

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА «ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ  
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ»

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

*Методические указания к лабораторной работе  
по курсу «Безопасность жизнедеятельности»*



Волгоград 2013

УДК 658.345 : 628.511 (075)

Р е ц е н з е н т :

зав. кафедрой «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»  
Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета,  
докт. техн. наук, профессор *В. Н. Азаров*

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Волгоградского государственного технического университета

**Кудашев, С. В.**

Исследование запыленности воздушной среды: методические указания к лабораторной работе по курсу «Безопасность жизнедеятельности» / С. В. Кудашев, В. Ф. Желтобрюхов. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2013.- 28 с.

Методические указания содержат теоретические основы и требования, предъявляемые к качеству воздуха производственной среды, содержащей вредные вещества (пыль). Приведены методы анализа запыленности воздушной среды и типовые методики расчета необходимого воздухообмена и пылевой нагрузки, а также показаны принципы подбора вентилятора и респиратора.

Предназначены для студентов различных форм обучения всех специальностей, изучающих курс «Безопасность жизнедеятельности».

Ил. 4. Табл. 5. Библиогр.: 9 назв.

© Волгоградский государственный технический университет, 2013

---

Составители:

**Сергей Владимирович Кудашев**  
**Владимир Федорович Желтобрюхов**

*Методические указания  
к лабораторной работе по курсу «Безопасность жизнедеятельности»*

Темплан 20\_\_ г., поз. №\_\_.

Подписано в печать \_\_\_\_\_. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,63.

Тираж \_\_ экз. Заказ 904.

Волгоградский государственный технический университет.  
400131, Волгоград, просп. им. В. И. Ленина, 28, корп. 1.

Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ.  
400131, Волгоград, просп. им. В. И. Ленина, 28, корп. 7.

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Определение количественного содержания пыли в воздухе рабочей зоны весовым методом.
2. Установление соответствия полученных результатов санитарно-гигиеническим требованиям, предъявляемым к воздуху производственной среды (ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»; ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны»; Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда»).
3. Освоение методики расчета пылевой нагрузки и необходимого воздухообмена, а также принципов подбора вентилятора и респиратора.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Классификация производственной пыли

**Пыль** – это дисперсная система, состоящая из твердых частиц, взвешенных в газовой фазе (воздухе). Если размер твердых частиц составляет более 1 мкм, то такую систему принято называть собственно пылью, а менее 1 мкм – дымом. Пыли, взвешенные в воздухе, называются *аэрозолями*, а осевшие на поверхность – *аэрогелями*.

В различных отраслях промышленности может образовываться значительное количество пыли. На производстве в больших объемах пыль образуется при дроблении, просеивании, сушке, транспортировании и подаче дисперсных материалов в аппаратуру, а также при перегрузке и перевозке пылящих грузов (цемент, щебень, песок, уголь), выполнении шлифовальных, термических, кузнечных, сварочных, шиномонтажных, строительных, уборочно-моечных и других работ.

Производственная пыль может быть классифицирована по ряду признаков:

- 1) по происхождению различают пыль:
  - *неорганическая* (минеральная: кварц, асбест, глина, стекловата, цемент; металлическая: чугунная, медная, алюминиевая, цинковая);
  - *органическая* (растительная: древесная, зерновая, мучная, хлопковая; животная: шерстяная, волосная; искусственная: резиновая, пластмассовая);
  - *биологическая* (витающие микроорганизмы);
  - *смешанная*;
- 2) по условиям образования различают пыль:

- *аэрозоли дезинтеграции* (образуются в процессе механического измельчения твердых материалов в дробилках и мельницах, бурении, просеивании сыпучих материалов);

- *аэрозоли конденсации* (образуются при термических процессах возгонки, плавления и конденсации (например, паров металлов));

3) по дисперсности (размерам частиц) различают пыль:

- *видимая* (частицы размерами  $> 10$  мкм);

- *микроскопическая* (частицы размерами 0,25-10 мкм);

- *ультрамикроскопическая* (частицы размерами  $< 0,25$  мкм);

- *смешанная* (полидисперсная пыль);

4) по горючести различают пыль: *горючая, трудногорючая и негорючая*;

5) по биологической активности различают пыль:

- *раздражающая* (металлическая, минеральная, древесная, пластмассовая);

- *токсичная* (соли хрома, ртути, мышьяка, свинца и других тяжелых и поливалентных металлов, карбид кальция);

- *смешанная*;

6) по форме частиц (округлая, волокнистая, пластинчатая, с острыми зазубренными краями, игольчатая пыль);

7) по растворимости частиц (пыль растворимая, частично растворимая и нерастворимая в воде или биологических жидких средах (кровь, лимфа, желудочный сок));

8) по вызываемым заболеваниям (бронхит, пневмокониоз (заболевание легких), фиброз, силикоз (от кварцевой пыли), силикатоз (от солей кремниевой кислоты), металлокониоз (от металлической пыли), антракоз (от угольной пыли), сидероз (от железосодержащей пыли), асбестоз (от асбестовой пыли), цементоз (от цементной пыли), талькоз (от тальковой пыли), дерматит, экзема, ожоги кожи и дыхательных путей, конъюнктивит (заболевание глаз));

9) другой признак (удельная поверхность ( $\text{м}^2/\text{г}$ ), твердость, электропроводность, способность переносить электрический заряд, волокнистость, адгезионные свойства, смачиваемость, гигроскопичность, радиоактивность).

Важно, что помимо вредного воздействия на организм человека, производственная пыль способна существенно ухудшать антифрикционные, противоизносные и противозадирные свойства конструкционных материалов, повышать износ трущихся частей оборудования (подшипники, втулки, узлы трения), что приводит к браку продукции.

Пыль может быть носителем самых различных микроорганизмов – микробов, клещей и яиц гельминтов, вызывая инфекционные заболевания (туберкулез органов дыхания, гепатит, бруцеллез, орнитоз и инфекционные

заболевания кожи). Нормирование содержания таких вредных веществ должно осуществляться в соответствии с ГН 2.2.6.709-98 «Предельно-допустимые концентрации микроорганизмов-продуцентов, бактериальных препаратов и их компонентов в воздухе рабочей зоны».

Пыли горючих веществ являются пожароопасными. Витаящая в воздухе или осевшая на оборудовании пыль может тлеть и гореть, а также образовывать взрывоопасную смесь. В соответствии с ГОСТ 12.1.041-83 «Пожаро- и взрывобезопасность горючих пылей»: «*Горючая пыль* – это дисперсная система, состоящая из твердых частиц, размером менее 850 мкм, находящихся во взвешенном или осевшем состоянии в газовой среде и способная к самостоятельному горению в воздухе нормального состава».

