материалопровода каждого пневмотранспортера, м		
	15-20	21-25	26-30
Зерно	4,2	3,8	3,5
Продукты размола зерна: грубые	4,5	4,2	3,8
мягкие	5,0	4,5	4,2
Примечание: К грубым относят продукты I, II, III, IV драных, 1-й и 2-й шлифовочных; 1-й, 2-й и 3-й размольных систем; крупную крупку при сортовых помолах, а также продукты I и II драных систем при обойных помолах. Все остальные продукты размола считают мягкими, включая отруби и муку.			

Расход воздуха в пневмотранспортерах может быть предварительно определен из зависимости

$$Q_{пред} = G_{расч} \frac{1}{1,2\mu_{пред}}, \quad (1.5)$$

Предварительное значение расхода воздуха  $Q_{пред}$  заносят в графу 6 таблицы 1.2.

Воздух, поступающий в пневмотранспортер из оборудования мукомольного завода, служит также для обеспыливания и охлаждения этого оборудования. Следовательно, расход воздуха, необходимый для транспортирования материала, должен быть равным сумме расхода воздуха для обеспыливания и для выполнения технологических функций.

Если расход воздуха для транспортирования материала намного больше, чем требуется для обеспыливания и выполнения технологических функций, тогда недостающая часть воздуха поступает из помещения в виде подсоса через специальные отверстия в самотеке или приемнике. Соответствующее регулирование расхода воздуха выполняют при наладке работы установки.

Если же расход воздуха для транспортировки материала намного меньше, чем требуется для обеспыливания и выполнения технологических функций, исходным для расчета пневмотранспортера становится не принятая величина массовой концентрации материала в аэросмеси  $\mu_{пред}$ , а расход воздуха  $Q_{пред}$ , который определяют по нормам для аспирации соответствующего оборудования. По известным величинам  $Q_{пред}$  и  $G_{расч}$  находят  $\mu_{пред}$ . Суммируя значения графы 6 (таблица 1.2), определяют предварительно расход воздуха  $Q_{пред}$  во всех пневмотранспортерах и

рассчитывают число пневмотранспортных установок. Значение  $n_y$  округляют до ближайшего большего целого числа.

Определив число воздуходувных машин, а следовательно, и число установок, проводят группировку пневмотранспортеров.

### **1.5 Группировка пневмотранспортеров**

Компонуют пневмотранспортеры в группы по принципу примерно одинакового расхода воздуха, а по технологическому показателю - по качеству транспортируемого продукта. Это обеспечит рациональное использование пыли, осаждаемой в пылеотделителях.

В одну группу целесообразно включить близко расположенные пневмотранспортеры. Это обеспечит минимальную протяженность соединительных воздухопроводов и сборных коллекторов.

На первом этапе проектирования на планах и разрезах производственного здания располагают пневмотранспортеры и рассчитывают их, затем выбирают пылеотделитель и размещают его на чертежах, на которые наносят также воздуходувную машину, выбранную ранее. Далее проводят трассу воздухопроводов и проводят их расчет.

### **1.6 Выбор надежной транспортирующей скорости воздуха**

Основным параметром пневматического транспортирования, обуславливающего устойчивую работу всей пневмоустановки, а также ее энергоемкость, является надежно транспортирующая скорость воздуха в материалопроводах.

Экспериментально получены следующие величины надежно транспортирующих скоростей воздуха для некоторых продуктов в вертикальных материалопроводах (м/с):

- 1) рожь и пшеница – 23-24;
- 2) зерновые отходы – 20-21;
- 3) продукты размола – 20-21;
- 4) отруби – 18-19;
- 5) мука – 18-20.

Для пневматического транспортирования в горизонтальных материалопроводах надежно транспортирующую скорость воздуха принимают на 10-15 % больше, чем для вертикальных.

Выбранное значение надежно транспортирующей скорости воздуха будет расчетной величиной  $v_{расч}$ , которую вносят в графу 5 расчетной таблицы 1.4.

Таблица 1.4 - Расчетная таблица

№ пневмотранспортера	Наименование системы	$G_{\text{бал}}$ , кг/с	$G_{\text{расч}}$ , кг/с	$v_{\text{расч}}$ , м/с	$\mu_{\text{пред}}$ , кг/кг	$\mu_{\text{расч}}$ , кг/кг	$Q_{\text{пред}}$ , м <sup>3</sup> /с	$Q_{\text{расч}}$ , м <sup>3</sup> /с	$D_{\text{пред}}$ , м	$D_{\text{расч}}$ , м	$l_{\text{в}}$ , м	$l_{\text{гор}}$ , м	$H_{\text{м}}$ , кПа	$H_{\text{пр}}$ , кПа	$H_{\text{раз}}$ , кПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Продолжение таблицы 1.4

№ пневмотранспортера	$R$ , кПа/м	$K_{\text{г.в}}$	$K_{\text{г.гор}}$	$H_{\text{тр.см.в}}$ , кПа	$H_{\text{тр.см.гор}}$ , кПа	$K_{\text{о}}$	$H_{\text{о}}$ , кПа	$H_{\text{под}}$ , кПа	Тип разгрузителя	$H_{\text{разг}}$ , кПа	$H_{\text{к.р}}$ , кПа	$H_{\text{п.т}}$ , кПа
1	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28

### 1.6.1 Располагаемое давление

Общие потери давления во всех частях пневмотранспортной установки должны быть равны давлению, развиваемому выбранной воздуходувной машиной при расчетном расходе воздуха и КПД, близком к максимальному.

Общие потери давления в пневмотранспортной установке  $H_{п.у}$  складываются из потерь давления в пневмотранспортере  $H_{п.т}$ , коллекторе  $H_{к}$ , соединительных воздуховодах  $H_{воз}$ , пылеотделителях  $H_{б.ц}$  и  $H_{ф}$ , а также резерва давления  $H_{рез}$ . Потери давления в пневмотранспортере  $H_{п.т}$  включают потери давления в машине, из которой поступает транспортируемый материал,  $H_{м}$  (в случае, когда воздух просасывается через ту же машину), материалопроводе  $H_{м.п}$ , разгрузителе  $H_{разг}$ , устройстве для измерения и регулирования расхода воздуха  $H_{к.р}$ . Потери давления в пылеотделителях состоят из потери давления в тканевом фильтре  $H_{ф}$  (при одноступенчатой очистке воздуха) или потери давления в батарейном циклоне  $H_{б.ц}$  и фильтре (при двухступенчатой очистке воздуха). Следовательно, можно записать

$$H_{п.ц} = H_{п.т} + H_{к} + H_{воз} + H_{б.у} + H_{ф} + H_{рез} . \quad (1.6)$$

Значение всех этих величин пока неизвестно. Их определяют предварительно или задаются на основе опыта.

Для предварительного определения полной потери давления в установке  $H_{п.у}$  поступают следующим образом.

По аэродинамической характеристике выбранной воздуходувной машины находят развиваемое ею давление  $H_{в.м}$ , соответствующее известной величине расхода воздуха  $Q_{в.м}$

Аэродинамические характеристики центробежных воздуходувных машин, применяемых в пневмотранспортных установках, в большинстве случаев составлены для нормальных условий на входе в машину.

Параметры воздуха, поступающего в воздуходувную машину из всасывающей пневмотранспортной установки, отличны от нормальных. Так, абсолютное давление на входе в воздуходувную машину будет меньше нормального на 10-12 кПа, поэтому величину полной потери давления в установке следует определять по формуле

$$H_{п.у} = 0,9H_{в.м} . \quad (1.7)$$

Коэффициент 0,9 учитывает разницу между фактическими условиями всасывания воздуха в воздуходувную машину и теми условиями, которые указаны в ее паспорте, с учетом которых составлена аэродинамическая характеристика машины.

Значения потерь давления можно принять на основе опыта предварительно (кПа):

$H_{к}$  - потери давления в коллекторе (одном или нескольких) – 0,5;

$H_{воз}$  - потери давления в воздуховодах, соединяющих коллекторы с пылео-

делителями, последние с воздуходувной машиной, а также нагнетающие воздуховоды от воздуходувной машины в атмосферу в зависимости от протяженности воздухопроводов – 0,5-1;

$H_{б.ц}$  - потери давления в батарейном циклоне – 1;

$H_{ф}$  - потери давления в тканевом фильтре – 0,8-1;

$H_{рез}$  - неучтенные потери и резерв – 1.

Потери давления в каждом из параллельных пневмотранспортеров  $H_{п.т}$  должны соответствовать располагаемому давлению  $H_{расп}$ , которое можно вычислить по формуле

$$H_{расп} = H_{п.т} - (H_{к} + H_{воз} + H_{б.ц} + H_{ф} + H_{рез}) . \quad (1.8)$$

### 1.6.2 Потери давления в пневмотранспортере

Определяют как сумму потерь по следующей формуле (кПа). Значения в формуле представляют потери давления (Па):

$$H_{п.т} = H_{м} + H_{п.р} + H_{раз} + H_{тр.см.в} + H_{тр.см.гор} + H_{о} + H_{под} + H_{разг} + H_{к.р} , \quad (1.9)$$

где  $H_{м}$  - в машине, из которой поступает воздух в пневмотранспортер;

$H_{п.р}$  - в пневматическом приемном устройстве;

$H_{раз}$  - на разгон;

$H_{тр.см.в}$  - от трения при транспортировании аэросмеси в прямолинейном вертикальном участке пневмотранспортера;

$H_{тр.см.гор}$  - от трения при движении аэросмеси в прямолинейном горизонтальном участке пневмотранспортера;

$H_{о}$  - в отводе;

$H_{под}$  - на подъем продукта по вертикали;

$H_{разг}$  - в разгрузителе;

$H_{к.р}$  - в устройстве для измерения и регулирования расхода воздуха.

Вычисленная величина потерь давления в пневмотранспортере должна быть равной располагаемому давлению или отличаться от него не более чем на 5 %.

### 1.6.3 Диаметр материалопровода

Предварительно его определяют из следующей зависимости (м):

$$D_{пред} = 1,13 \sqrt{\frac{Q_{пред}}{v_{расч}}} , \quad (1.10)$$

где  $Q_{пред}$  - предварительный расход воздуха в материалопроводе, м<sup>3</sup>/с;

$v_{расч}$  - расчетная скорость воздуха, м/с.

Значения  $Q_{\text{пред}}$  и  $v_{\text{расч}}$  берут из таблицы 1.4. Затем, пользуясь сортаментом выпускаемых труб, выбирают трубу с внутренним диаметром, равным или близким  $D_{\text{пред}}$ .

При выборе труб следует учитывать экономические показатели, т.е. стремиться к минимальной их стоимости.

В случае совпадения выбранного диаметра материалопровода с предварительно рассчитанным значением данные о расходе воздуха (графа 9, таблицы 1.4) и концентрации аэросмеси (графа 6) остаются неизменными.

Если внутренний диаметр  $D'_{\text{пред}}$  выбранной стальной трубы отличается от  $D_{\text{пред}}$ , уточняют расчетный расход воздуха  $Q_{\text{пред}}$ , м<sup>3</sup>/с и расчетную концентрацию  $\mu_{\text{пред}}$ , кг/кг:

$$Q'_{\text{пред}} = 0,79 D'_{\text{пред}}{}^2 \cdot v'_{\text{расч}}; \quad (1.11)$$

$$\mu'_{\text{пред}} = G_{\text{расч}} \frac{1}{1,2Q'_{\text{пред}}}.$$

Далее проводят расчет пневмотранспортера. Если в результате расчета окажется, что потери давления в пневмотранспортере  $H_{\text{п.т}}$  отличаются более чем на 5 % от располагаемого давления  $H_{\text{расп}}$  следует выбрать для материалопровода трубу большего или меньшего диаметра: большего - когда  $H_{\text{п.т}} > H_{\text{расп}}$  и меньшего - если  $H_{\text{п.т}} < H_{\text{расп}}$ , после чего повторяют расчет пневмотранспортера, добиваясь таким образом разницы  $H_{\text{п.т}}$  и  $H_{\text{расп}}$  не более чем 5 %. Окончательные результаты вносят в таблицу.

#### 1.6.4 Потери давления в машине

Величину потерь давления в машине  $H_{\text{м}}$ , кПа, из которой воздух поступает в пневмотранспортер, можно рассчитать по формуле

$$H_{\text{м}} = \varepsilon \cdot Q_{\text{м}}, \quad (1.12)$$

где  $\varepsilon$  - коэффициент сопротивления машины (таблица 1.5);  
 $Q_{\text{м}}$  - количество воздуха, отсасываемого из машины, м<sup>3</sup>/с.

Таблица 1.5 – Значения  $Q_{\text{м}}$  и  $\varepsilon$

Наименование машины	Расход воздуха $Q_{\text{м}}$ , м <sup>3</sup> /с	Коэффициент сопротивления машины, $\varepsilon$
Вальцовый станок (на 1 м длины вальцов)	0,12	15
Вымольные бичевые машины	0,12	20

Когда по пневмотранспортеру перемещается воздуха больше, чем нужно для аспирации машины согласно нормам, машина оказывает большое сопротивление. Такое явление наблюдается, например, при поступлении продукта из некоторых вальцовых станков.

На практике организуют подсос воздуха из помещения в приемник в таком количестве, чтобы сохранилось разрежение в машине и нормальные условия ее аспирации. Поэтому во всех случаях, когда по расчету  $H_m > 0,3$  кПа, его принимают равным 0,3 кПа.

Величину потери давления в машине вносят в графу 14 расчетной таблицы.

