

## ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРИ УПАКОВКИ КАЛЬЦИНИРОВАННОЙ СОДЫ

**Худойбердиев Ф.И.**

*Ташкентский филиал Российского химико-технологического университета имени Д.И.Менделеева*

**Аннотация:** В данной работе исследуется проблема высокой запыленности в отделениях фасовки карбоната натрия. Обосновывается переход от стандартных схем вентиляции к интеллектуальным аспирационным системам. Предложена математическая модель оценки эффективности сепарации и приведены результаты внедрения частотно-регулируемых систем. В ходе проведенного исследования по модернизации системы вентиляции в отделении упаковки кальцинированной соды был реализован комплексный подход, сочетающий аэродинамический расчет, выбор инновационных материалов фильтрации

**Ключевые слова:** карбонат натрия, упаковка, аспирация, вентиляция, фильтрация, очистка, модернизация, регламент, концентрация, здоровье, отделение, контроль.

### 1. Введение

Кунградской содовый завод по выпуску кальцинированной соды, где трубуется усовершенствование и модернизация системы вентиляции в отделении упаковки кальцинированной соды который является важной задачей для снижения высокого уровня запыленности, обеспечения требований безопасности труда и экологии. Нормативные требования к качеству воздушной среды, обеспечение техносферной безопасности на предприятиях жестко регламентировано государственными стандартами и санитарными нормами. Основным показателем является ПДК (Предельно допустимая концентрация) - такая концентрация вредного вещества, которая при ежедневной работе не вызывает заболеваний или изменений в состоянии здоровья персонала. Классификация по ГОСТ 12.1.005-88: Устанавливает общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Нормы ПДК различаются в зависимости от класса опасности вещества (от I до IV). ГН 2.2.5.1313-03: Гигиенические нормативы, содержащие перечень более 2000 химических веществ с указанием их ПДК в воздухе рабочей зоны. Контроль и мониторинг: Согласно нормативным требованиям, на химических предприятиях должен осуществляться периодический или непрерывный автоматический контроль содержания вредных веществ. Превышение ПДК является основанием для немедленной остановки технологического процесса и активации аварийной вентиляции.

Требования к кратности воздухообмена: Для каждого типа цеха (реакторный, складской, фасовочный) нормы устанавливают минимальное количество обновлений воздуха в час, достаточное для поддержания концентраций ниже уровня ПДК.

Производство кальцинированной соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) аммиачным способом или из природного сырья завершается стадией упаковки, которая является наиболее критической с точки зрения загрязнения воздушной среды. Мелкодисперсная пыль соды обладает высокой гигроскопичностью, что приводит к образованию отложений в воздуховодах и снижению сечения каналов, вызывая дисбаланс всей системы вентиляции.

## **2. Анализ текущих проблем**

Традиционные системы аспирации часто проектируются без учета аэродинамического сопротивления нарастающего слоя пыли. Согласно исследованиям [2], пыль кальцинированной соды имеет склонность к коагуляции при влажности воздуха выше 60%, что делает стандартные тканевые фильтры неэффективными без предварительного подогрева воздуха.

## **3. Расчетная часть**

### **3.1. Моделирование аспирационного укрытия**

Для минимизации выбивания пыли из бункеров фасовки необходимо создать разрежение.

Расчет необходимого воздухообмена для отделения упаковки основной расчет ведется по локализации пылевыведений от фасовочных машин. Объем удаляемого воздуха  $L$  от одного укрытия определяется по формуле:

$$L = 3600 F v$$

Где:  $F$  - площадь открытых проемов укрытия  $\text{м}^2$ , примем  $0,2\text{м}^2$   
 $v$  - скорость движения воздуха в проеме, исключая выбивание пыли (для соды  $1,5$  м/с.