Горючие пыли, находящиеся *во взвешенном состоянии* в газовой среде, характеризуются следующими показателями пожаровзрывоопасности: нижний концентрационный предел распространения пламени (воспламенения) (НКПР), минимальная энергия зажигания ( $W_{\min}$ ), максимальное давление взрыва ( $p_{\max}$ ), скорость нарастания давления при взрыве ( $dp/dt$ ) и минимальное взрывоопасное содержание кислорода (МВСК).

Горючие пыли, находящиеся *в осевшем состоянии* в газовой среде, характеризуются следующими показателями пожаровзрывоопасности: температура воспламенения, температура самовоспламенения ( $t_{\text{св}}$ ), температура самонагрева, температура тления, температурные условия теплового самовозгорания, минимальная энергия зажигания ( $W_{\min}$ ) и способность взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и другими веществами.

Все виды промышленной пыли по пожаровзрывоопасности принято разделять на 4 класса (по М. Г. Годжелло):

а) *I класс* – наиболее взрывоопасная пыль с нижним пределом распространения пламени (воспламенения) 15 г/м<sup>3</sup> и менее;

б) *II класс* – взрывоопасная пыль с нижним пределом распространения пламени (воспламенения) от 16 до 65 г/м<sup>3</sup>;

в) *III класс* – наиболее пожароопасная пыль с температурой самовоспламенения в осевшем состоянии не выше 250 °С;

г) *IV класс* – пожароопасная пыль с температурой самовоспламенения в осевшем состоянии выше 250 °С.

Пыль способна адсорбировать газы и в том числе и воздух, что облегчает процессы ее окисления и воспламенения. Мелкодисперсная (микроскопическая и ультрамикроскопическая) пыль имеет большую удельную поверхность и химическую активность, более низкую температуру самовоспламенения, меньший нижний предел воспламенения и большую область воспламенения.

Увеличение относительной влажности воздуха уменьшает концентрацию витающей пыли и способствует предотвращению появления взрыва. При этом

увеличение скорости движения воздуха в производственных помещениях приводит к частичному уменьшению дисперсности пыли и увеличению ее концентрации в воздушной среде, что повышает вероятность возникновения взрыва.

## 2.2 Гигиеническое нормирование запыленности воздушной среды

Чистый воздух имеет следующий химический состав (% об.): азот – 78,08; кислород – 20,94; аргон, неон и другие инертные газы – 0,94; углекислый газ – 0,03; прочие газы – 0,01.

В основу качественного гигиенического нормирования загрязнения воздушной среды положено понятие вредного вещества. В соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности»: «*Вредное вещество* – вещество, которое при контакте с организмом человека в случае нарушений требований безопасности может вызывать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами, как в процессе работы, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений».

Количественное гигиеническое нормирование содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны и населенных мест должно осуществляться с использованием величин предельно допустимых концентраций.

*Предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны (ПДК<sub>р.з.</sub>, мг/м<sup>3</sup>)* – это такая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны, которая при воздействии на человека в течение 8-часовой ежедневной работы, но не более 41 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа, не вызовет у человека заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований, в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

*Предельно допустимая максимально разовая концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест (ПДК<sub>м.р.</sub>, мг/м<sup>3</sup>)* – наиболее высокая из числа 30-минутных концентраций, зарегистрированных в данной точке за определенный период наблюдения, и не вызывающая при кратковременном воздействии рефлекторных реакций у человека (например, ощущение запаха).

*Предельно допустимая среднесуточная концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест (ПДК<sub>с.с.</sub>, мг/м<sup>3</sup>)* – это средняя из числа концентраций, выявленных в течение суток или отбираемая непрерывно в течение 24 ч и не оказывающая на человека прямого или косвенного вредного воздействия в условиях неопределенно долгого круглосуточного дыхания.

В большинстве случаев имеет место следующее неравенство:

$$\text{ПДК}_{\text{р.з.}} > \text{ПДК}_{\text{м.р.}} > \text{ПДК}_{\text{с.с.}}$$

Указанные предельно допустимые концентрации приводятся в государственном стандарте и гигиенических нормативах (таблица 1):

1) ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»;

2) ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны»;

3) ГН 2.1.6.695-98 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест».

ПДК вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест, включающие 109 наименований, установлены согласно СанПиН 2.1.6.983-00 «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест».

Таблица 1

**Характеристика токсических свойств некоторых аэрозолей**

Вещество	ПДК <sub>р.з.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>м.р.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>с.с.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Характер воздействия на организм человека
Мел	0,8	0,5	0,15	3	Аэрозоли обладают преимущественно резорбтивным действием.
Цеолиты	6	2	0,5	3	Аэрозоли обладают преимущественно фиброгенным действием.
Цемент	8	0,3	0,1	3	Аэрозоли обладают преимущественно резорбтивным действием.

В соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности» все химические вещества подразделяются на 4 класса опасности:

- а) 1-й класс – чрезвычайно опасные ( $\text{ПДК} < 0,1 \text{ мг/м}^3$ );
- б) 2-й класс – высокоопасные ( $0,1 \text{ мг/м}^3 < \text{ПДК} < 1,0 \text{ мг/м}^3$ );
- в) 3-й класс – умеренно опасные ( $1,0 \text{ мг/м}^3 < \text{ПДК} < 10,0 \text{ мг/м}^3$ );
- г) 4-й класс – малоопасные ( $\text{ПДК} > 10,0 \text{ мг/м}^3$ ).

### 2.3 Понятие и расчет пылевой нагрузки

Гигиеническое нормирование содержания пыли в воздухе рабочей зоны, исходя из соответствующего класса условий труда представлено в табл. 2 (Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда»).

Основным показателем оценки степени воздействия АПФД на органы дыхания работника является пылевая нагрузка. В случае превышения ПДК фиброгенной пыли расчет пылевой нагрузки обязателен.

Таблица 2

**Классы условий труда в зависимости от содержания в воздухе рабочей зоны аэрозолей преимущественно фиброгенного действия (АПФД) и пылей, содержащих природные и искусственные волокна (кратность превышения ПДК, раз)**

Аэрозоли	Класс условий труда						4-й опасный (экстремальный)
	1-й оптимальный	2-й допустимый	3-й вредный				
			1-й степени (3.1)	2-й степени (3.2)	3-й степени (3.3)	4-й степени (3.4)	
Высоко- и умереннофиброгенные АПФД; пыли, содержащие природные (асбесты, цеолиты) и искусственные (стеклянные, керамические, углеродные и др.) минеральные волокна	-	$\leq$ ПДК $\leq$ КПН	1,1-2 ПДК	2,1-4 ПДК	4,1-10 ПДК	$>10$ ПДК	-
Слабофиброгенные АПФД	-	$\leq$ ПДК $\leq$ КПН	1,1-3 ПДК	3,1-6 ПДК	6,1-10 ПДК	$>10$ ПДК	-

Пылевая нагрузка на органы дыхания работника – это реальная или прогностическая величина суммарной экспозиционной дозы пыли, которую работник вдыхает за весь период фактического (или предполагаемого) профессионального контакта с пылью. Пылевая нагрузка (ПН, мг) на органы дыхания работника (или группы работников, если они выполняют аналогичную работу в одинаковых условиях) рассчитывается, исходя из фактических среднесменных концентраций АПФД в воздухе рабочей зоны, объема легочной вентиляции (зависящего от тяжести труда) и продолжительности контакта с пылью.