### 1.6.5 Потери давления в приемных устройствах

Определяют  $H_{пр}$ , кПа по формуле

$$H_{пр} = \frac{v_{пр}^2 \cdot \rho \cdot \xi_{пр} \cdot 10^{-3}}{2}, \quad (1.13)$$

где  $\rho$  - плотность воздуха, входящего в приемное устройство, кг/м<sup>3</sup>;

$v_{пр}$  - скорость воздушного потока на входе в материалопровод, м/с;

$\xi_{пр}$  - коэффициент сопротивления, зависящий от типа приемного устройства.

Коэффициент  $\xi_{пр}$  равен:

- вертикальный приемник конструкции ОТИ - 0,3;
- вертикальный приемник ОТИ с приспособлением для аспирации - 0,5;
- приемник конструкции ЦНИИпромзернопроект типа «сопло» - 0,7;
- приемник конструкции ВШМК типа «сопло» - 0,6;
- горизонтальный приемник типа «тройник» - 1,5;
- приемник, встроенный в вальцовый станок типа БВ - 0,7;
- приемник, встроенный в наждачную обоечную машину -  $0,5(1+\mu_{расч})$

Величину потери давления в приемном устройстве вносят в графу 15 расчетной таблицы.

### 1.6.6 Потери давления на разгон материала

Потери  $H_{раз}$  возникают в материалопроводах на участках после пневматического приемного устройства, а также после отвода, т.е. на тех участках, где изменяется скорость движения продукта.

Величину  $H_{раз}$ , кПа в начале транспортирования определяют по формулам:

$$H_{раз.г.в} = 1,12\mu_{расч} \cdot v_{расч}^2 \cdot 10^{-3}, \quad (1.14)$$

$$H_{раз.м.в} = 1,21\mu_{расч} \cdot v_{расч}^2 \cdot 10^{-3},$$

где  $H_{\text{раз.г.в}}$  и  $H_{\text{раз.м.в}}$  - потери давления на разгон после приемного устройства в вертикальном пневмотранспортере соответственно для грубых и мягких продуктов.

Величину  $H_{\text{раз}}$  вносят в графу 16 расчетной таблицы 1.4.

### 1.6.7 Потери давления при транспортировании аэросмеси

Величину  $H_{\text{тр.см}}$ , кПа рассматривают как сумму потерь давления при перемещении чистого воздуха в пневмотранспортере и потерь давления, связанных с транспортированием материала. Потери давления, связанные с транспортированием аэросмеси по вертикальным участкам материалопровода, к которым условно относят также участки с отклонением оси от вертикали не более чем на  $15^\circ$ , определяют по формуле:

$$H_{\text{тр.см.в}} = H_{\text{ч.в}}(1 + K_{\text{в}} \cdot \mu_{\text{расч}}). \quad (1.15)$$

Для горизонтальных участков, к которым условно относят также участки с отклонением оси от горизонтали не более чем на  $15^\circ$ , применяют формулу:

$$H_{\text{тр.см.гор}} = H_{\text{ч.гор}} (1 + K_{\text{гор}} \cdot \mu_{\text{расч}}), \quad (1.16)$$

где  $H_{\text{ч.в}}$ ,  $H_{\text{ч.гор}}$  - потери давления при транспортировании чистого воздуха соответственно в вертикальных и горизонтальных участках материалопровода;

$K_{\text{в}}$ ,  $K_{\text{гор}}$  - опытные коэффициенты соответственно при транспортировании материала по вертикали и по горизонтали;

$\mu_{\text{расч}}$  - расчетная концентрация аэросмеси, кг/кг.

Потери давления при перемещении чистого воздуха  $H_{\text{ч}}$ , кПа в вертикальном и горизонтальном участках пневмотранспортера определяют как произведение удельной потери давления при движении чистого воздуха  $R$  на соответствующую длину участка материалопровода, т.е.

$$H_{\text{ч.в}} = R l_{\text{в}}, \quad (1.17)$$

$$H_{\text{ч.гор}} = R l_{\text{гор}},$$

где  $R$  - удельная потеря давления, кПа/м;

$l_{\text{в}}$ ,  $l_{\text{гор}}$  - соответственно длина вертикального и горизонтального участков материалопроводов, м.

Величину  $R$ , кПа можно определить так

$$R = \frac{v_{\text{расч}}^{1,75} \cdot 13 \cdot 10^{-6}}{D_{\text{расч}}^{1,25}}. \quad (1.18)$$

Значение удельных потерь давления от трения  $R$  при транспортировании чистого воздуха в пневмотранспортере заносят в графу 17 расчетной таблицы.

Величину коэффициента  $K$  определяют отдельно для вертикального и горизонтального транспортирования грубых и мягких продуктов размола.

При вертикальном транспортировании продуктов размола:

- грубых:

$$K_{\text{г.в}} = \frac{0,24(D_{\text{расч}} - 40)}{v_{\text{расч}}^{1,33}}. \quad (1.19)$$

- мягких:

$$K_{\text{м.в}} = \frac{0,16(D_{\text{расч}} - 40)}{v_{\text{расч}}^{1,33}}. \quad (1.20)$$

При горизонтальном транспортировании:

- зерна:

$$K_{\text{з.гор}} = \frac{0,15D_{\text{расч}}}{v_{\text{расч}}^{1,25}}. \quad (1.21)$$

- грубых продуктов размола:

$$K_{\text{г.гор}} = \frac{0,135D_{\text{расч}}}{v_{\text{расч}}^{1,25}}. \quad (1.22)$$

- мягких продуктов размола:

$$K_{\text{м.гор}} = \frac{0,11D_{\text{расч}}}{v_{\text{расч}}^{1,25}}, \quad (1.23)$$

где  $D_{\text{расч}}$  - расчетный диаметр материалопровода, мм;

$v_{\text{расч}}$  - скорость воздуха в материалопровode, м/с.

Значения  $K$  вносят в графы 18 и 19 расчетной таблицы. Значения  $H_{\text{тр.см.в}}$  и  $H_{\text{тр.см.гор}}$  вносят соответственно в графы 20 и 21 расчетной таблицы.

### 1.6.8 Потери давления в отводах

Потери давления в местных сопротивлениях  $H_0$ , кПа - отводах, изменяющих направление движения аэросмеси, складываются из суммы потерь давления при перемещении чистого воздуха, потерь, связанных с перемещением транспортируемого материала, и потерь давления на разгон материала после отвода:

$$H_0 = H_{0,ч}(1 + K_0 \cdot \mu_{расч}) + H_{разг} \cdot \Delta u,$$

$$H_{0,ч} = \frac{\Delta_0 \cdot v_{расч}^2 \cdot \rho \cdot \xi_0 \cdot 10^{-3}}{2}, \quad (1.24)$$

$$K_0 = \frac{B' \cdot D_{расч}}{v_{расч}^{1,25} \frac{r}{D_{расч}} m'},$$

где  $H_{0,ч}$  - потери давления в отводе при перемещении чистого воздуха, кПа;

$\Delta_0$  - коэффициент, учитывающий изменение потери давления в зависимости от угла поворота отвода (таблица 1.6);

$\xi_0$  - коэффициент сопротивления отвода для угла поворота  $90^\circ$  (таблица 1.7);

$K_0$  - коэффициент отвода;

$B'$  и  $m'$  - значения коэффициентов приведено в таблице 1.8;

$D_{расч}$  - диаметр материалопровода, мм;

$H_{разг}$  - потери давления на разгон материала после отвода;

$\Delta u$  - коэффициент, значения которого даны в таблице 1.9;

$r$  - радиус закругления отвода, м.

Таблица 1.6 - Коэффициент  $\Delta_0$  изменения потери давления от угла поворота отвода

Угол поворота отвода, град	$\Delta_0$
75-90	1,0
61-74	0,8
31-60	0,6
15-30	0,3

Таблица 1.7 - Коэффициент  $\xi_0$  сопротивления отвода при перемещении чистого воздуха

Диаметр материалов провода, мм	Радиус $r$ поворота отводов, м		
	1,0	1,5	2,0
56-72	1,0	1,75	1,9
76-98	0,6	0,9	1,15
103-150	0,45	0,65	0,8
169-192	0,25	0,4	0,5

Таблица 1.8 - Значения коэффициентов  $B'$  и  $m'$

Направление отвода	$B'$			
	$m'$	Зерно пшеницы	продукты размола	
			грубые	мягкие
С вертикали на горизонталь	0,23	0,55	0,45	0,32
С горизонтали на вертикаль	0,15	0,62	0,50	0,40
В горизонтальной плоскости	0,18	0,59	0,48	0,37

Таблица 1.9 - Значения коэффициента  $\Delta u$

Отношение радиуса отвода к диаметру материалопровода	Угол поворота отвода, град	Длина прямолинейного участка за отводом, м			
		1,0	2,0	3,0	4,0 и более
2-4	76-90	0,240	0,420	0,480	0,600
	61-75	0,190	0,330	0,380	0,480
	31-60	0,140	0,250	0,290	0,360
	15-30	0,072	0,126	0,144	0,180
5-9	76-90	0,200	0,350	0,400	0,500
	61-75	0,160	0,280	0,320	0,400
	31-60	0,120	0,210	0,240	0,300
	15-30	0,060	0,105	0,120	0,150
10-12	76-90	0,160	0,280	0,320	0,400
	61-75	0,150	0,220	0,250	0,320
	31-60	0,096	0,170	0,190	0,240
	15-30	0,048	0,084	0,096	0,120

Величину  $H_0$  заносят в графу 23 расчетной таблицы.

#### 1.6.9 Потери давления на подъем материала

Потери  $H_{\text{под}}$ , кПа определяют по формуле

$$H_{\text{под}} = 10^{-2} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot \mu_{\text{расч}} \cdot l_{\text{в}}, \quad (1.25)$$

где  $l_{\text{в}}$  - высота подъема по вертикали от приемника до входного отверстия разгрузителя, м.

Величину потерь давления на подъем вносят в графу 24 расчетной таблицы.

### 1.6.10 Подбор разгрузителей

Центробежные разгрузители подбирают по величине расхода воздуха с учетом изменения его состояния в пневмотранспортере. Ориентировочно можно принять  $Q_o$ , м<sup>3</sup>/с

$$Q_o = 1,1 Q_{\text{расч}} . \quad (1.26)$$

Коэффициент 1,1 учитывает изменение состояния воздуха в пневмотранспортере.

Скорость воздуха во входном патрубке циклона должна поддерживаться в пределах оптимальных значений. Рекомендуются следующие значения входной скорости  $v_{\text{вх}}$ , м/с:

- 1) ЦР – 16-18;
- 2) УЦ-38 – 10-12;
- 3) для зерна – 8-10;
- 4) для продуктов размола – 16-20.

Нижний предел скорости  $v_{\text{вх}}$  рекомендуется для первых драных, шлифовочных и размольных систем, а верхний - для остальных систем (муки и отрубей).

Подбор центробежных разгрузителей ведут по их пропускной способности  $Q_o$ . Скорость воздуха  $v_{\text{вх}}$  во входном патрубке циклона-разгрузителя рассчитывают по формуле

$$v_{\text{вх}} = \frac{Q_o}{ab} , \quad (1.27)$$

где  $a, b$  - размеры входного патрубка циклона, м.

Величина  $v_{\text{вх}}$  должна соответствовать оптимальным значениям для данного типа разгрузителя.

Если  $v_{\text{вх}}$  отличается от оптимальных значений, подбирают другой циклон-разгрузитель с размерами входного патрубка, отличными от первого, и вновь рассчитывают  $v_{\text{вх}}$ .

В графе 25 расчетной таблицы 1.13 указывают тип выбранного разгрузителя или пневматического сепаратора.

Потери давления в центробежных разгрузителях (кПа) рассчитывают по формуле

$$H_{\text{разг}} = \xi_{\text{ц}} \frac{v_{\text{вх}}^2 \cdot \rho_{\text{в}} \cdot 10^{-3}}{2} , \quad (1.28)$$

где  $\rho_{\text{в}}$  - плотность воздуха при входе в разгрузитель с достаточной для практики точностью можно принять равной 1,1 кг/м<sup>3</sup>;

$\xi_{\text{ц}}$  - коэффициент сопротивления циклона.

Пневматические сепараторы и пневмобичевые машины подбирают по про-

изводительности. В пневматических сепараторах конструкции БПС и пневмобичевых машинах потери давления  $H_{п.с}$ , кПа можно определить по формуле

$$H_{п.с} = \frac{1,5v_{расч}^2 \cdot \rho_{в} \cdot 10^{-3}}{2}, \quad (1.29)$$

где  $v_{расч}$  - скорость воздуха в материалопроводе перед входом в пневмосепаратор, м/с.

Величину потерь давления в центробежном разгрузителе или пневматическом сепараторе заносят в графу 26 расчетной таблицы 1.4.

1.6.11 Потери давления в устройстве для измерения и регулирования расхода воздуха

Величину  $H_{к.р}$ , кПа рассчитывают по формуле

$$H_{к.р} = \frac{2,5Q_{к.р}^2 \cdot \rho_{в} \cdot 10^{-3}}{K_p^2}, \quad (1.30)$$

где  $\rho_{в}$  - плотность воздуха ( $\rho_{в} = 1,1 \text{ кг/м}^3$ );

$Q_{к.р}$  - количество воздуха, проходящего через устройство,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$K_p$  - коэффициент расхода.

Значение  $K_p$  принимают по таблице 1.10.

Таблица 1.10 – Зависимость  $K_p$  от входного диаметра устройства

входной диаметр устройства, мм	0,08	0,1	0,125	0,16	0,2	0,225
$K_p$	0,01	0,016	0,015	0,041	0,065	0,083

Значения  $H_{к.р}$  вносят в графу 27 расчетной таблицы 1.4.