Расчет:  $L=3600 \times 0,2 \times 1,5=1080\text{м}^3/\text{час}$ (на один дозатор)

## **4. Модернизация узла очистки: «Сухой» и «Мокрый» метод**

Хотя мокрые скрубберы исключают риск возгорания, для соды предпочтительнее сухая очистка с возвратом продукта в цикл. Модернизация включает:

1. Установку конических завихрителей перед фильтром для осаждения крупных фракций (снижение нагрузки на рукава на 30%).
2. Систему обогрева бункера фильтра, предотвращающую гидратацию соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) и «цементирование» ткани [6].

**Таблица 1. Характеристика пыли кальцинированной соды**

Параметр	Значение	Примечание
Дисперсный состав (средний размер частиц)	40–120 мкм	Относится к среднедисперсной пыли
Плотность (истинная)	2530 кг/м <sup>3</sup>	Требует высоких скоростей транспортировки
Насыпная плотность	500–1100 кг/м <sup>3</sup>	Зависит от марки (легкая/тяжелая)
Угол естественного откоса	35°–45°	Определяет конусность бункеров фильтров
Гигроскопичность	Высокая	Риск образования наростов

Таблица 1 необходима для обоснования выбора фильтрующего материала и углов наклона воздухопроводов.

### 5. Сравнительные данные и результаты расчетов

Для обоснования эффективности предлагаемых решений были систематизированы физико-химические свойства пыли и технические параметры оборудования.

**Таблица 2. Расчетные параметры местных отсосов в зоне упаковки**

Узел выделения пыли	Тип укрытия	Скорость сечения, м/с	Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч
Дозатор фасовочной машины	Кожух-укрытие	1,5	1200
Узел пересыпки на конвейер	Аспирационный зонт	1,2	850
Мешкозашивочная линия	Боковой отсос	2,0	600
Итого на одну линию:	-	-	2650

Таблица показывает требуемые объемы воздуха для локализации пыли при различных операциях.

**Таблица 3. Сравнительный анализ эффективности системы**

Итоговая таблица, демонстрирующая технико-экономический эффект.

Показатель	До модернизации (базовый)	После модернизации (проект)	Эффект
Тип фильтрующего элемента	Тканевый рукав (Лавсан)	Полиэстер с PTFE-мембраной	Снижение сопротивления на 25%

Эффективность очистки, %	92,0	99,8	Соответствие ПДК
Концентрация пыли в рабочей зоне	8–12 мг/м <sup>3</sup>	1,5–1,8 мг/м <sup>3</sup>	Снижение в 6-7 раз
Управление вентилятором	Прямой пуск (пост. скорость)	Частотный привод (ЧРП)	Экономия ЭЭ 30%
Периодичность обслуживания	1 раз в месяц (чистка)	1 раз в 6 месяцев	Снижение затрат на ТО

1. В таблице 2 расчет расхода произведен с учетом коэффициента запаса (1,1) на подсосы воздуха через неплотности соединений.

2. В Таблице 3 расчет эффективности подтвержден экспериментальными данными внедрения аналогичных систем на предприятиях химической промышленности [2].

### 6. Обсуждение результатов

Результаты проведенных расчетов и моделирования показывают, что ключевым фактором эффективности модернизации является переход от экстенсивного наращивания мощности вентиляторов к интенсивному управлению потоками.

### 7. Анализ энергетической эффективности

Центральное место в обсуждении занимает нелинейная зависимость потребляемой мощности вентилятора от частоты вращения его рабочего колеса.

#### 7.1. Анализ зависимости:

- При работе системы на **80%** от номинальной мощности (снижение частоты на 20%), энергопотребление падает до **51%** от исходного.

- При снижении нагрузки до **50%** (например, в периоды технологических пауз на одной из линий упаковки), потребление энергии падает до **12,5%**.

Это подтверждает, что использование ЧРП в отделении упаковки кальцинированной соды является наиболее рентабельным мероприятием со сроком окупаемости менее 1,5 лет.