Полученные значения фактической ПН сравнивают с величиной *контрольной пылевой нагрузки (КПН)*, под которой понимают пылевую нагрузку, сформировавшуюся при условии соблюдения ПДК пыли в течение всего периода профессионального контакта с фактором. При соответствии фактической пылевой нагрузки контрольному уровню условия труда относят к допустимому классу и подтверждают безопасность продолжения работы в тех же условиях. Кратность превышения контрольных пылевых нагрузок указывает на класс вредности условий труда по данному фактору (табл. 2). При превышении контрольных пылевых нагрузок рекомендуется использовать



принцип «защиты временем» (проводится расчет допустимого стажа работы в этих условиях труда).

*Пример расчета пылевой нагрузки, определение класса условий труда и допустимого стажа работы в контакте с аэрозолями преимущественно фиброгенного действия.* Аппаратчик проработал 7 лет в условиях воздействия пыли, содержащей 60 % SiO<sub>2</sub>. Среднесменная концентрация пыли (ССК) за этот период составляла 3 мг/м<sup>3</sup>. Категория работ – средней тяжести II б (объем лёгочной вентиляции равен 7 м<sup>3</sup>). Среднесменная ПДК данной пыли – 2 мг/м<sup>3</sup>. Среднее количество рабочих смен в год – 248. Определить: а) пылевую нагрузку (ПН); б) контрольную пылевую нагрузку (КПН) за этот период; в) класс условий труда; г) контрольную пылевую нагрузку за период 25-летнего контакта с фактором (КПН<sub>25</sub>); д) допустимый стаж работы в таких условиях.

Решение. а) Определяем фактическую пылевую нагрузку за рассматриваемый период:

$$ПН = K \cdot N \cdot T \cdot Q, \quad (1)$$

где K – фактическая среднесменная концентрация пыли в зоне дыхания работника, мг/м<sup>3</sup>; N – количество рабочих смен в календарном году; T – количество лет контакта с АПФД; Q – объем лёгочной вентиляции за смену, м<sup>3</sup>.

Тогда соответственно:  $ПН = 3 \text{ мг/м}^3 \cdot 248 \text{ смен} \cdot 7 \text{ лет} \cdot 7 \text{ м}^3 = 36 \text{ 456 мг}$ .

б) Определяем контрольную пылевую нагрузку за тот же период работы:

$$КПН = ПДК_{с/с} \cdot K \cdot N \cdot T \cdot Q, \quad (2)$$

где ПДК<sub>с/с</sub> – предельно допустимая среднесменная концентрация пыли, мг/м<sup>3</sup>; N – рабочих смен в календарном году; T – количество лет контакта с АПФД; Q – объем лёгочной вентиляции за смену, м<sup>3</sup>.

Тогда имеем:  $КПН = 2 \cdot 248 \cdot 7 \cdot 7 = 24 \text{ 340 мг}$ .

в) Рассчитываем величину превышения КПН:  $ПН / КПН = 36 \text{ 456} / 24 \text{ 340} = 1,5$ , т.е. фактическая ПН превышает КПН за тот же период работы в 1,5 раза. Соответственно, согласно табл. 2., класс условий труда дробильщика – вредный, 3.1.

г) Определяем КПН за средний рабочий стаж, который принимаем равным 25 годам:

$$КПН_{25} = 2 \cdot 248 \cdot 7 \cdot 25 = 86 \text{ 800 мг}$$

д) Определяем допустимый стаж работы в данных условиях:

$$T = \frac{КПН_{25}}{K \cdot N \cdot Q} \quad (3) \qquad T = \frac{86 \text{ 800}}{3 \cdot 248 \cdot 7} = 16,7 \text{ лет}$$

Таким образом, в данных условиях труда дробильщик может проработать не более 17 лет.

## 2.4 Методы анализа запыленности воздушной среды

Существует комплекс методов определения запыленности воздушной среды. Первая группа методов связана с выделением фазы (частиц пыли) из аэрозоля – весовой (гравиметрический), счетный (кониметрический) и радиоизотопный методы. Вторая группа методов реализуется без выделения дисперсной фазы из аэрозоля – фотометрический, электрофотометрический, оптический, акустический и электрический методы.

*Весовой метод.* Сущность весового метода заключается в том, что определенный объем запыленного воздуха пропускается через специальный фильтр и по увеличению массы фильтра рассчитывается массовая (весовая) концентрация пыли по формуле:

$$C = \frac{\Delta m}{V} = \frac{m_2 - m_1}{V}, \quad (4)$$

где  $C$  – массовая концентрация пыли, мг/м<sup>3</sup>;  $\Delta m$  – масса пыли, осевшей на фильтре, мг;  $m_1$  и  $m_2$  – масса фильтра соответственно до и после отбора пробы, мг;  $V$  – объем воздуха, протянутого через фильтр, м<sup>3</sup>.

Объем воздуха, протянутого через фильтр ( $V$ , м<sup>3</sup>), определяется по формуле:

$$V = q_V \cdot \tau, \quad (5)$$

где  $q_V$  – объемный расход воздуха, определяемый по ротаметру, м<sup>3</sup>/мин;  $\tau$  – время экспозиции (анализа), мин.

Продолжительность времени отбора пыли зависит от конкретной степени запыленности воздуха производственного помещения. С учетом приведения температуры воздуха и барометрического давления к *нормальным условиям* (*н. у.*) ( $0^\circ\text{C} = 273\text{ K}$ ;  $133,322\text{ Па} = 760\text{ мм рт. ст.}$ ) имеем:

$$V_{\text{н.у.}} = \frac{273 V \cdot B}{760 \cdot (273 + t)}, \quad (6)$$

где  $V_{\text{н.у.}}$  – объем воздуха, протянутого через фильтр, приведенный к нормальным условиям, м<sup>3</sup>;  $B$  – барометрическое давление в месте забора пробы, мм рт. ст.;  $t$  – температура воздуха в месте анализа,  $^\circ\text{C}$  (по показаниям сухого термометра психрометра).