Далее находят потери давления в пневмотранспортере, суммируя значения граф 14, 15, 16, 20, 21, 23, 24, 26, 27. Полученную сумму вносят в графу 28 расчетной таблицы 1.4.

Если  $H_{п.т}$  равно располагаемому давлению или отличается от него не более чем на 5 %, переходят к дальнейшим расчетам. В противном случае расчет пневмотранспортера повторяют, задаваясь другим значением  $D_{пред}$ . Таким образом, достигается не только соответствие между потерями давления в каждом пневмотранспортере с располагаемым давлением, но также относительное равенство потерь давления в пневмотранспортерах между собой, что необходимо для распределения воздуха в соответствии с расчетом.

Если по расчету диаметр материалопровода окажется меньше 50 мм, следует выбрать по сортаменту трубу, диаметр которой был бы равен или несколько больше 50 мм, и вновь выполнить расчет, определив расход воздуха, массовую

концентрацию материала и потери давления в пневмотранспортере. Последние могут оказаться меньшими, чем в других параллельных пневмотранспортерах. В этом случае выровнять давление изменением параметров процесса транспортирования невозможно. Его выравнивают дросселированием в период наладки установки. О необходимости такого регулирования следует указать в примечаниях к расчету.

Потери давления в соединительных воздуховодах  $H_{\text{воз}}$  и в коллекторе определяют одним из методов расчета вентиляционных установок, например методом удельных потерь давления. Ориентировочно потери давления в коллекторе можно принять равными 0,3-0,5 кПа, а в соединительных воздуховодах - 0,5-1,0 кПа (в зависимости от протяженности).

## 1.7 Подбор пылеотделителя. Определение потерь давления в пылеотделителях

Применяют одноступенчатую очистку воздуха в тканевых фильтрах или двухступенчатую очистку в батарейных циклонах и тканевых фильтрах.

Фильтр подбирают по количеству воздуха, поступающего на очистку.

### 1.7.1 Одноступенчатая очистка воздуха

Количество воздуха, поступающего в фильтр  $Q_{\text{ф}}$ , м<sup>3</sup>/с, рассчитывают по формуле

$$Q_{\text{ф}} = \Sigma Q_{\text{разг}} + \Sigma \Delta Q_{\text{разг}}, \quad (1.31)$$

где  $\Sigma Q_{\text{разг}}$  - суммарное количество воздуха, поступающего в группу разгрузителей, обслуживаемых пылеотделителем, м<sup>3</sup>/с;

$\Sigma \Delta Q_{\text{разг}}$  - суммарное количество воздуха, подсосываемое в группу разгрузителей, обслуживаемых пылеотделителем, через шлюзовые затворы, м<sup>3</sup>/с (таблица 1.11).

Таблица 1.11 - Величина подсоса воздуха в разгрузителях

Величина потери давления в пневмотранспортере, кПа	Количество подсосываемого воздуха, м <sup>3</sup> /с	
	центробежный разгрузитель	пневмосепаратор или пневмобичевая машина
До 5,0	0,0055	0,0083
От 5 до 10,0	0,0110	0,0160
Более 10,0	0,0160	» 0,0240

Для подбора тканевого фильтра определяют требуемую фильтрующую поверхность фильтра по формуле

$$F_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{q}, \quad (1.32)$$

где  $q$  - величина нагрузки на  $1 \text{ м}^2$  ткани фильтра,  $\text{м}^3/\text{с}$  (таблица 1.12).

Таблица 1.12 - Величина нагрузки на  $1 \text{ м}^2$  ткани фильтра ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) мукомольного завода

Культура	Подготовительное отделение	Размольное отделение
Пшеница	0,020-0,025	0,017-0,020
Рожь		0,014-0,017

По величине  $F_{\phi}$  выбирают фильтр, поверхность ткани которого близка к  $F_{\phi}$ . Затем находят фактическую нагрузку на ткань  $q_{\text{фак}}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  на  $1 \text{ м}^2$ .

$$q_{\text{фак}} = \frac{Q_{\phi}}{F_{\text{фак}}}, \quad (1.33)$$

где  $F_{\text{фак}}$  - фильтрующая поверхность выбранного фильтра,  $\text{м}^2$ .

По графику на рисунке 1.6 определяют потери давления в фильтре.

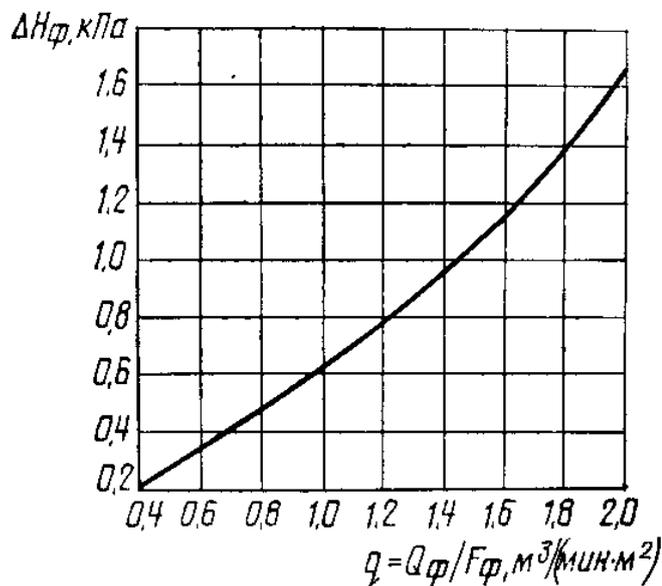


Рисунок 1.6 – Зависимость аэродинамического сопротивления фильтра типа Г4-2БФМ от удельной нагрузки на ткань

## 1.7.2 Двухступенчатая очистка воздуха

Она осуществляется в батарейных циклонах типа УЦ или 4БЦШ, а затем в тканевых фильтрах. Подбор батарейного циклона проводят по расходу воздуха во всех пневмотранспортерах, соединенных с циклоном ( $\Sigma Q_{\text{разг}}$ ) с добавлением подсоса воздуха в отделителях

$$Q_{\text{б.ц}} = \Sigma Q_{\text{разг}} + \Sigma \Delta Q_0 . \quad (1.34)$$

Потери давления в батарейном циклоне находят по ранее приведенным формулам.

Тканевый фильтр выбирают по расходу поступающего воздуха  $Q_{\text{ф}} = Q_{\text{б.ц}} + \Sigma \Delta Q_0$  так же, как это выполнялось при одноступенчатой очистке воздуха.

Величину подсоса воздуха в батарейный циклон принимают в зависимости от величины потери давления в пневмотранспортере (таблица 1.13).

Таблица 1.13 - Величина подсоса воздуха в батарейный циклон

Потери давления в пневмотранспортере, кПа	Величина подсоса воздуха в батарейный циклон, м <sup>3</sup> /с	
	однорядный	двухрядный
10,0	0,041	0,083
	0,069	0,138

Общий расход воздуха  $Q_{\text{п.у}}$ , м<sup>3</sup>/с в установке определяют по формуле

$$Q_{\text{п.у}} = 1,05(Q_{\text{ф}} + \Delta Q_{\text{ф}}), \quad (1.35)$$

где  $\Delta Q_{\text{ф}}$  - количество воздуха, подсасываемого в фильтр, м<sup>3</sup>/с (таблица 1.14);

1,05 - коэффициент запаса.

Таблица 1.14 - Количество воздуха, подсасываемого в фильтр

Фильтр	Количество подсасываемого воздуха, м <sup>3</sup> /с
Г4-2БФМ-45	0,111
Г4-2БФМ -60	0,166
Г4-2БФМ -90	0,222

Потери давления в коллекторе и соединительных воздухопроводах определяют по одной из методик, применяемых для вентиляционных установок.

## 1.8 Подбор воздуходувной машины

Общие потери давления  $H_{п.у}$  в установке определяются суммой всех полученных потерь с учетом запаса в размере 1 кПа по формуле, приведенной выше.

Воздуходувная машина для проектируемой пневмотранспортной установки была выбрана в начале расчета, тогда же предварительно определены ее рабочие, параметры. На основании результата расчета их следует проверить и, если нужно, уточнить. Для этого находят  $H_{в.м}$ , кПа

$$H_{в.м} = \frac{101H_{п.у}}{101 - H_{п.у}}. \quad (1.36)$$

Далее на аэродинамическую характеристику воздуходувной машины наносят рабочую точку, соответствующую параметрам  $Q_{в.м} = Q_{п.у}$  и  $H_{в.м}$ . Последняя должна совпадать с характеристикой или быть близко к ней расположена. По характеристике определяют КПД воздуходувной машины, а затем мощность, необходимую для ее привода  $N_{пот}$ . [1]

## 1.9 Задание

Познакомиться с расчётом всасывающей разветвленной пневмотранспортной установки размольного отделения мукомольного завода производительностью 300 т/сут при сортовом помоле пшеницы. Число и назначение пневмотранспортеров определяется по коммуникации движения продуктов в размольном отделении, а количество транспортируемого материала в каждом пневмотранспортере  $G_{бал}$  принимать по количественному балансу.[1]

## 2 Лабораторная работа №2 Нагнетающие пневмотранспортные установки

**Цель работы:** изучение конструкций нагнетающих пневмотранспортных установок, приобретение практических навыков их расчета.

### 2.1 Классификация пневмотранспортных установок

Если материалопровод, отделитель и фильтр находится под избыточным давлением, такую установку называют нагнетающей (рисунок 2.1).

Отличительная особенность нагнетающих пневмотранспортных установок в неограниченной величине избыточного давления, развиваемого воздуходувной машиной. Поэтому такие установки применяют для перемещения сыпучего материала на большие расстояния (до 500 м и более) при высоких концентрациях аэросмеси, благодаря чему достигается компактность и экономичность установок.

Нагнетающие пневмотранспортные установки снабжены простыми отделителями, а также фильтрами, не требующими специальных выпускных устройств.

Основной недостаток нагнетающих систем заключается в трудности загрузки транспортируемого материала в материалопровод.

В подготовительных отделениях мукомольных заводов на комплектном оборудовании для перемещения зерна применяют нагнетающие пневмотранспортные установки с одним материалопроводом и индивидуальной ротационной воздуходувной машиной. Особенность таких установок в повышенной концентрации аэросмеси по сравнению с всасывающими разветвленными установками.

Для межцехового перемещения продуктов на зерноперерабатывающих предприятиях используют нагнетающие пневмотранспортные установки, работающие при низких и высоких концентрациях аэросмеси. Эти установки имеют один материалопровод с индивидуальной воздуходувной машиной. Нагнетающие межцеховые пневмотранспортные установки характеризуются высокими концентрациями аэросмеси, относительно низкими скоростями воздуха и материалопроводами небольших диаметров. Малые расходы воздуха обуславливают упрощенную систему его очистки. В этих установках потери давления могут превышать 100 кПа, поэтому воздуходувными машинами в них служат ротационные или винтовые воздуходувки и поршневые компрессоры.

Автомуковозы и вагоны-муковозы разгружают при помощи нагнетающих пневмотранспортных установок, которые работают с аэросмесью высокой концентрации. Загрузка материала в трубопровод таких установок производится без применения какого-либо механического питающего устройства.

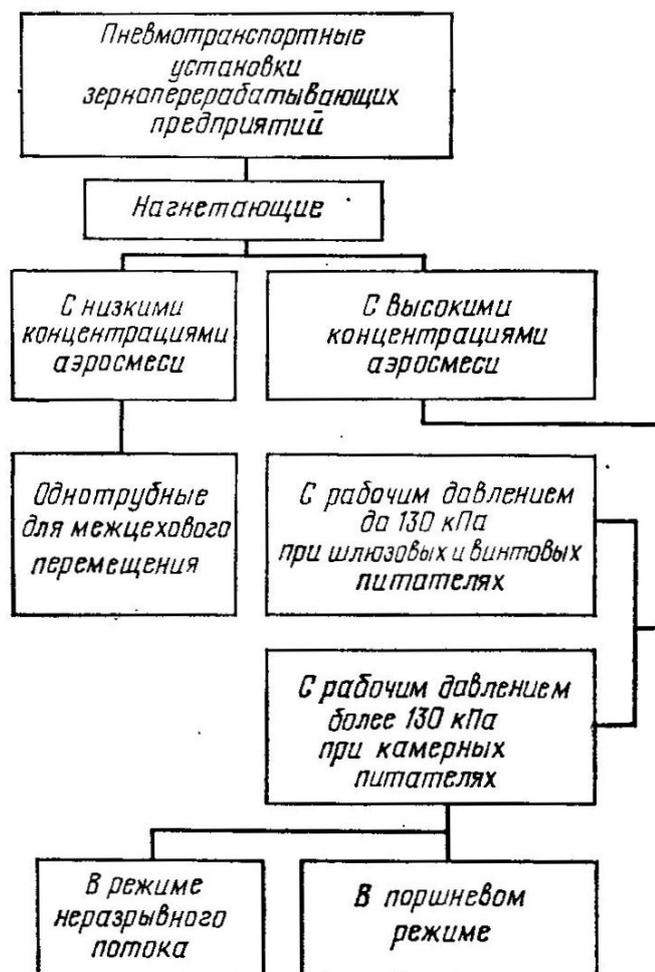


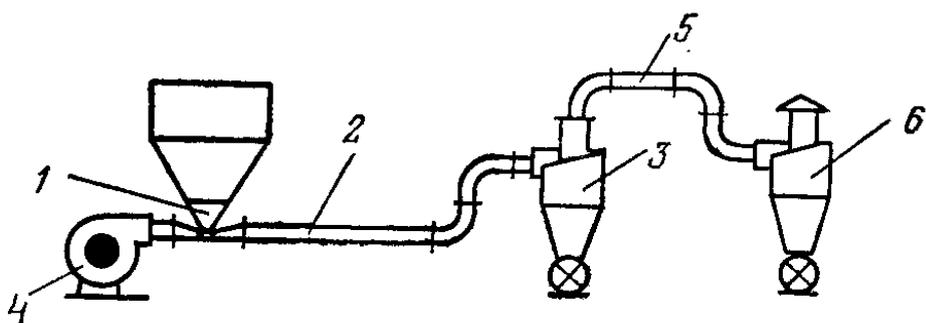
Рисунок 2.1 –Классификация нагнетающих пневмотранспортных установок

## 2.2 Устройство пневмотранспортных установок

### 2.2.1 Нагнетающая однотрубная пневмотранспортная установка

Установка этого вида работает при низких концентрациях аэросмеси. Используют её для межцехового перемещения отрубей, отходов и зерновой пыли, осажденной циклонами.