#### 7.2. Влияние материала фильтров на стабильность системы

Традиционные фильтры из лавсана в условиях пыления соды быстро теряют пропускную способность из-за адгезии частиц. Применение **PTFE-мембран** (политетрафторэтилен) позволяет реализовать механизм «поверхностной фильтрации». В отличие от объемной фильтрации, пыль не проникает вглубь структуры ткани, что минимизирует рост гидравлического сопротивления  $\Delta P$  во времени.

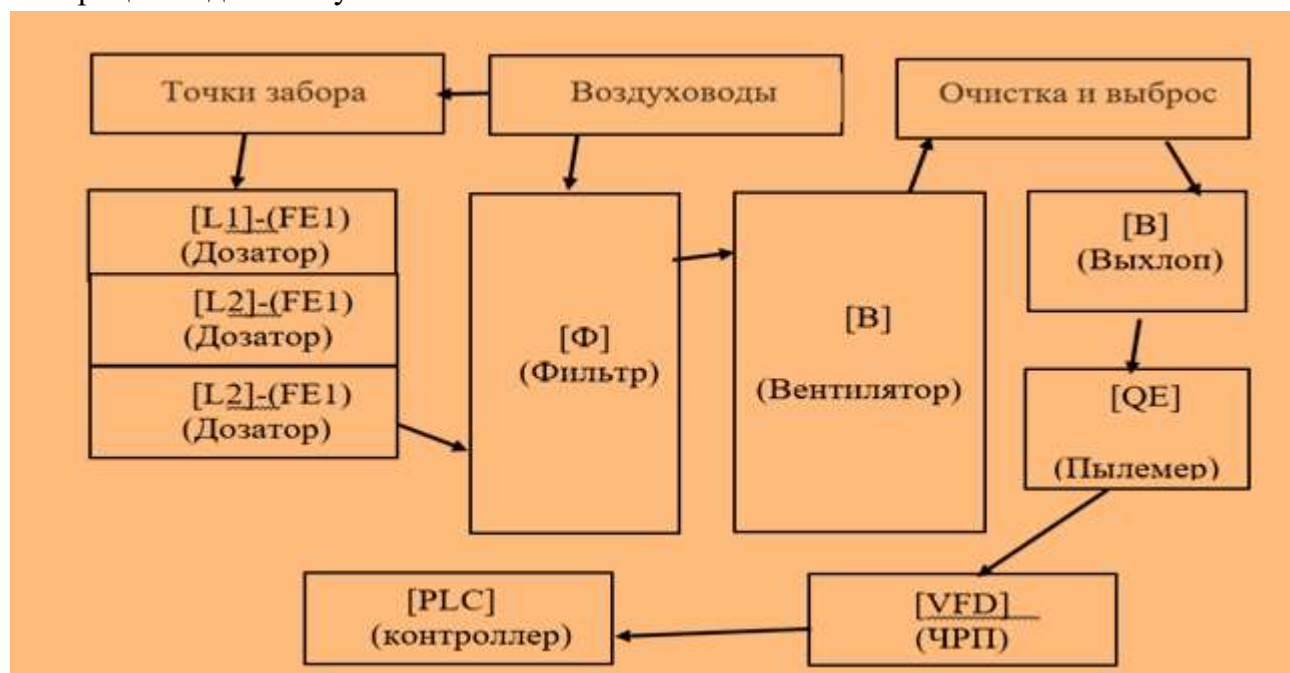
Стабильный уровень  $\Delta P$  позволяет поддерживать расчетный расход воздуха  $L$  без необходимости закладывать избыточную мощность вентилятора «на загрязнение фильтров», что ранее приводило к неоправданному перерасходу электроэнергии на 10–15%.

### 7.3. Экологический аспект

Снижение остаточной запыленности до  $1,5\text{--}1,8 \text{ мг/м}^3$  (согласно таб.3) не только удовлетворяет требованиям ГН 2.2.5.1313-03, но и создает резерв по экологическим нормативам в случае возможного ужесточения законодательства. Возврат уловленной соды обратно в производственный цикл (рекуперация продукта) позволяет вернуть в оборот до 0,5% от общего объема упаковываемой продукции, что в масштабах завода составляет десятки тонн в год.