Следовательно, концентрация пыли в воздухе с учетом его объема, приведенного к н. у. будет иметь вид:

$$C_{\text{н.у.}} = \frac{\Delta m}{V_{\text{н.у.}}} = \frac{m_2 - m_1}{V_{\text{н.у.}}}. \quad (7)$$

В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» результаты измерений концентраций вредных веществ в воздухе следует относить к *приведенным условиям* ( $20\text{ }^{\circ}\text{C} = 293\text{ K}$ ;  $133,322\text{ Па} = 760\text{ мм рт. ст.}$ ), т. к. величины ПДК были установлены именно в этих условиях:

$$V_{\text{прив}} = \frac{293 V_{\text{н.у.}} \cdot B}{760 \cdot (273 + t)} \cdot (8)$$

Тогда формула для расчета весовой концентрации с учетом приведенных условий будет иметь вид:

$$C_{\text{прив}} = \frac{\Delta m}{V_{\text{прив}}} = \frac{m_2 - m_1}{V_{\text{прив}}} \cdot (9)$$

Достоинствами весового метода анализа запыленности воздушной среды является простота применяемого оборудования и расчетов. Однако для анализа воздуха, в котором велика доля микро- и ультрамикроскопической пыли, данный метод не подходит.

*Счетный метод.* Сущность контроля запыленности воздуха счетным методом заключается в предварительном осаждении частиц пыли из определенного объема воздуха на предметное стекло микроскопа с последующим подсчетом их числа, а также размеров и формы. Недостатками счетного метода являются сложность осаждения из воздуха микро- и ультрамикроскопических частиц пыли, а также трудности для идентификации числа пылевых частиц на предметном стекле.

*Фотометрический метод* – основан на изменении интенсивности света, проходящего через запыленную среду. Исходя из полученного соотношения интенсивностей, вычисляют концентрацию частиц пыли в исследуемом объеме воздуха. Достоинствами фотометрического метода являются хорошая точность определения запыленности воздушной среды.

*Радиоизотопный метод.* В данном методе используются радиоизотопные концентраторы пыли («Прима-01», «Прима-03», РЭП-С-1), позволяющие проводить анализ при содержании пыли в воздухе в довольно широком интервале  $0,05\text{-}2500\text{ мг/м}^3$ . Принцип работы данных приборов заключается в просасывании воздуха через фильтр, расположенный между источником радиоактивного излучения и детектором этого излучения. Повышение концентрации уловленной пыли на фильтре сокращает число частиц, изучаемых источником и достигающих детектора. Исходя из уменьшения числа регистрируемых детектором частиц, и по соответствующим калибровочным

графикам, определяется концентрация пыли на фильтре. Радиоизотопный метод характеризуется хорошей точностью и воспроизводимостью результатов.

*Электрофотометрический метод* анализа запыленности воздушной среды основан на способности частиц пыли переносить электрические заряды и оседать на электродах.

Современные пылеанализаторы позволяют измерять концентрацию аэрозольных частиц различного происхождения и химического состава в атмосферном воздухе и воздухе рабочей зоны, что делает возможным их применение в литейных цехах, сварочных и шлифовальных мастерских, шахтах, в подземном и надземном строительстве, металлургических комбинатах, на цементных, кирпичных и химических заводах (рис. 1).



Рис. 1. Классическое (а) и современное (б-г) оборудование для анализа запыленности воздушной среды. а – пробоотборник пыли (аспиратор) «АПП-6»; б – анализатор пыли «EP1000A (WE1ASCS)»; в – стационарный измеритель концентрации взвешенных частиц «ИКВЧ»; г – анализатор микро- и ультрамикроскопической пыли, а также диоксинов «LVS 3.1».

Определение концентрации пыли в воздушной среде с использованием пылеанализатора EP1000A основано на обратном рассеивании проходящего лазерного луча, а оптического абсорбционного пылемера ИКВЧ – на измерении интенсивности ослабленного пылегазовой средой модулированного электромагнитного излучения.

## 2.5 Мероприятия по снижению запыленности воздушной среды

Пути оздоровления воздушной среды, т. е. снижения запыленности до величин, определяемых гигиеническими нормативами, являются следующие мероприятия:

- а) инженерно-технические мероприятия :
- разработка оптимальных объемно-планировочных работ;
  - рациональное размещение оборудования;
  - автоматизация и механизация производства;

- применение методов дистанционного управления и наблюдения (управление технологическими линиями и аппаратами с помощью компьютеров);
- внедрение непрерывных процессов;
- совершенствование техники и технологии для организации безопасного ведения технологических процессов:
  - 1) замена вредных веществ в производстве менее вредными;
  - 2) сухих способов переработки пылящих материалов – мокрыми;
  - 3) выпуск конечных продуктов в непылящих формах (гранулы);
  - 4) ограничение содержания примесей вредных веществ в исходных и конечных продуктах;
  - 5) замкнутый цикл производства;
- б) санитарно-технологические мероприятия :
  - вентиляция;
  - герметизация оборудования;
  - увлажнение сыпучих материалов (гидроорошение с помощью форсунок тонкого распыла воды);
  - непрерывный контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны (вредные вещества 1-го класса опасности, пожаро- и взрывоопасная, а также электропроводящая пыль) и периодический контроль (для вредных веществ 2, 3 и 4-го класса опасностей);
- в) медико-профилактические мероприятия :
  - средства индивидуальной и коллективной защиты (средства защиты органов дыхания, зрения и кожи):
    - 1) респираторы (маска со специальными противопыльными фильтрами);
    - 2) изолирующие, кислородно-изолирующие, фильтрующие и шланговые противогазы;
    - 3) защитные костюмы (типа ПЗО);
    - 4) марлевые повязки;
    - 5) защитные дерматологические средства (пасты и мази);
    - 6) кислородно-изолирующие приборы, противопыльные очки;
    - 7) спецодежда из пыленепроницаемой ткани и спецобувь;
  - рациональный режим труда и отдыха работающих (помещения для отдыха, регламентация времени работы, в частности, перерывы в работе, сокращение рабочего дня, увеличение продолжительности отпуска, уменьшение стажа работы и др.);
  - специальная подготовка и инструктаж обслуживающего персонала;
  - проведение предварительных и периодических медицинских осмотров лиц, имеющих контакт с вредными веществами;
  - разработка медицинских противопоказаний для работы с конкретными вредными веществами, инструкций по оказанию доврачебной и неотложной медицинской помощи пострадавшим при отравлении.

В промышленности для очистки воздуха от пыли применяются следующие методы и аппараты:

- *сухие методы* (пылесадительные камеры, инерционные пылеуловители, жалюзийные аппараты, циклоны, вихревые и динамические пылеуловители, тканевые, волокнистые и зернистые фильтры);
- *мокрые методы* (полюе, насадочные и с подвижной насадкой газопромыватели, скрубберы с подвижной шаровой насадкой конической формы, барботажные и пенные газопромыватели, ударно-инерционного и центробежного действия газопромыватели, скрубберы Вентури);
- *электрические методы* (электрофильтры).