Такая установка состоит из загрузочного устройства 1 (рисунок 2.2), материалопровода 2, отделителя 3, пылеотделителя 6, системы воздухопроводов 5 и центробежного вентилятора 4.



1 - загрузочное устройство; 2 - материалопровод; 3 - отделитель; 4 - вентилятор; 5 - воздуховод; 6 - пылеотделитель.

Рисунок 2.2 - Нагнетающая однетрубная пневмоустановка

Приемными устройствами обычно служат приемники типа «тройник». Материал в приемники подается шлюзовыми затворами, винтовыми, скребковыми и другими дозаторами.

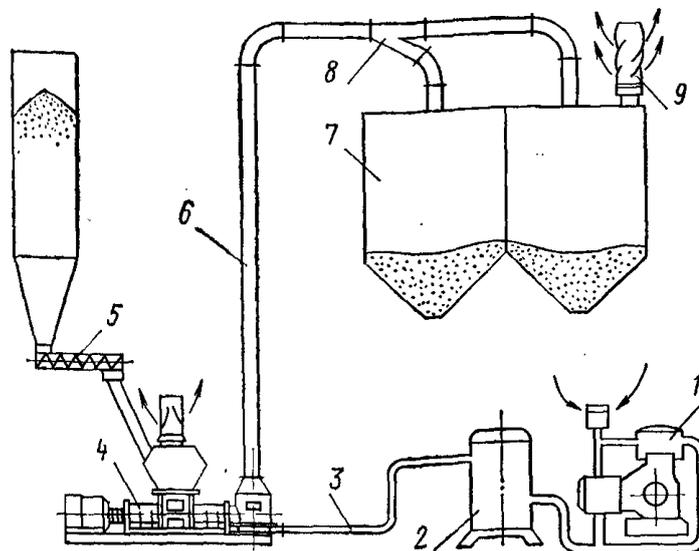
### 2.2.2 Нагнетающая пневмотранспортная установка

Она предназначена для перемещения муки, комбикормов и других продуктов на расстояние до 250 м с большой концентрацией аэросмеси. В зависимости от протяженности трассы и величины концентрации аэросмеси требуется различное рабочее давление воздуха, что определяет выбор питателя и воздуходувной машины. При рабочем давлении менее 130 кПа используют шлюзовые или винтовые питатели и ротационные воздуходувки или поршневые компрессоры. При давлении более 130 кПа установка включает камерный питатель и поршневой компрессор. В отдельных случаях возможны и другие комбинации.

Действует установка следующим образом (рисунок 2.3). Транспортируемый материал из шнека-дозатора 5 поступает по самотеку в винтовой питатель 4. Одновременно в питатель поступает по воздуховоду 3 сжатый воздух из воздухоборника 2 воздуходувной машины 1. Образовавшаяся в питателе аэросмесь поступает в материалопровод 6 и далее перемещается к месту разгрузки. Материалопроводы могут быть снабжены многопозиционными переключателями 8, при помощи которых транспортируемый материал направляют в любой бункер или силос 7. Отработавший воздух после очистки в рукавном фильтре 9 удаляется в атмосферу.

Установка с камерным питателем (рисунок 2.4) действует так. Транспортируемый материал загружается в камеру питателя 2 через устройство 3. После заполнения камеры до определенного уровня загрузочное отверстие плотно закрывается и начинается подача в полость камеры сжатого воздуха. Как только давление достигнет необходимой величины, открывается запорное устройство и аэрированный материал выдавливается сжатым воздухом в

материалопровод 4, по которому транспортируется к разгрузителю. Подача воздуха в опорожненную камеру прекращается, открывается загрузочное отверстие, и цикл действия питателя повторяется. Многопозиционный переключатель 5 позволяет направлять материал, в любой силос 6. Очищенный в рукавном фильтре 7 воздух удаляется в атмосферу.



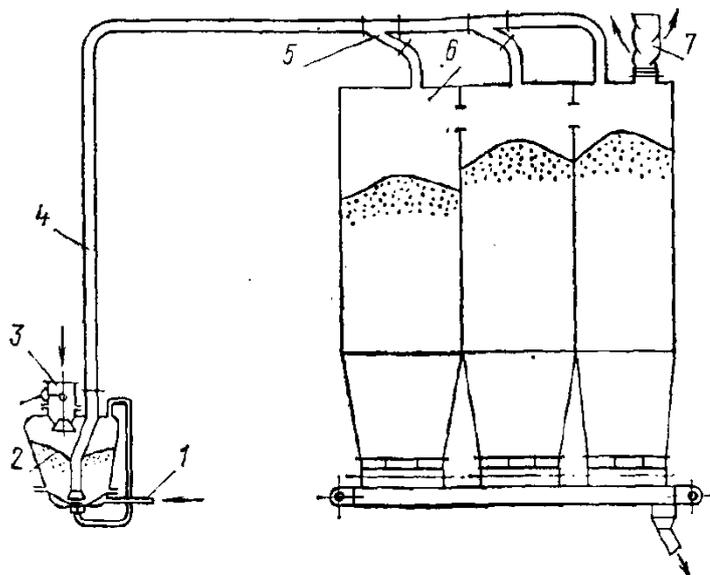
1- воздуходувная машина; 2 - воздухосборник; 3- воздуховод; 4 - питатель; 5 - шнек-дозатор; 6 - материалопровод; 7 - силос; 8 - переключатель; 9 - рукавный фильтр.

Рисунок 2.3 - Нагнетающая пневмотранспортная установка с винтовым питателем

Процесс транспортирования в установке с камерным питателем проходит при высоком рабочем давлении воздуха, что дает возможность перемещать материал на расстоянии до 250 м и более при высоких концентрациях аэросмеси.

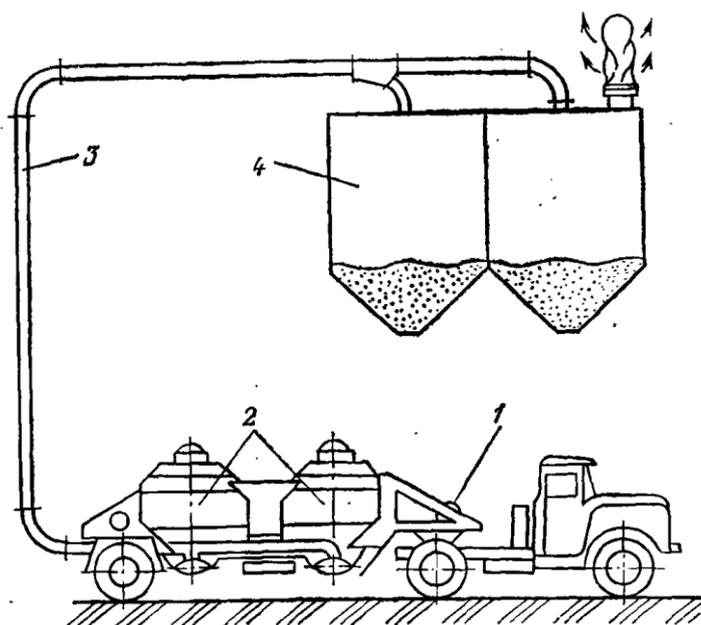
Принцип действия установки с камерным питателем использован при разгрузке вагонов-муковозов и автомуковозов (рисунок 2.5). По прибытии автомуковоза на хлебозавод наконечник разгрузочного трубопровода, выступающего из цистерны 2, соединяют гибким рукавом с начальным участком материалопровода 3. Открывают краны подачи воздуха в одну из цистерн муковоза и включают пластинчатый компрессор 1, установленный на шасси автомобиля. По достижении давления воздуха в цистерне 150-180 кПа открывают запорный кран на наконечнике материалопровода. Сжатый воздух выдавливает муку в материалопровод и транспортирует её в бункера 4 хлебозавода. Об окончании разгрузки цистерны свидетельствует падение давления на манометре, установленном в сети воздуховодов, почти до нулевого значения. Разгрузка второй цистерны происходит аналогично. Продолжительность разгрузки зависит от диаметра и протяженности материалопровода. В среднем при диаметре материалопровода 70-80 мм и его протяженности до 40 м разгрузка одной

цистерны вместимостью 4 т пшеничной муки длится 15-20 мин.



1 - магистраль подачи сжатого воздуха; 2 - питатель; 3 - загрузочное устройство; 4 - материалопровод; 5 - переключатель; 6 - силос; 7 - рукавный фильтр.

Рисунок 2.4 - Нагнетающая пневмотранспортная установка с камерным питателем



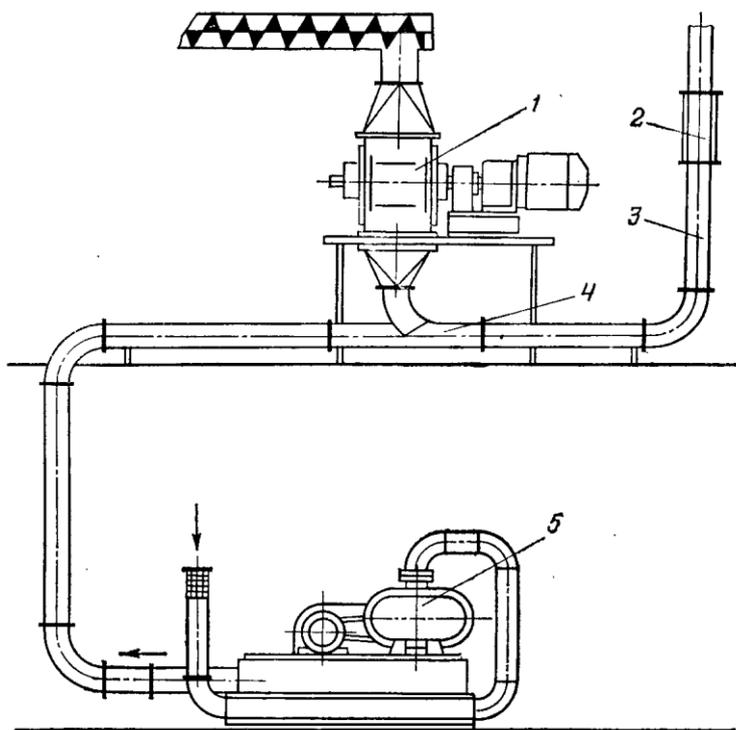
1- компрессор; 2- цистерны; 3- материалопровод; 4- бункер.

Рисунок 2.5 - Схема разгрузки автомуковоза

## 2.3 Устройство пневмотранспортных установок мукомольных заводов на комплектном оборудовании

### 2.3.1 Нагнетающая однетрубная пневмотранспортная установка для перемещения зерна

Каждая секция зерноочистительного отделения завода оборудована семью однетрубными нагнетающими пневмотранспортными установками: из них четыре производительностью по 6 т/ч, а три - по 12 т/ч. Каждая установка (рисунок 2.6) состоит из загрузочного устройства 1 - шлюзового затвора типа РЗ-БШЗ с приемником типа «тройник» 4, материалопровода 3 со смотровой вставкой 2, ротационной воздуходувной машины 5.