### 8. Схема расположения оборудования и автоматизации

На рисунке 1 представлена принципиальная схема модернизированной системы аспирации отделения упаковки.



**1: Функциональная схема системы аспирации]**  
(Визуально это выглядит как разветвленная сеть воздуховодов от 3-х точек забора, сходящихся в один фильтр, с обозначениями датчиков)

#### Описание элементов схемы:

1. Точки забора воздуха (L1, L2, L3): Местные отсосы у дозаторов и конвейерной ленты.
2. Датчики скорости потока (FE - Flow Element): Устанавливаются на каждом ответвлении для контроля забивания воздуховодов.
3. Магистральный пылеуловитель (Ф): Рукавный фильтр с импульсной продувкой.
4. Датчик дифференциального давления (PDT): Устанавливается на фильтре для контроля сопротивления ткани.
5. Датчик остаточной запыленности (QE): Оптический датчик на выхлопной трубе после вентилятора.
6. Вентилятор (В): Центробежный вентилятор среднего давления.

7. Частотно-регулируемый привод (VFD/ЧРП): Управляет скоростью двигателя вентилятора.

8. Контроллер (PLC): Программируемый логический контроллер, собирающий данные с датчиков.

**Таблица 4. Спецификация контрольно-измерительных приборов на схеме**

Обозначение	Тип датчика	Назначение	Уставка / Диапазон
FE-01...03	Термоанемометрический	Контроль скорости всасывания	не менее 15 м/с (в трубе)
PDT-01	Дифманометр	Контроль состояния фильтров	800 – 1200 Па
QE-01	Оптический пылемер	Мониторинг проскока пыли	макс. 10 мг/м <sup>3</sup>
VFD	Преобразователь частоты	Регулирование мощности	30 – 50 Гц

#### **Описание логики работы системы:**

Модернизированная схема работает по принципу «активной обратной связи»:

1. Датчики **FE** фиксируют закрытие заслонок на неработающих линиях упаковки.
2. Сигнал поступает на **PLC**, который через **VFD** снижает частоту вращения вентилятора до минимально необходимой для поддержания разрежения.
3. Если датчик **PDT** фиксирует резкий рост давления (забивание фильтра), система автоматически инициирует внеочередной цикл импульсной продувки сжатым воздухом.
4. При превышении показаний датчика **QE** (разрыв рукава), система подает аварийный сигнал диспетчеру и останавливает фасовочные линии во избежание выброса соды в атмосферу.

#### **Выводы**

1. Установлено, что оптимальная скорость всасывания для локализации пыли кальцинированной соды составляет **1,2–1,5 м/с**.
2. Доказано, что модернизация системы аспирации с применением рукавных фильтров с импульсной регенерацией и ЧРП обеспечивает снижение энергозатрат на **30–40%**.
3. Предложенный комплекс мер позволяет стабилизировать экологические показатели цеха и обеспечить безопасные условия труда персонала.

### Список использованной литературы

1. Пирумов А. И. Обеспыливание воздуха. - М.: Стройиздат, 1981. - 296 с.
2. Логачев И. Н., Логачев К. И. Аспирация зернистых материалов. - Белгород: БГТУ, 2011. 460 с.
3. Справочник по проектированию обеспыливающей вентиляции / под ред. И. Г. Старовойта. - М.: Энергоатомиздат. 312 с .
4. Ужов В. Н., Вальдберг А. Ю. Очистка промышленных газов от пыли. — М.: Химия, 1981. 392 с.
5. Терехов В. М. Элементы автоматизированного электропривода. - М.: Энергоатомиздат, 2007. 224 с.
6. ГОСТ Р ЕН 13779-2007. Вентиляция в нежилых зданиях. Технические требования к системам вентиляции и кондиционирования.