## 2.6 Средства защиты органов дыхания

В тех случаях, когда инженерно-технические и санитарно-технологические мероприятия не могут полностью обеспечить снижение концентрации пыли в воздухе рабочей зоны производственного помещения до гигиенических норм, следует дополнительно использовать индивидуальные средства защиты от пыли (ГОСТ 12.4.034-85 ССБТ «Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Классификация и маркировка»; ГОСТ 12.4.041-2001 ССБТ «Средства индивидуальной защиты органов дыхания фильтрующие. Общие технические требования»). К ним относятся изолирующие шланговые и универсальные противогазы, а также фильтрующие противопылевые респираторы (рис. 2).

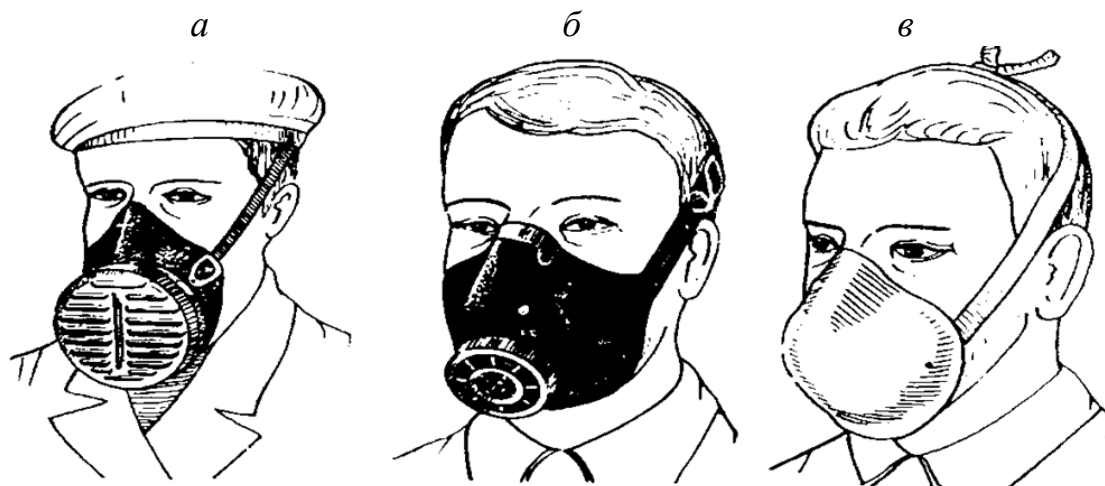


Рис. 2. Респираторы. а – Ф-62Ш; б – У-2К; в – «Лепесток».

Выбор типа респиратора производится в зависимости от требуемой эффективности пылезадерживания и необходимого времени работы в респираторе (таблица 3). Требуемая эффективность работы респиратора ( $\eta$ , %) определяется по формуле:

$$\eta = \frac{C_{\text{прив}} - \text{ПДК}_{\text{р.з.}}}{C_{\text{прив}}} \cdot 100 \% , \quad (10)$$

где  $C_{\text{прив}}$  – фактическая концентрация вредного вещества, отнесенная к приведенным условиям,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;  $\text{ПДК}_{\text{р.з.}}$  – предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны,  $\text{мг}/\text{м}^3$ .

Таблица 3

### Технические характеристики респираторов

Показатели		Тип респиратора					
		ШБ-1 «Лепесток»	У-2К	Ф-62Ш	Астра-2	ПРТ-741	ПРШ-742
Эффективность пылезадерживания, %		96,0	98,0	99,0	99,3	99,9	99,9
Время защитного действия (ч) при запыленности:	1000 $\text{мг}/\text{м}^3$	-	-	-	-	6	7
	600 $\text{мг}/\text{м}^3$	-	-	-	-	11	13
	300 $\text{мг}/\text{м}^3$	4	-	-	5	22	26
	100 $\text{мг}/\text{м}^3$	8	1	5	10	44	52
Сокращение поля зрения, %		10	14	19	26	10	10
Масса респиратора, г		10	48	190	250	200	220

## 2.7 Вентиляция производственных помещений

Обеспечение оптимальных микроклиматических условий и чистоты воздуха на рабочих местах в значительной степени зависит от правильно спроектированной и организованной системы вентиляции. Вентиляция служит для поддержания регулируемого воздухообмена в производственных помещениях.

Нормами СНиП 41-01-2003 «Вентиляция, отопление и кондиционирование» и ГОСТ 12.4.021-75 «Системы вентиляционные. Общие требования» регламентируются правила организации и эксплуатации систем вентиляции.

**В е н т и л я ц и я** – это технологический организованный и регулируемый воздухообмен, обеспечивающий удаление из помещения воздуха, загрязненного вредностями (избыточным теплом, влагой, вредными веществами) с последующей подачей на его место свежего, благоприятного для здоровья человека и отвечающего требованиям санитарных норм.

Классификация вентиляционных систем включает:

1) *по масштабу действия* – общеобменная (смена воздуха происходит во всем помещении), местная (смена воздуха по месту образования загрязнений) и комбинированная (сочетание общеобменной и местной вентиляции);

2) *по способу перемещения воздуха* – естественная (происходит под действием ветрового или теплового напора), искусственная или механическая

(используются вентиляторы и эжекторы) и смешанная (сочетание естественной и искусственной вентиляции);

3) *по направлению движения воздуха* – приточная, вытяжная, приточно-вытяжная и вентиляционные системы с рециркуляцией;

4) *по организации* – организованная, т. е. аэрация (происходит под действием специальных устройств – створки, фрамуги, дефлекторы, аэрационные фонари) и неорганизованная, т. е. инфильтрация (осуществляется через форточки, окна, щели, неплотности дверей и поры наружных ограждений);

5) *по назначению* – аварийная (устраивается только вытяжной).

В промышленности наибольшее распространение получила приточно-вытяжная общеобменная механическая вентиляция, комбинированная с локальной (местной) механической вентиляцией. Система общеобменной приточно-вытяжной механической вентиляции состоит из двух отдельных установок – через одну подается чистый воздух, а через другую – удаляется загрязненный поток. Однако механическая вентиляция имеет ряд недостатков, к числу которых следует отнести необходимость звукоизоляции, значительную стоимость сооружения и эксплуатации, а также большую энергоемкость.