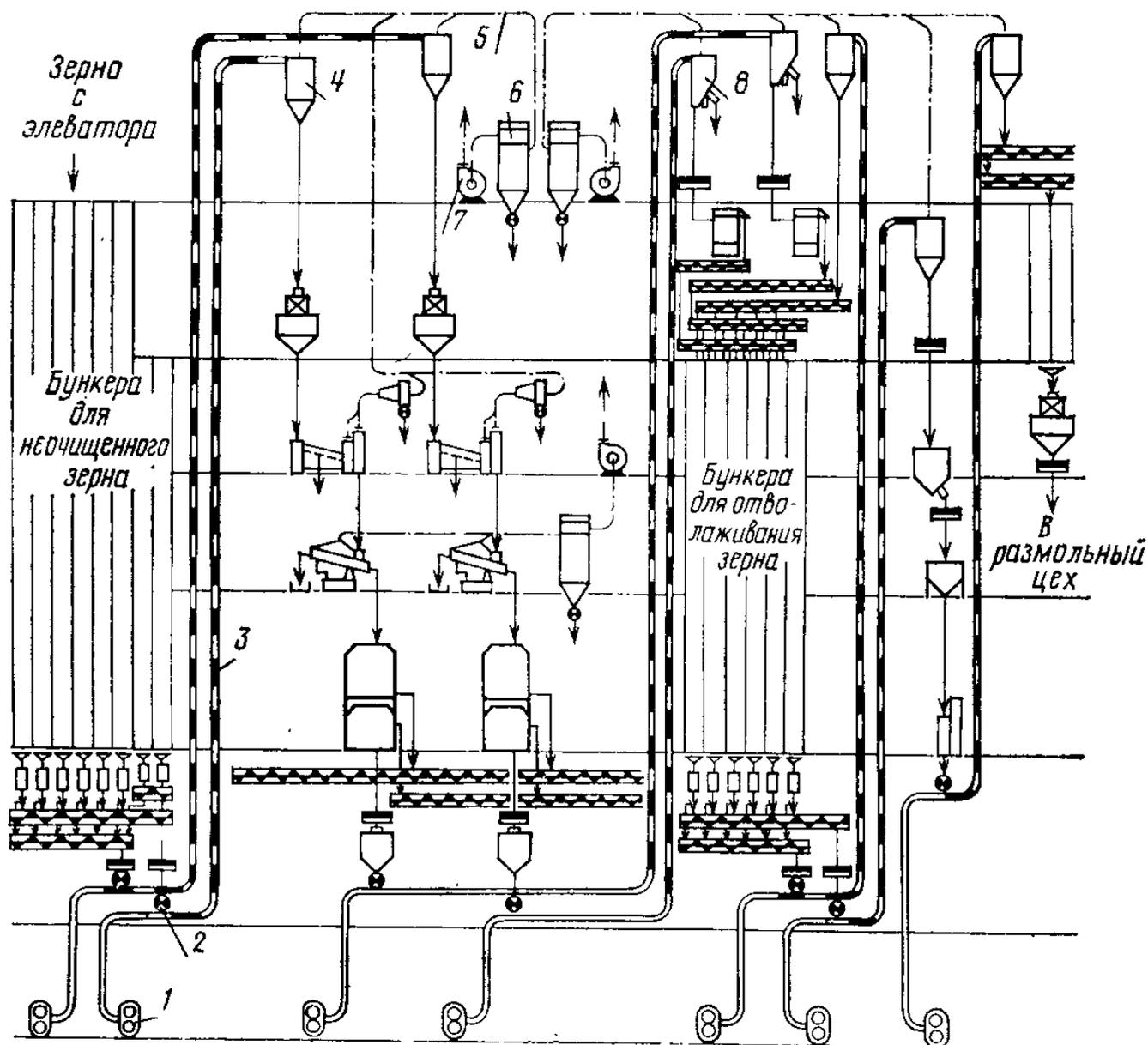


1 - шлюзовой затвор; 2 - смотровая вставка; 3 - материалопровод; 4 - приемник; 5 - воздуходувная машина.

Рисунок 2.6 - Нагнетающая пневмоустановка

Особенностью материалопроводов является наличие двух участков с различными диаметрами. Нижний, начальный, участок имеет меньший диаметр, а верхний - больший. У материалопроводов производительностью 6 т/ч разность в диаметрах составляет 5 мм, а производительностью 12 т/ч - 10 мм. В конце материалопроводов установлены объемные разгрузители У2-БРО или пневмосепараторы РЗ-БСД.

На рисунке 2.7 приведена схема семи нагнетающих пневмотранспортных установок секции зерноочистительного отделения мукомольного завода на комплектном оборудовании.



1 - воздуходувная машина типа ЗАО; 2 - питатель типа «Тройник» с шлюзовым затвором РЗ-БШЗ; 3 - материалопровод переменного сечения; 4 - объемный разгрузитель У2-БРО; 5 - сеть воздуховодов; 6 - рукавный фильтр РЦИ-31,2-48; 7 - вентилятор среднего давления; 8 - пневмосепаратор РЗ-БСД.

Рисунок 2.7 - Схема нагнетающей пневмоустановки зерноочистительного отделения мукомольного завода на комплектном оборудовании

Неочищенное зерно поступает из бункеров на питатели 2 двух установок с материалопроводами 3. Из объемных разгрузителей 4 зерно проходит последова-

тельно ряд зерноочистительных машин и попадает на питатели следующих двух пневмотранспортных установок. После очистки в пневмосепараторах 8 и мойки зерно поступает в бункера для отволаживания. Из них тремя пневмотранспортными установками зерно может быть передано на повторное отволаживание или на группу зерноочистительных машин с последующей подачей его в размольный цех. Воздух в пневмотранспортные установки нагнетают воздуходувные агрегаты 1 типа 3А. Отработавший воздух из разгрузителей отсасывается вентилятором среднего давления 7 по воздуховодам 5 через фильтр 6 с импульсной продувкой рукавов.

### 2.3.2 Нагнетающие разветвленные пневмотранспортные установки

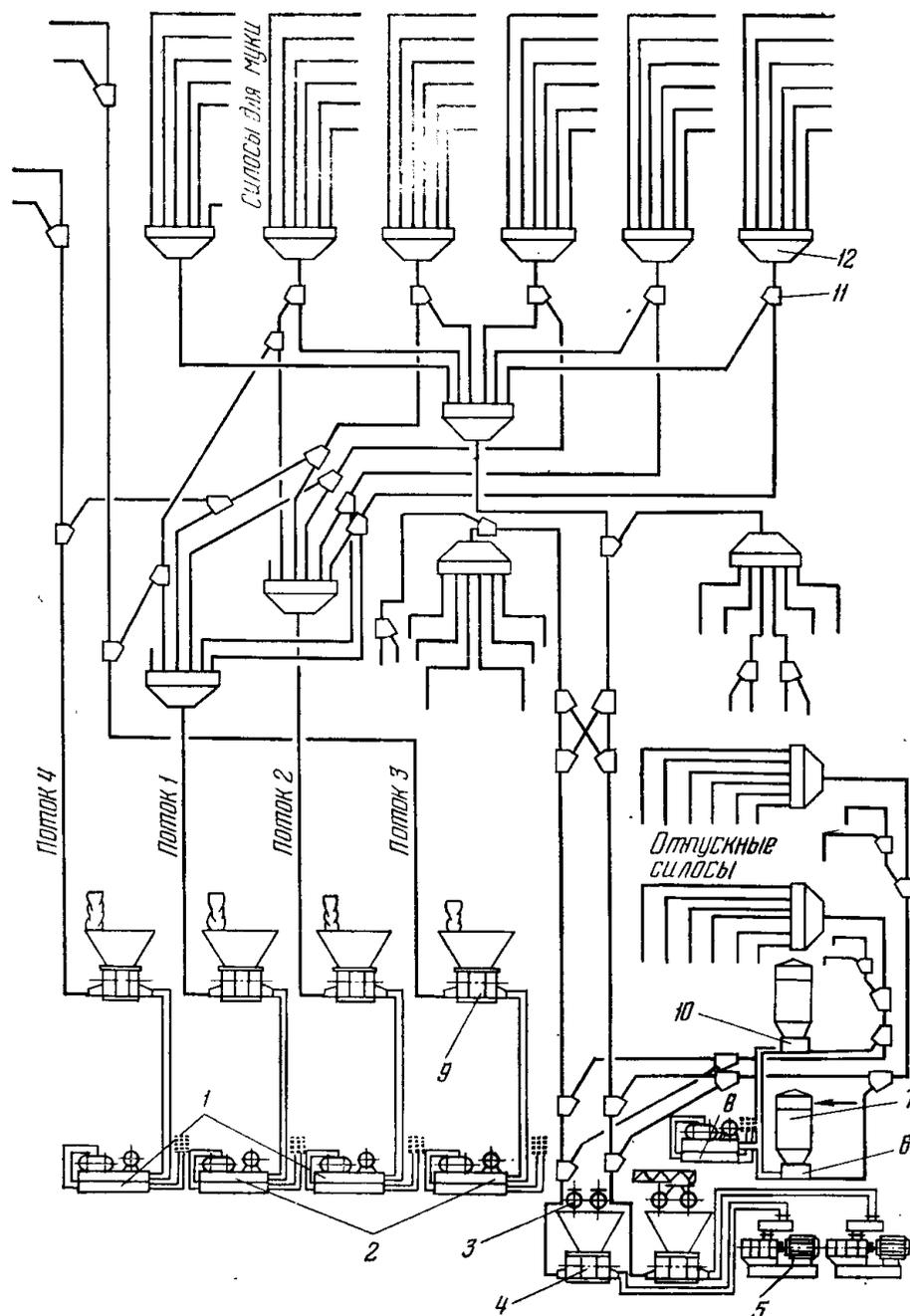
Нагнетающие разветвленные пневмотранспортные установки для подачи муки из размольного отделения в склад бестарного хранения мукомольных заводов на комплектном оборудовании отличаются развитой сетью материалопроводов (рисунок 2.8).

В местах разветвлений материалопровода установлены двухпозиционные 11 или шестипозиционные 12 переключатели направления потока аэросмеси. Управляют переключателями дистанционно с центрального пульта. Двухпозиционные переключатели снабжены пневматическим исполнительным механизмом, а шестипозиционные - электрическим. Все установки имеют шлюзовые питатели 6 с рабочим объемом ротора от 0,003 до 0,06 м<sup>3</sup>. Источниками снабжения сжатым воздухом являются ротационные воздуходувные агрегаты типа 3А или винтовые нагнетатели типа РЗ-БНВ. Отделителями служат непосредственно емкости, куда поступает транспортируемая мука. Конечный участок материалопровода в силосе расположен горизонтально, что способствует лучшему заполнению силоса, так как вытекающая из материалопровода горизонтальная струя муки рассеивается.

Применение подобных установок на мукомольном заводе с комплектным оборудованием позволяет полностью механизировать работы по перемещению муки.

Характерная особенность пневмотранспортных установок склада муки заводов на комплектном высокопроизводительном оборудовании - удаление воздуха от мест поступления муки аспирационными установками. Необходимо отметить, что от всех силосов склада муки (более пяти), аппаратов фасовки и смешивания муки отработавший воздух удаляется одной аспирационной установкой. Основные ветви установки снабжены поворотными заслонками с пневматическим исполнительным механизмом, управляемым дистанционно с пультов.

Воздух удаляется из силосов через специальные цилиндрические патрубки, снабженные датчиками уровня. В начальном участке воздуховода помещена поворотная заслонка ручного управления.



1 - воздуходувные агрегаты 3А-32-406А4; 2 - воздуходувные агрегаты 3А32- 25 6А5; 3 - шлюзовой затвор РЗ-БШМ/7; 4 - шлюзовой питатель РЗ-БШП/4; 5 - воздуходувный агрегат РЗ-БНВ; 6, 10 - шлюзовые питатели РЗ-БШП/2; 7 - рукавный фильтр РЦИ-5,2-8; 8 - воздуходувный агрегат 3А-21-50-2А6; 9 - шлюзовой питатель РЗ-БШП/3; 11 - двухпозиционный переключатель РЗ-БКЕ-120; 12 - шестипозиционный переключатель РЗ-БРТ.

Рисунок 2.8 - Схема нагнетающей пневмоустановки мукомольного завода на комплектном оборудовании

## **2.4 Расчет нагнетающих пневмотранспортных установок, работающих при высоких концентрациях транспортируемого материала в аэросмеси**

Исходными для транспортирования и расчета являются:

1) характеристика транспортируемого материала, включающая плотность, объемную массу, температуру, аэродинамические свойства (скорость витания); производительность установки;

2) данные о допустимом режиме транспортирования - необходимость непрерывного транспортирования или возможность осуществлять транспортирование как непрерывно, так и периодически (порционно);

3) условия подачи материала в питатель (из технологической машины, из емкости хранения материала, через специальный дозатор).

Проектирование и расчет установок для пневматического транспортирования сыпучих материалов при высоких концентрациях аэросмеси обычно включают следующие основные операции:

- 1) выбор питателя и определение параметров его работы;
- 2) выбор типа воздуходувной машины;
- 3) размещение питателя и воздуходувной машины;
- 4) проведение трассы воздухопроводов и материалопроводов;
- 5) расчет материалопроводов, воздухопроводов, параметров работы питателя и других элементов пневмотранспортной установки;
- б) выбор типоразмеров воздуходувной машины и определение параметров ее работы.

### **2.4.1 Выбор питателя**

Приступая к проектированию, необходимо в первую очередь выбрать питатель. От этого будет зависеть решение ряда других вопросов (метод и последовательность расчета, выбор воздуходувной машины). Выбор того или иного типа питателя зависит в первую очередь от требуемого режима транспортирования. Если по условиям технологического процесса необходимо непрерывное транспортирование, например пневмотранспортная установка составляет часть непрерывной поточной транспортной или технологической линии, применяют только винтовые или шлюзовые питатели. Остается сделать выбор между этими двумя типами питателей.

Шлюзовые питатели непригодны для подачи материалов, обладающих повышенными абразивными свойствами. Кроме того, утечка воздуха из шлюзовых питателей с течением времени увеличивается по мере износа лопаток и стенок корпуса, что требует периодической проверки величины зазоров между корпусом и ротором. Поэтому шлюзовые питатели целесообразно применять в тех случаях, когда транспортируются малоабразивные материалы (пшеничная мука, комбикорм) и когда можно обеспечить квалифицированный уход за питателем.

Винтовые питатели пригодны для подачи в материалопровод различных по физическим свойствам сыпучих материалов, в том числе и с повышенной абразивностью. Рекомендуется применять их в установках с начальным давлением 150 кПа или при транспортировании материалов повышенных абразивных свойств. При выборе учитывают и характерные особенности винтовых питателей, например значительный удельный расход энергии на привод. При прочих равных условиях предпочтение следует отдать шлюзовому питателю.

Камерные питатели могут быть использованы, если условия производства допускают периодическую подачу материала. Для обеспечения непрерывной подачи приходится применять двухкамерные питатели или систему промежуточных бункеров с последовательным шлюзованием материала, что увеличивает стоимость установки, ее габаритные размеры и усложняет обслуживание.