Для механического перемещения (транспортирования) воздуха в промышленности используются *вентиляторы* (рис. 3). Вентиляторы приводятся в действие с помощью электродвигателей (короткозамкнутые и асинхронные электродвигатели трехфазного тока), принцип выбора которых зависит от конкретных условий эксплуатации аппарата:

- вентиляторы в *общепромышленном* исполнении (углеродистая сталь);
- вентиляторы в *тепlostойком* исполнении (нержавеющая сталь);
- вентиляторы в *коррозионностойком* исполнении (железохромистая или хромоникелевая сталь, винипласт);
- вентиляторы в *коррозионно-тепlostойком* исполнении (нержавеющая сталь);
- вентиляторы во *взрывозащищенном* исполнении (разнородные металлы);
- вентиляторы во *взрывозащищенном коррозионностойком* исполнении (нержавеющая сталь).

Наибольшее распространение в промышленности получили:

а) *центробежный вентилятор* – принцип его работы основан на том, что при вращении рабочего колеса воздух входит через приемное отверстие, затем попадает в пространство между лопастями колеса, под действием центробежной силы отбрасывается к стенкам спирального кожуха и выходит из него через выхлопное отверстие, меняя первоначальное направление на  $90^{\circ}$ . Центробежные вентиляторы применяются при небольших объемах перемещаемого воздуха, но при значительных напорах воздуха.

По давлению вентиляторы разделяют:

- центробежный вентилятор *низкого* давления ( $P < 1$  кПа ( $100$  кгс/м<sup>2</sup>));



- центробежный вентилятор *среднего* давления ( $P < 3$  кПа ( $300$  кгс/м<sup>2</sup>));
- центробежный вентилятор *высокого* давления ( $P = 3-15$  кПа ( $300-1500$  кгс/м<sup>2</sup>));

б) *осевой (пропеллерный) вентилятор* – представляет собой заключенное в кожух (обечайку) рабочее колесо, состоящее из нескольких радиально расположенных лопаток (крыльчатка с вогнутыми крыльями) и втулки, служащей для скрепления их между собой. При вращении крыльчатки создается поток воздуха, направленный вдоль оси вращения. Осевые вентиляторы применяются при больших объемах перемещаемого воздуха, но при малых напорах воздуха;

в) *эжектор (эжекторная вентиляция)* – используется для организации вентиляции пожаро- и взрывоопасных производств (получение ацетилена, простых и сложных эфиров). При расчете таких вентиляционных систем следует обеспечивать концентрацию горючих веществ в отсасываемой смеси меньше нижнего концентрационного предела их взрываемости. Использование эжекторных установок вполне оправдано и для удаления из воздуха рабочей зоны коррозионноактивных смесей.

В эжекторе загрязненный воздух, содержащий пожаро- и взрывоопасные вещества, не соприкасается с рабочим колесом вентилятора. Эжектирующий воздух нагнетается в эжектор центробежным вентилятором высокого (реже среднего) давления, установленным за пределами вентилируемого помещения, в результате чего в камере эжектора создается разрежение, под воздействием которого загрязненный воздух засасывается из вентилируемого помещения и выбрасывается в атмосферу. Скорость выхода струи воздуха из сопла должна быть не менее 30-40 м/с. Недостатком использования эжекторной вентиляции является ее низкий коэффициент полезного действия (0,12-0,25).

Полное давление, развиваемое вентилятором, представляет собой сумму статического и динамического давлений. *Статическое давление* ( $P_{стат}$ ) равно потере давления в трубопроводе по причине трения транспортируемого газа (воздуха) о стенки трубы во всасывающей и нагнетательной линиях, через которые движется транспортируемая среда. При расчете  $P_{стат}$  должен учитываться коэффициент сопротивления трения, зависящий от шероховатости материала, из которого изготовлен воздуховод.

*Динамическое давление* ( $P_{дин}$ ) учитывает потерю скорости газа в выхлопном отверстии вентилятора:

$$P_{полн} = P_{стат} + P_{дин} = P_{стат} + \frac{\rho v^2}{2}, \quad (11)$$

где  $\rho$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;  $v$  – скорость газа, м/с.

Производительность вентилятора с учетом потери газа (воздуха) в системе воздуховодов рассчитывается по уравнению:

$$Q = L \cdot K_{\Pi} , \quad (12)$$

где  $Q$  – производительность вентилятора, м<sup>3</sup>/ч;  $L$  – объем подаваемого (удаляемого) воздуха, м<sup>3</sup>/ч;  $K_{\Pi}$  – коэффициент потерь (1,1-1,2).

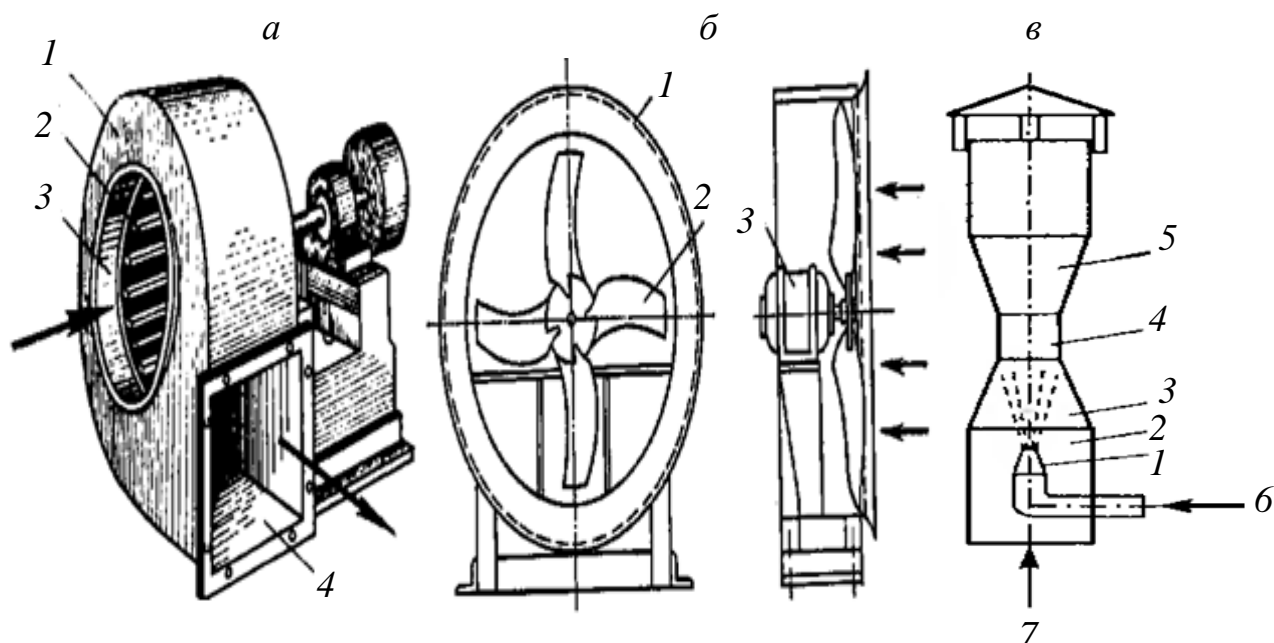


Рис. 3. Оборудование для вентиляции производственных помещений.