Камерные питатели можно использовать при транспортировании всех сыпучих материалов при наибольших концентрациях на максимальное расстояние. Они отличаются простотой устройства и надежностью в работе.

#### 2.4.2 Выбор воздуходувной машины

Для подачи воздуха в нагнетающие пневмотранспортные установки, работающие при высоких концентрациях материала в аэросмеси, используют ротационные и поршневые воздуходувные машины.

Приступая к выбору воздуходувной машины для проектируемой пневмотранспортной установки, необходимо в первую очередь сделать выбор между ротационными и поршневыми машинами. Ротационные воздуходувки обеспечивают более равномерную подачу воздуха и не нуждаются в воздухохранильнике. Они меньше по габаритам и массе. Обслуживание ротационных машин проще. Их можно устанавливать в непосредственной близости к потребителю сжатого воздуха, что уменьшает протяженность воздухопроводов, требует меньшего рабочего давления и энергетических затрат. Немаловажно и то, что воздух, поступающий от ротационной воздуходувки, не содержит масла. Воздух, поступающий от поршневых компрессоров, содержит масло и требует очистки.

Следовательно, ротационные воздуходувные машины располагают рядом преимуществ перед поршневыми, и их можно в первую очередь рекомендовать для подачи воздуха в нагнетающие пневмотранспортные установки. Однако это не всегда бывает возможным и целесообразным, так как эти машины развивают меньшее давление, чем поршневые. Например, большинство ротационных воздуходувок типа 1А, выпускаемых серийно в массовых количествах, развивает избыточное давление до 50 кПа и лишь отдельные из них до 75-80 кПа. Аналогичными параметрами характеризуются также ротационные воздуходувки типа АФ и 3А, выпускаемые для мукомольных заводов на комплектном оборудовании (приложение 11 [1]).

Поршневые компрессоры развивают большее давление, чем перечисленные ротационные машины.

На этапе проектирования пневмотранспортной установки, когда требуется выбрать воздуходувную машину, еще неизвестна величина потери давления в установке, т.е. требуемое рабочее давление воздуходувной машины. Поэтому можно ориентироваться по протяженности материалопровода. Если она не более 100-120 м, можно предположить, что параметры (расход воздуха, концентрация аэросмеси, диаметр материалопровода), характеризующие пневмотранспортную установку, позволяют применить ротационную воздуходувку из числа тех, которые выпускает промышленность. При большей протяженности материалопровода может возникнуть необходимость применения поршневого компрессора, чтобы получить удовлетворительные показатели работы установки, в том числе приемлемую величину концентрации материала в аэросмеси.

#### 2.4.3 Размещение питателя, воздуходувной машины и проведение трассы воздухопроводов и материалопроводов

Выбор места установки питателя определяется в большей мере размещением технологического оборудования или емкости, из которых будет поступать сыпучий материал. При этом должно быть обеспечено:

- 1) непрерывное и равномерное поступление материала в питатель с установленной производительностью;
- 2) удобство обслуживания;
- 3) соблюдение правил техники противопожарной безопасности.

Особенно внимательно следует отнестись к дозированию сыпучего материала. Количество материала, поступающего из технологического оборудования или емкости, должно соответствовать расчетной производительности пневмотранспортной установки. Если количество поступающего материала будет превосходить расчетную производительность питателя, произойдет так называемый подпор технологического оборудования.

Ротационные воздуходувные машины располагают в изолированных звуконепроницаемых помещениях как можно ближе к питателю, чтобы уменьшить потери давления в воздухопроводах. Помещение должно вентилироваться в целях отвода тепла, выделяемого поверхностью воздуходувной машины.

Компрессоры располагают в изолированных помещениях, требования к которым определены «Правилами устройства, и безопасной эксплуатации компрессоров и воздухопроводов».

В соответствии с теми же правилами выбирают и размещают воздухопроводники и другое вспомогательное оборудование компрессорных станций.

Желательно, чтобы каждая пневмотранспортная установка обслуживалась отдельной воздуходувной машиной. Если возникает необходимость подачи сжатого воздуха от одной воздуходувной машины к нескольким пневмотранспортным установкам, используют систему стабилизации распределения сжатого воздуха с применением сопел Лавалья. В противном случае неизбежен большой перерасход сжатого воздуха. Предположим, что одна воздуходувная машина подает

сжатый воздух в несколько пневмотранспортных установок, причем средствами регулирования воздух распределен между обслуживаемыми установками. В связи с изменившимися условиями работы подача транспортируемого материала в одну из пневмотранспортных установок неожиданно прекратится. Вследствие снижения сопротивления увеличится поступление сжатого воздуха в эту установку за счет снижения расхода его в других установках, что приводит к нарушению режима работы установок, а в некоторых случаях к закупорке материалопровода.

Чтобы не произошло закупорки материалопроводов, воздуходувная машина должна обладать запасом производительности.

В связи с этим стоит вопрос о необходимом числе воздуходушных машин. Если пневмотранспортная установка должна работать непрерывно в ритме технологического процесса, желательно иметь резервную воздуходушную машину на случай выхода из строя рабочей.

При наличии нескольких воздуходушных машин, обслуживающих несколько пневмотранспортных установок, рекомендуется подбирать их однотипными, тогда представится возможность иметь одну резервную машину на три-четыре рабочих.

Так, если проектируются две пневмотранспортные установки, работающие при расходе воздуха 6 и 12 м<sup>3</sup>/мин, целесообразно установить четыре воздуходушные машины производительностью по 6 м<sup>3</sup>/мин каждая. Из них три машины будут рабочими, а одна - резервной.[2]

#### 2.4.4 Расчет установок с винтовыми и шлюзовыми питателями

Определение величины потерь давления в пневмотранспортной установке, выбор питателя, определение его размеров и параметров работы, а также выбор воздуходушной машины и определение параметров ее работы проводят при помощи аэродинамической характеристики установки. Она представляет собой зависимость между расходом воздуха в установке  $Q_y$  и потерей давления  $H_y$ , представленной в табличной или графической форме.

Потеря давления в установке  $H_y$ , кПа складывается из потерь давления в материалопроводе  $H_M$ , воздуховоде  $H_{ВВ}$ , питателе  $H_{П}$ , разгрузителе и других вспомогательных частях  $H_{Вс}$ , т.е.

$$H_y = H_M + H_{ВВ} + H_{П} + H_{Вс} . \quad (2.1)$$

Расчет величины удельной потери давления на 1 м в материалопроводе  $\Delta H_M$  при транспортировании муки, отрубей и комбикормов проводим по следующим формулам, кПа/м:

$$\text{для муки } \Delta H_M = 0,65 \cdot 10^{-2} \cdot v_{в.ср}^{0,72} \cdot \mu;$$

$$\text{для отрубей } \Delta H_M = 0,185 \cdot 10^{-2} \cdot v_{в.ср}^{0,79} \cdot \mu^{1,3};$$

$$\text{для комбикорма } \Delta H_M = 0,178 \cdot 10^{-2} \cdot v_{в.ср}^{0,96} \cdot \mu^{1,15}.$$

В приведенных формулах  $v_{в.ср}$  - средняя скорость воздушного потока в ма-

териалопроводах (м/с).

Формулы пригодны для определения потери давления в вертикальных, горизонтальных и смешанных материалопроводах общей протяженностью до 150 м, при наличии двух - четырех отводов (выпрямленная длина которых включается в общую протяженность). Область применения этих формул ограничена диаметрами материалопроводов от 50 до 100 мм. Вопрос о возможности их использования при большой протяженности материалопровода и других значениях диаметров требует проверки.

Рассмотрим методику построения аэродинамической характеристики пневмотранспортной установки. Исходными данными для ее составления являются производительность установки  $G$  и протяженность материалопровода  $L_{мп}$ .

Вначале задаются рядом последовательных значений  $H_{мп}$  в пределах от 10 до 150 кПа. Для каждого последовательного значения  $L_{мп}$  находят следующее.

Скорость воздушного потока в конце материалопровода

$$v_{в.к} = v_{в.н} \sqrt{100 + H_{мп}} \cdot 10^{-2}, \quad (2.2)$$

где  $v_{в.н}$  - начальная скорость воздушного потока в материалопроводе (в случае применения шлюзового или винтового питателя 7 м/с, для установок с камерными питателями 3 м/с).

Среднюю скорость воздушного потока в материалопроводе

$$v_{в.ср} = (v_{в.н} + v_{в.к}) \cdot 2^{-1}. \quad (2.3)$$

Удельную потерю давления (кПа/м) на 1 м в материалопроводе

$$\Delta H_{мп} = H_{мп} \cdot L_{мп}^{-1}, \quad (2.4)$$

где  $L_{мп}$  - общая протяженность материалопроводов, включая вертикальные и горизонтальные участки, а также выпрямленную длину отводов, м.

Массовую концентрацию материала в аэросмеси  $\mu$ , по одной из формул, приведенных для  $\Delta H_{мп}$  после их преобразования:

- для муки

$$\mu = \Delta H_{мп} (0,65 \cdot 10^2 \cdot v_{в.ср}^{0,72})^{-1}. \quad (2.5)$$

- для отрубей

$$\mu^{1,3} = \Delta H_{мп} (0,185 \cdot 10^2 \cdot v_{в.ср}^{0,79})^{-1}. \quad (2.6)$$

- для комбикормов

$$\mu^{1,15} = \Delta H_{\text{МП}} (0,178 \cdot 10^2 \cdot v_{\text{в.ср}}^{0,96})^{-1}. \quad (2.7)$$

Расход воздуха (м<sup>3</sup>/с) в материалопроводе

$$Q_{\text{МП}} = G(1,2\mu)^{-1}, \quad (2.8)$$

где  $G$  - количество транспортируемого материала, поступающего в материалопровод (производительность), кг/с.

Величину утечки воздуха из питателя по следующим формулам:

- для винтовых питателей, м<sup>3</sup>/с

$$q_{\text{п}} = 8,3 \cdot 10^{-3} \cdot H_{\text{м}} \cdot D_{\text{в}}, \quad (2.9)$$

где  $D_{\text{в}}$  - диаметр винта, м.

- для шлюзовых питателей, м<sup>3</sup>/с

$$q_{\text{п}} = 0,33 \cdot 10^{-3} \cdot H_{\text{м}}. \quad (2.10)$$

Расход воздуха в установке, м<sup>3</sup>/с

$$Q_{\text{у}} = Q_{\text{м}} + q_{\text{п}}. \quad (2.11)$$

Диаметр материалопровода, м.

$$D_{\text{м}} = 1,13 \sqrt{Q_{\text{м}} \cdot (v_{\text{в.к}})^{-1}}. \quad (2.12)$$

Потери давления в питателе  $H_{\text{п}}$  - по методике, изложенной в главе 2.[1]

Расчёт воздухопроводов. Расчет заключается в определении диаметра воздухопровода и величины потери давления. Диаметр  $D_{\text{в}}$ , м определяют по формуле

$$D_{\text{в}} = 11,3 \sqrt{Q_{\text{у}} v_{\text{в.п}} (100 + H_{\text{м}} + H_{\text{п}})^{-1}}, \quad (2.13)$$

где  $Q_{\text{у}}$  - количество воздуха, поступающего в установку, м<sup>3</sup>/с;

$H_{\text{м}}$  - потери давления в материалопроводе, кПа;

$H_{\text{п}}$  - потери давления в питателе, кПа;

$v_{\text{в.п}}$  - скорость воздушного потока в конце воздухопровода, т.е. на входе в питатель, м/с.

Величиной скорости воздушного потока  $v_{\text{в.п}}$  задаются в пределах 15-25 м/с.

Общие потери давления в воздухопроводе складываются из потери давления в его прямолинейных участках  $H_{\text{п.у}}$  и потери давления в местных сопротивлениях

$H_{м.с}$ , кПа

$$H_{вв} = H_{п.у} + H_{м.с} . \quad (2.14)$$

Потери давления в прямолинейных участках воздуховода находят по формуле

$$H_{п.у} = R \cdot L_{в} , \quad (2.15)$$

где  $R$  - удельная потеря давления на 1 м трубы, кПа;

$L_{в}$  - протяженность воздуховода, м.

Величина  $R$  зависит от диаметра трубы, скорости воздушного потока, режима потока, характеризуемого числом Рейнольдса, а также относительной шероховатости внутренней поверхности трубы. Можно рекомендовать для определения  $R$ , кПа следующую зависимость:

$$R = 232 \cdot 10^3 G^{1,9} D_{в}^5 \cdot p_{к}^{-1} , \quad (2.16)$$

где  $G$  - массовый расход воздуха, поступающего в установку, кг/ч;

$D_{в}$  - внутренний диаметр воздухопровода, мм;

$p_{к}$  - конечное абсолютное давление в воздуховоде, кПа.

Заменяя значение  $G$ , кг/ч и  $p_{к}$  соответственно через

$$G = 1,2 \cdot 3600 Q_{м} + q_{п} . \quad (2.17)$$

и

$$p_{к} = 100 + H_{м} + H_{п} 10^{-2} . \quad (2.18)$$

Получим

$$R = 232 \cdot 10^5 4320 Q_{м} + q_{п}^{1,9} D_{в}^5 100 + H_{м} + H_{п}^{-1} , \quad (2.16)$$

где  $Q_{м}$  - объемный расход воздуха в материалопроводе, м<sup>3</sup>/с;

$q_{п}$  - утечка воздуха из питателя, м<sup>3</sup>/с;

$H_{м}$  - потери давления в материалопроводе, кПа;

$H_{п}$  - потери давления в питателе, кПа.