*a* – центробежный вентилятор (1 – спиральный кожух; 2 – рабочее колесо; 3 – приемное отверстие для поступающего воздуха; 4 – выхлопное отверстие); *б* – осевой вентилятор ЦАГИ (1 – обечайка; 2 – крыльчатка; 3 – электродвигатель); *в* – эжектор (1 – сопло; 2 – камера разряжения; 3 – конфузор; 4 – горловина; 5 – диффузор; 6 – эжектирующий воздух; 7 – загрязненный воздух из помещения).

Вентиляторы подбирают исходя из аэродинамических и технических данных (производительность, необходимый напор, мощность на валу вентилятора, потребляемая мощность на валу электродвигателя, установочная мощность электродвигателя и уровень шума). Аэродинамические характеристики в графической форме представляют собой зависимость производительности вентилятора от полного давления. Зная указанные величины можно легко определить подходящий вентиляторный агрегат. Для подбора современных вентиляторов могут быть использованы разнообразные пакеты программ, например «VezaFan».

Вентиляционные камеры должны быть изолированы от производственных помещений и изготовлены из несгораемых материалов. Воздуховоды необходимо заземлять для устранения искр от разрядов статического электричества, возникающего при трении частиц пыли и капель жидкости о стенки воздуховода.

При проведении технологических процессов, связанных с выделением в воздух рабочей зоны в течение короткого промежутка времени больших

количеств вредных веществ (или в случае аварии), а также при получении или использовании в производственном цикле взрыво- и пожароопасных соединений необходимо устраивать а в а р и й н у ю в е н т и л я ц и ю , представляющую собой самостоятельную вентиляционную исключительно вытяжную установку.

Перед вводом в эксплуатацию вентиляционной установки необходимо провести ее *техническое* (проверка производительности вентиляторов, развиваемого ими давления, частоты вращения вентилятора и электродвигателя, распределения воздуха и давления по системе, планово-предупредительный ремонт) и *санитарно-гигиеническое* освидетельствование (эффективность действия вентиляционных установок и очистных устройств по созданию оптимальных гигиенических и микроклиматических условий). Все данные, полученные по окончании испытаний, а также сведения об изменениях в конструкции установки заносятся в *технический паспорт* вентиляционной системы, который является основным производственным документом и определяет техническое состояние эксплуатируемой установки.

## 2.8 Вентиляционный воздухообмен

Вентиляционные системы проектируют с учетом их производительности и необходимого (потребного) воздухообмена. Расчет вентиляционной установки сводится к определению требуемого количества воздуха (предварительно рассчитывается количество выделений от оборудования, арматуры и коммуникаций), выбору схемы вентиляции, определению давления, развиваемого вентилятором, соответствующему подбору вентиляторного агрегата и мощности электродвигателя.

При расчете *местной вентиляции* количество воздуха ( $L$ , м<sup>3</sup>/с) определяется по формуле:

$$L = S \cdot V_{\text{эф}} , \quad (13)$$

где  $S$  – площадь аэродинамического проема, м<sup>2</sup>;  $V_{\text{эф}}$  – эффективная скорость движения воздуха в этом проеме (в зависимости от характера запыленности и загазованности воздушной среды может принимать значения 0,5-1,5 м/с).

При расчете *приточно-вытяжной общеобменной механической вентиляции* необходимо учитывать избытки теплоты и влаги, запыленности, загазованности и задымленности воздушной среды, а также количество работающих:

1) *расчет количества подаваемого воздуха ( $L$ , м<sup>3</sup>/ч) в помещение для удаления избыточной теплоты:*

$$L = \frac{Q_{\text{изб}}}{c \cdot \rho (t_{\text{уд}} - t_{\text{прит}})}, \quad (14)$$

где  $Q_{\text{изб}}$  – количество явной избыточной теплоты, выделяющейся в помещении в единицу времени, ккал/ч;  $c$  – удельная теплоемкость воздуха ( $c = 0,24$  ккал/(кг·°С));  $\rho$  – плотность подаваемого (приточного) воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $t_{\text{удал}}$ ,  $t_{\text{прит}}$  – значения температуры соответственно удаляемого и подаваемого воздуха, °С.

2) *расчет количества подаваемого воздуха ( $L$ , м<sup>3</sup>/ч) в помещение для удаления вредных веществ (в случае избыточной запыленности, загазованности и задымленности):*

$$L = \frac{G}{C_{\text{удал}} - C_{\text{под}}} = \frac{G}{C_{\text{удал}} - C_0} = \frac{G}{C_{\text{удал}} - 0,3\text{ПДК}_{\text{р.з.}}}, \quad (15)$$

где  $G$  – количество вредного вещества (пыли, паров или газов), выделяющегося в рабочую зону (помещение), мг/ч (см. формулу (16));  $C_{\text{удал}}$  – концентрация вредного вещества в удаляемом из помещения воздухе (принять равной  $C_{\text{прив}}$ , мг/м<sup>3</sup> (см. формулу (9));  $C_{\text{под}}$ ,  $C_0$  – концентрация вредных примесей в подаваемом в помещение «чистом» приточном воздухе, мг/м<sup>3</sup>.

**Санитарными нормами устанавливается величина концентрации вредных примесей в подаваемом «чистом» воздухе  $C_0 \leq 30\% \text{ПДК}_{\text{р.з.}}$ .** В случае превышения указанной концентрации требуется очистка воздуха до установленных санитарных норм.

Упрощенно количество вредного вещества, выделяющегося в рабочее помещение ( $G$ , мг/ч), рассчитывается по уравнению:

$$G = \left( V_a \cdot \rho \cdot \frac{\Delta P}{100} \right) \cdot 10^6, \quad (16)$$

где  $V_a$  – суммарный объем рабочей аппаратуры (принять  $V_a = 5$  м<sup>3</sup>);  $\rho$  – плотность вредных веществ, выделяющихся из аппаратуры (для цементной пыли  $\rho = 700$  кг/м<sup>3</sup>);  $\Delta P$  – потери герметичности аппаратуры (для токсичных веществ  $\Delta P = 0,2$  %/ч).