Потери давления в местных сопротивлениях при этом методе расчета целесообразно определять по эквивалентным длинам прямых участков воздуховода, сопротивление которых равно сопротивлению фасонных его частей (таблица 2.1).

Таким образом, можно записать

$$H_{вв} = R \cdot L_{в} + R \Sigma L_{эКВ} = R L_{в} + \Sigma L_{эКВ} . \quad (2.17)$$

По известным  $H_{м}$ ,  $H_{п}$  и  $H_{вв}$  находят потерю давления в установке, кПа

$$H_y = H_M + H_{II} + H_{BB} + H_{B.C} . \quad (2.18)$$

Таблица 2.1 - Эквивалентная длина прямого участка воздуховода, м

Наименование фасонных частей	Внутренний диаметр воздуховода, мм					
	25	50	80	100	125	150
Нормальное колено	0,3	0,7	1,0	1,3	2,0	2,3
Переход	0,5	1,0	2,0	2,3	3,5	4,0
Задвижка или пробковый кран	0,3	0,7	1,1	1,5	2,0	2,5
Нормальный вентиль	5	10	15	20	30	35
Тройник	2	4	7	10	14	17

Потерю во вспомогательных частях установки (переключателях, разгрузителях)  $H_{bc}$  можно принять приближенно 10 кПа.

Все результаты расчетов оформляют в виде таблицы и графика зависимости  $Q_y - H_y$ , которые являются характеристиками установки.

Продолжая расчет, выбирают материалопровод и воздухопровод по сортаменту труб. Диаметр выбранного трубопровода не должен отличаться от расчетных величин более чем на 2-3 мм.

#### 2.4.5 Расчет установок с камерными питателями

Исходными данными для расчета являются:

- техническая производительность установки  $G$ , т/ч;
- протяженность материалопроводов, м;
- объем камеры питателя  $V$ , м<sup>3</sup>;
- масса материала, заполняющего камеру,  $M$ , т;
- время заполнения камеры материалом  $t_1$ , с;
- плотность транспортируемого материала  $\rho_m$ , т/м<sup>3</sup>;
- объем материала, заполняющего камеру,  $V_1 = M \cdot \rho_m^{-1}$ , м<sup>3</sup>;
- удельное объемное содержание материала в аэросмеси  $a$ .

Расчет ведут в следующей последовательности.

Число циклов работы питателя, цикл/ч.

$$K = G \cdot M^{-1} . \quad (2.19)$$

Продолжительность каждого цикла, с

$$T = 3600 K^{-1} . \quad (2.20)$$

Объем, м<sup>3</sup> сжатого воздуха, необходимого для транспортирования

$$V_2 = V_1(1 - a)a^{-1} . \quad (2.21)$$

Удельное объемное содержание материала в аэросмеси  $a$  при выходе ее из камерного питателя близко к объемному удельному содержанию сыпучего материала в насыпи  $\sigma$ , которое можно определить как отношение объемной массы насыпи  $\rho'_H$  к плотности материала.

$$\sigma = \rho'_H \cdot \rho_M^{-1}. \quad (2.22)$$

Объем аэросмеси,  $\text{м}^3$

$$V_3 = V_1 + V_2. \quad (2.23)$$

Время транспортирования (предварительно)

$$t_2 = T \cdot 2^{-1}. \quad (2.24)$$

Диаметр материалопровода

$$D_M = 1,13 \overline{V_3(t_2 \cdot u_H)^{-1}}, \quad (2.25)$$

где  $u_H$  - начальная скорость аэросмеси (рекомендуемая величина 3 м/с).

Для дальнейших расчетов необходима величина избыточного давления в камере питателя  $H_K$ , которая еще неизвестна. Величиной  $H_K$  предварительно задаются, а затем ее уточняют методом последовательных приближений.

Количество воздуха,  $\text{м}^3$ , необходимого для транспортирования, в пересчете на нормальные условия

$$V_2^H = V_2 \cdot 1 + H_K \cdot 10^{-2}. \quad (2.26)$$

Массовая концентрация аэросмеси, кг/кг

$$\mu = 830M \cdot V_2^H^{-1}. \quad (2.27)$$

Потери давления в материалопровode  $H_M$ , кПа определяются методом, описанным в настоящем расчете. Если окажется, что  $H_M$  не равно  $H_K$ , находят величину  $H_K$  методом последовательного приближения. Для этого определяют новое значение величины давления в камере  $H'_M = (H_K + H_M) \cdot 2^{-1}$ , кПа, количество воздуха  $V_2^{H'} = V_2 \cdot 1 + H'_M \cdot 10^{-2}$ ,  $\text{м}^3$ , массовую концентрацию транспортируемого материала в аэросмеси  $\mu' = 830M \cdot V_2^{H'}^{-1}$ , кг/кг и потери давления в материалопровode  $H'_M$ , кПа.

Расчет повторяется до тех пор, пока  $H_M$  и  $H_K$  не будут отличаться на величину, не превышающую 5 % от значения  $(H_K + H_M) \cdot 2^{-1}$ .

Давление  $H_{\text{пред}}$ , кПа, развиваемое компрессором

$$H_{\text{пред}} = H_{\text{к}} - H_{\text{вв}}, \quad (2.28)$$

где  $H_{\text{вв}}$  - потери давления в воздуховоде, подводящем воздух к камерному питателю (методика определения дана в предыдущем расчете).

Количество воздуха за весь цикл работы питателя. Для этого определяют количество воздуха на транспортирование,  $\text{м}^3$

$$Q_1 = V_2 \cdot 1 + H_{\text{к}} \cdot 10^{-2}. \quad (2.29)$$

- на набор давления

$$Q_2 = V - V_1 + V_4 \cdot H_{\text{к}} \cdot 10^{-2}, \quad (2.30)$$

где  $V_4$  - вместимость воздуховода, ресивера, маслоотделителя и других емкостей, расположенных между компрессором и камерным питателем.

- на замещение материала в камере

$$Q_3 = V_1 \cdot 1 + H_{\text{к}} \cdot 10^{-2}. \quad (2.31)$$

Общее количество воздуха,  $\text{м}^3$  за весь цикл работы питателя

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3. \quad (2.32)$$

Производительность компрессора,  $\text{м}^3/\text{с}$

$$q_{\text{расч}} = Q_1 + Q_3 \cdot t_2^{-1}. \quad (2.33)$$

Выбирают компрессор, производительность которого должна быть равной  $q_{\text{расч}}$ . В случае отсутствия в номенклатуре воздуходушных машин компрессора такой производительности берут ближайший большей производительности.

По фактической производительности компрессора уточняют значение  $t'_2 = Q_1 + Q_3 \cdot q_{\text{ф}}^{-1}$ , с. Далее проверяют продолжительность цикла работы питателя, для чего находят время набора давления  $t_3 = Q_2 \cdot q_{\text{ф}}^{-1}$  время выпуска сжатого воздуха (ориентировочно на основании опытов)  $t_4 = t_3 \cdot 3^{-1}$ .

Тогда

$$T_{\text{расч}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4. \quad (2.34)$$

Далее уточняют производительность установки, пользуясь выражением,  $\text{т/ч}$ ;  $G = 3600MT_{\text{расч}}^{-1}$ .

Если разница между заданной и расчетной величинами производительности окажется неприемлемой, расчет следует повторить, задавшись другим значением  $t_2$ .

## 2.5 Задание

Рассчитать пневмотранспортную установку для муки со шлюзовым и камерным питателями. Варианты заданий с исходными данными даны в таблицах 2.2 и 2.3.

Таблица 2.2 – Исходные данные для расчета пневмотранспортной установки для муки со шлюзовым питателем

Вар.	Производительность установки, $G_M$ , т/ч	Общая протяженность материалопроводов, $L_M$ , м	Протяжённость прямолинейных воздухопроводов*, м	Вид подачи материала
1	2	20	10	Непрерывная и равномерная
2	2,5	25	11	
3	3	30	12	
4	3,5	35	13	
5	4	40	14	
6	4,5	45	15	
7	5	50	16	
8	5,5	55	17	
9	6	60	18	
10	6,5	65	19	
11	7	70	20	
12	7,5	75	21	
13	8	80	22	
14	8,5	85	23	
15	9	90	24	

\* соединяющих воздухоудку и питатель.  
 трасса включает следующие фасонные части: 4 нормальных отвода, пробковый кран, 2 перехода.

Таблица 2.3 - Исходные данные для расчета пневмотранспортной установки для муки с камерным питателем

Вар.	Производительность установки, $G_m$ , т/ч	Общая протяженность материаловодов, $L_m$ , м	Объем камеры питателя, $V$ , $m^3$	Время заполнения камеры материалом, $t_1$ , с	Производительность устройства для заполнения камеры, $G$ , т/ч	Плотность транспортируемого материала $\rho_m$ , т/м <sup>3</sup>	Масса материала, заполняющего камеру, $M$ , т	Объемная масса насыпи $\rho'_n$ , т/м <sup>3</sup>
1	2	100	0,1	6	3	1,4	0,05	0,57
2	2,5	110	0,2	12	6		0,1	
3	3	120	0,3	18	9		0,15	
4	3,5	140	0,4	24	12		0,2	
5	4	160	0,6	36	18		0,3	
6	4,5	180	0,8	48	24		0,4	
7	5	200	1	60	30		0,5	
8	5,5	210	1,2	72	36		0,6	
9	6	220	1,4	84	42		0,7	
10	6,5	230	1,6	96	48		0,8	
11	7	240	1,8	108	54		0,9	
12	7,5	250	2	120	60		1	
13	8	260	2,2	132	66		1,1	
14	8,5	270	2,4	144	72		1,2	
15	9	280	2,6	156	78		1,3	

### 3 Лабораторная работа №3 Компоновка и расчет аэрозольтранспортной установки

**Цель работы:** изучение конструкции аэрозольтранспортной установки (на примере установки для пневмотранспортирования муки), приобретение навыков ее расчета.

#### 3.1 Общие сведения

Опыт эксплуатации показывает, что всасывающие системы пневмотранспорта меньше пылят по сравнению с нагнетающими. Однако они имеют общие недостатки: громоздки, энергоемки; приобретение, монтаж и эксплуатация обходятся весьма дорого. Эти системы могут обслуживать только квалифицированные рабочие. Протяженность трасс всасывающих систем, как правило, меньше, чем в системах, работающих в режиме избыточного давления.

Пневмоустановка всасывающего типа используется на малых предприятиях. В этих условиях мука из бункеров поступает в шлюзовой затвор или питатель, далее по трубопроводу она направляется в весовой полуавтоматический дозатор, который снабжен заслонкой с пневмоприводом и герметической крышкой в верхней части. Дозатор связан с вакуум-насосом трубопроводом. Отработанный воздух проходит через фильтр и выбрасывается в атмосферу.

При использовании бестарного хранения сырья мука доставляется на хлебопекарные и макаронные предприятия, как правило, автомуковозами.

Склад бестарного хранения муки с пневматическим транспортированием может быть закрытого и открытого типа.

Основные преимущества складов открытого типа заключаются в снижении стоимости эксплуатации, ускорении внедрения бестарного хранения сырья, значительном уменьшении опасности взрыва.

Экономические расчеты показывают, что при проектировании новых хлебозаводов целесообразно строить мучные склады закрытого типа. Открытые мучные склады рекомендуется устанавливать при реконструкции предприятий, переводе их на бестарное хранение основного сырья.

Установка для бестарного хранения муки на пекарнях малой мощности (рисунк 3.1) состоит из накопительного 5 и промежуточного 3 бункеров, опрокидывателя мешков 4, шлюзовых питателей 2 и 15, воздуходувок 1 и 13 с глушителями 12, фильтров 10, соединительных трубопроводов и шлангов.

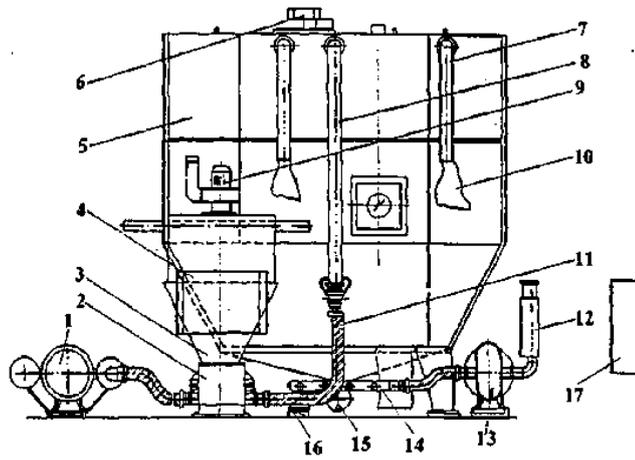


Рисунок 3.1 - Схема пневмотранспортной установки для малых хлебопекарных предприятий

Конструкция аэрируемого днища бункеров с пневмораспределителем 14 для импульсной подачи воздуха и наличие вибратора 6 препятствуют зависанию муки в бункере. Накопительный бункер 5 служит для приема муки как из автомуковоза, так и из промежуточного бункера 3 при ее поступлении в мешках, а также для хранения муки.

При подаче муки из автомуковоза его выходной патрубок соединяется шлангом с загрузочным патрубком 8 бункера и под действием сжатого воздуха, подаваемого от компрессора автомуковоза, мука поступает в бункер. Отработанный воздух выходит через отводящие трубы 7 и фильтры 10.

При подаче муки из мешков к разгрузочному патрубку 8 подсоединяют загрузочный рукав 11 от шлюзового питателя 2, расположенного под промежуточным бункером 3. Мешок с мукой ставят на приемник опрокидывателя 4, открывают крышку промежуточного бункера 3, нажимают педаль гидропривода 16 и придерживают мешок рукой. В течение 10-20 с происходит подъем приемника с мешком. Мешок вскрывают и пересыпают муку в промежуточный бункер 3. Нажимают другую педаль гидропривода, приемник опускается в исходное положение. Закрывают крышку бункера 3.

С помощью кнопки «Пуск» на щите управления 17 включают привод воздуходувки 1, аспиратора 9 и шлюзового питателя 2. Мука из промежуточного бункера подается в накопительный бункер 5.

При подаче муки на производство включается в работу воздуходувка 13, шлюзовой питатель 15; с определенным интервалом открываются воздухопроводы пневмораспределителя 14 для аэрирования муки в бункере.[3]

## 3.2 Расчёт аэрозольтранспортной установки для муки

### 3.2.1 Задание

Выполнить расчет аэрозольтранспортной установки для муки, определив объемный расход воздуха (1)-(2), диаметр трубопровода (7), суммарное давление в системе (3) - (9), мощность электродвигателя привода источника сжатого воздуха (10) и подобрав трубу и источник сжатого воздуха, если заданы: длина материалопровода  $L$ , м, марка просеивателя и его производительность, тип воздуходувной машины, число отводов и поворотов в сети  $n$ , шт. (таблица 3.1).[3]

### 3.2.2 Методика расчета

Допустимую массовую концентрацию смеси  $\mu$ , кг/кг, определяют в зависимости от длины материалопровода и вида нагнетательной установки

$$\mu = \frac{A}{L}, \quad 3.1$$

где  $A$  - величина, зависящая от типа воздуходувной машины (для ротационной воздуходувки  $A = 800$ , сдвоенных воздуходувок  $A = 1200$ , поршневого компрессора  $A = 1800$ );

$L$  - длина материалопровода, м (таблица 3.1).

Объемный расход воздуха  $Q_B$ , м<sup>3</sup>/мин, необходимый для системы

$$Q_B = 13,9 \frac{G_M}{\mu}, \quad (3.2)$$

где  $G_M$  - производительность линии, т/ч.

Производительность линии подачи сырья в склад зависит от вместимости автомуковоза, времени его разгрузки. Производительность линии подачи муки из склада на просеивание равна производительности просеивателя (таблица 3.1).

Суммарное давление  $P_y$ , кПа, в системе складывается из путевых потерь по всей длине материалопровода  $P_{пут}$ , кПа, потерь давления на разгон материала  $P_{разг}$ , кПа, и потерь давления в питателе  $P_{пит}$ , кПа.

Таблица 3.1 - Исходные данные для расчета аэрозольтранспортной установки для муки

Вар.	Длина материалопровода $L$ , м	Марка просеивателя	Производительность просеивателя, т/ч	Тип воздушной машины	Число отводов и поворотов в сети $n$ , шт.
1	16	“Бурат”	1,5	Воздуходувка	2
2	18	“Бурат”	2,0	Воздуходувка	3
3	20	“Бурат”	2,5	Компрессор	4
4	22	“Бурат”	3,0	Компрессор	2
5	16	“Воронеж”	9,5	Воздуходувка	3
6	18	“Воронеж”	10,0	Воздуходувка	4
7	20	“Воронеж”	10,5	Компрессор	2
8	22	“Воронеж”	11,0	Компрессор	3
9	16	Ш2-ХМВ	5,5	Воздуходувка	4
10	18	Ш2-ХМВ	6,0	Воздуходувка	2
11	20	Ш2-ХМВ	6,5	Компрессор	3
12	22	Ш2-ХМВ	7,0	Компрессор	4
13	16	“Бурат”	1,5	Воздуходувка	2
14	18	“Бурат”	2,0	Компрессор	3
15	20	“Бурат”	2,5	Компрессор	4

Путевые потери давления по длине материалопровода определяют по формуле

$$P_{\text{пут}} = \frac{0,133 \cdot 0,2 \cdot \mu \cdot L}{1 - 0,0002 \cdot \mu \cdot L} \quad (3.3)$$

Потери давления на разгон материала

$$P_{\text{пут}} = \frac{0,133 \cdot \mu \cdot V_{\text{к}}^2 (1 + 0,5 \cdot n)}{112} \quad (3.4)$$

где  $V_{\text{к}}$  - конечная скорость воздуха в материалопроводе, м/с;

$n$  - число отводов и поворотов в сети (таблица 3.1).

Конечная скорость воздуха в материалопроводе

$$V_{\text{к}} = V_{\text{н}} \left( 1 + \frac{P_{\text{пут}}}{0,133 \cdot 500} \right) \quad (3.5)$$

где  $V_{\text{н}}$  - начальная скорость воздуха в материалопроводе, м/с,

$$V_{\text{н}} = V_{\text{в}} \cdot K_{\text{в}} \quad (3.6)$$

где  $V_{\text{в}}$  - скорость витания материала, м/с;

$K_B$  - коэффициент витания (для муки  $V_B = 2 - 3$  м/с,  $K_B = 2 - 3$ ).  
Диаметр трубопровода  $d$ , м,

$$d = \frac{4 \cdot Q_B}{\pi \cdot V_K \cdot 60} \quad (3.7)$$

По полученному значению  $d$  подбирают стандартную трубу с соответствующим внутренним и наружным диаметром (таблица 3.2).

Таблица 3.2 - Характеристика труб стальных бесшовных горячекатанных

Условный проход, мм	Размеры труб, мм		Теоретическая масса, 1 м погонной длины трубы, кг	Площадь поверхности сечения, м <sup>2</sup>
	Наружный диаметр и толщина стенки	Номинальный внутренний диаметр		
1	2	3	4	5
33	38×2,5	33	2,19	0,00086
40	45×2,5	40	2,62	0,00126
45	50×2,5	45	2,93	0,00157
50	57×3,5	50	4,26	0,00196
70	76×3,5	69	6,26	0,00386
80	89×3,5	82	7,38	0,00525
100	108×4	100	10,26	0,00785
125	133×4	125	12,73	0,0123
150	159×4,5	150	17,14	0,0176
200	219×7	205	36,6	0,0329
250	273×7	259	45,92	0,0526
300	325×9	307	70,14	0,0737
350	377×9	359	81,68	0,1112

Потери давления в питателе

$$P_{\text{пит}} = \frac{0,133 \cdot 0,02 \cdot G_M \cdot Q_B^{0,35}}{d^2} + \frac{0,133 \cdot 3,3 \cdot Q_B}{D^2 \left( 1 + \frac{P_{\text{пут}} + P_{\text{разг}}}{0,133 \cdot 735} \right)}, \quad (3.8)$$

где  $D$  - диаметр аэрокамеры питателя, м ( $D = 0,1$  м).

Суммарное давление  $P_y$ , кПа, в системе

$$P_y = 1,1 P_{\text{пут}} + P_{\text{разг}} + P_{\text{пит}} \quad (3.9)$$

Потребная мощность электродвигателя  $N_{\text{дв}}$ , кВт, источника сжатого воздуха

$$N_{\text{дв}} = \frac{Q_{\text{в}} \cdot P_{\text{у}}}{60 \cdot \eta_{\text{возд}} \cdot \eta_{\text{п}}}, \quad (3.10)$$

где  $\eta_{\text{возд}}$  - КПД воздуходувной машины (для поршневых компрессоров  $\eta_{\text{возд}} = 0,3 - 0,5$ ; для ротационных воздуходувок малой производительности  $\eta_{\text{возд}} = 0,2 - 0,26$ , большой производительности  $\eta_{\text{возд}} = 0,53 - 0,6$ );

$\eta_{\text{п}}$  - КПД передачи (при наличии ременной передачи  $\eta_{\text{п}} = 0,85$ , при соединении валов через муфту  $\eta_{\text{п}} = 0,98$ ). [4]

На основании полученных значений суммарного давления в системе  $P_{\text{у}}$  и расхода воздуха  $Q_{\text{в}}$  выбирают источник сжатого воздуха (таблица 3.2).

Схема аэрозольтранспортной установки для муки представлена на рисунке 3.32.

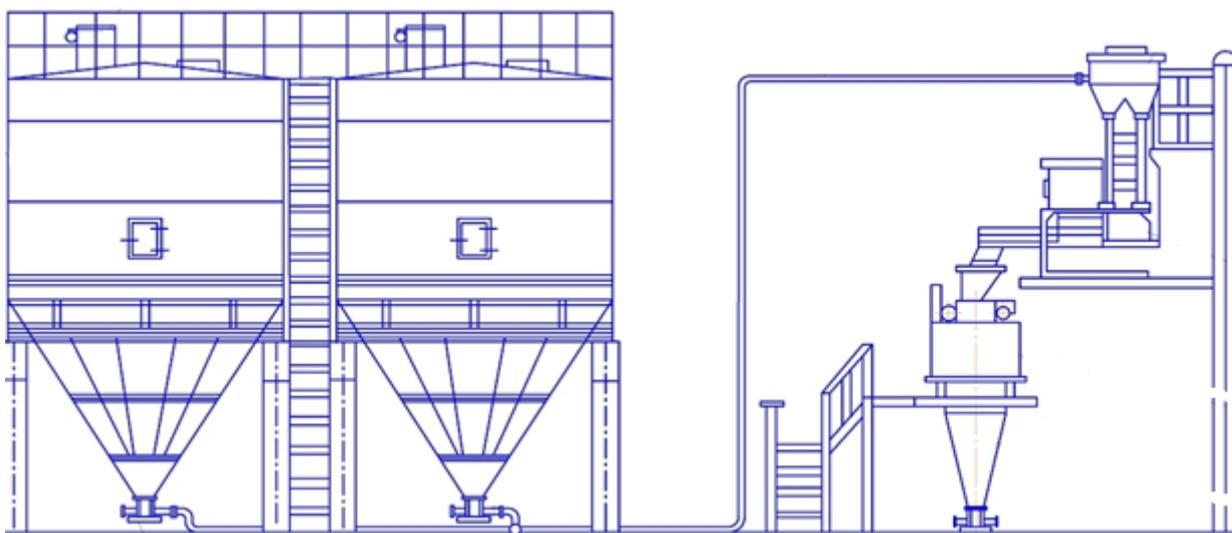


Рисунок 3.2 - Схема аэрозольтранспортной установки для муки

Таблица 3.3 - Технические характеристики источников сжатого воздуха

Марка источника сжатого воздуха	Производительность, м <sup>3</sup> /мин	Давление, МПа	Мощность привода, кВт	Габаритные размеры, мм
1	2	3	4	5
<b>Компрессоры</b>				
Atlas GA 7	1,2	0,8	7,5	1158×600×1779
Atlas GA 30	4,5	0,8	30	1255×650×1400
Atlas GA 30+	5,6	0,8	30	1395×865×1625
Atlas GA 55	9,9	0,7	55	2040×970×1802
Atlas GA 75	13,1	0,7	75	2040×970×1802
Alup SCK 8	0,8	0,8	5,5	965×662×1045
Alup SCK 42	4,6	0,8	30	1470×795×1170
Alup SCK 76	10	0,7	55	1520×850×1355
Alup SCK 102	12	0,7	75	1520×850×1355
Alup SCK 181	20	0,7	132	2300×1400×1525
Alup SCK 221	30	0,7	160	2300×1400×1525
Alup OPUS 280	48	0,8	280	3400×1400×1525
Alup ollegro 20	0,5-3,5	0,5-1,3	20	1270×795×1170
Alup ollegro 90	3,5-16,3	0,5-1,3	90	2160×1060×1600
Alup ollegro 260	11-42	0,5-1,3	260	3500×1650×2025
Alup solo 30	0,7-4	0,5-1,3	30	1140×890×1315
202 ВП-12/3	12	0,344	75	1585×1330×1775
305 ВП-40/3	40	0,344	200	3140×1880×2580
305 ВП-40/3	40	0,344	200	2810×1810×2830
2ПГ-4/5	4	0,49	30	3350×2030×2235
302 ВП-10/2	10	0,785	75	1650×1330×2025
ВУ 6/4	5,6	0,36	30	1740×1195×1225
2ВУІ-5/4	5	0,4	22	1290×1000×910
Компрессор автомуковоза	6	0,15	-	-
<b>Воздуходувки</b>				
ДКАВ 30	7	0,3	22	1220×1000×950
ROBOX ES 15	4	0,09	11	-
ROBOX ES 35	8	0,1	22	-
ROBOX ES 135	90	0,1	200	-
РУТ-ІА-22	0,53	0,08	5,5	1136×612×581
РУТ-ІА-24	0,83	0,03	8	1115×56×535

## Список использованных источников

1. Малис, А.Я. Пневматический транспорт для сыпучих материалов / А.Я. Малис, М. Г. Касторных. - Москва: Агропромиздат, 1985. - 344 с.
2. Пневмотранспортные установки: справочник / А.А. Воробьев и др. – Москва: Машиностроение, 1989. - 200 с.
3. Хромеенков, В.М. Технологическое оборудование хлебозаводов и макаронных фабрик / В.М. Хромеенков. - Санкт-Петербург: ГИОРД, 2004. - 496 с.
4. Расчет элементов систем пневмотранспорта: метод. указания к практ. работам № 1 - 2 по курсу «Основы аппаратурного и машинного оформления технологических процессов» / Воронеж. гос. ун-т инж. технол.; сост. А.А. Журавлев, М.Г. Магомедов, В.В. Ткач. - Воронеж: ВГУИТ, 2012. - 27 с.