Точное определение количества вредных пыле-, газо- и паровыделений в рабочие помещения в единицу времени, т. е. величины  $G$ , основано на натуральных наблюдениях и эмпирических расчетах. При этом принимаются во внимание *усредненные удельные величины выделений вредных веществ* для различных видов технологического оборудования, уплотнительных устройств, арматуры и других источников при разных эксплуатационных условиях. При точных расчетах величины  $G$  необходимо учитывать суммарный объем аппаратуры, плотность вредных веществ, допустимую степень герметичности аппарата, характер токсичности и пожаро-взрывоопасности среды.

3) *расчет количества подаваемого воздуха ( $L$ , м<sup>3</sup>/ч) в помещение для удаления избыточной влаги:*

$$L = \frac{100W}{R_{\text{абс ср}}(\varphi_{\text{удал}} - \varphi_{\text{под}})}, \quad (17)$$

где  $W$  – масса влаги, выделяющейся в рабочую зону в единицу времени, мг/ч;  $R_{\text{абс ср}}$  – средняя абсолютная влажность при атмосферном давлении 133,322 Па (760 мм рт. ст.) и средней арифметической температуре удаляемого и подаваемого воздуха, мг/м<sup>3</sup>;  $\varphi_{\text{удал}}$ ,  $\varphi_{\text{под}}$  – значения относительной влажности соответственно удаляемого и приточного воздуха, %.

При наличии в производственном помещении одновременно нескольких вредных производственных факторов (избыточное выделение тепла и влаги, пыли, паров и газов) последовательно проводятся расчеты по указанным выше формулам и выбирается *максимальное значение  $L$*  из полученных. При одновременном выделении в воздух рабочей зоны производственного помещения нескольких вредных веществ, расчет количества воздуха ведется по тому загрязнителю, для которого полученное значение  $L$  наибольшее. По найденному значению количества подаваемого воздуха производится выбор и подбор вентилятора.

4) *расчет количества подаваемого воздуха ( $L$ , м<sup>3</sup>/ч) в помещение с учетом количества работающих:*

$$L = N \cdot L_{1\text{чел}}, \quad (18)$$

где  $N$  – число работающих в наиболее многочисленной смене;  $L_{1\text{чел}}$  – расход воздуха на 1-го работающего в час, зависящий от объема помещения, приходящегося на 1-го работающего  $V_{\text{пом}}$  ( $L_{1\text{чел}} \geq 30$  м<sup>3</sup>/ч при  $V_{\text{пом}} \leq 20$  м<sup>3</sup>;  $L_{1\text{чел}} \geq 20$  м<sup>3</sup>/ч при  $V_{\text{пом}} 20-40$  м<sup>3</sup>; при отсутствии естественной вентиляции  $L_{1\text{чел}} \geq 60$  м<sup>3</sup>/ч).

5) *инспекторский (ориентировочный) расчет по кратности воздухообмена.* Кратность воздухообмена ( $K$ , ч<sup>-1</sup>) – целочисленная величина, показывающая сколько раз в течение одного часа, следует полностью сменить воздушную среду в помещении:

$$K = \frac{L}{V_{\text{пом}}} \left[ \frac{\text{м}^3/\text{ч}}{\text{м}^3} = \frac{1}{\text{ч}} \right] \quad (19)$$

где  $L$  – количество подаваемого (или удаляемого) воздуха, м<sup>3</sup>/ч;  $V_{\text{пом}}$  – объем вентилируемого помещения, м<sup>3</sup>.

Для большинства производственных помещений кратность воздухообмена колеблется в пределах  $K = 3-10$  ч<sup>-1</sup>, а для аварийной вентиляции не менее  $K \geq 8$  ч<sup>-1</sup>. В общем случае, величину кратности воздухообмена следует применять для расчета потребного воздухообмена неосновных производственных помещений. Значения кратности воздухообмена для химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей, металлургической, пищевой и биотехнологической промышленности, а также для других отраслей

приводятся в ведомственных нормативных документах. Зная кратность воздухообмена для данных производственных условий и соответствующий объем помещения, можно легко определить искомый объем воздуха, необходимый для вентилирования данного промышленного объекта.

### 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В настоящей работе для исследования запыленности воздушной среды используются:

- 1) универсальная установка ОТ-1, предназначенная для создания и анализа запыленности воздушной среды весовым (гравиметрическим) методом (рис. 4);
- 2) аналитический аэрозольный фильтр;
- 3) весы аналитические;
- 4) сухой термометр психрометра Августа;
- 5) барометр-анероид метеорологический БАММ-1;
- 6) таймер (секундомер).

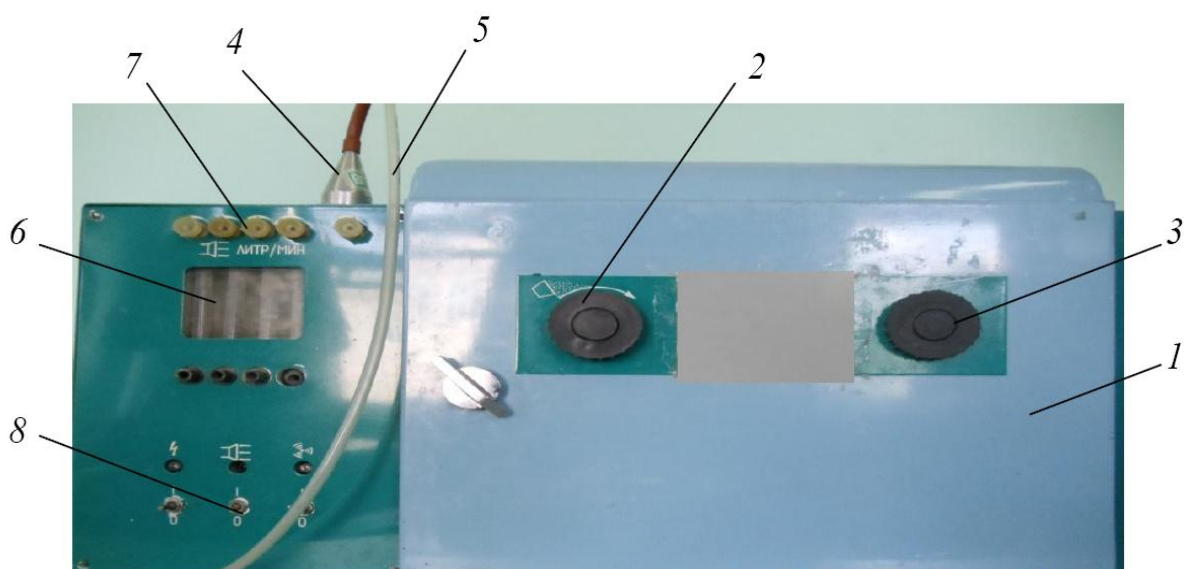


Рис. 4. Лабораторная установка ОТ-1. 1 – пылевая камера; 2 – ручка дозатора; 3 – пробка; 4 – патрон (фильтродержатель или аллонж); 5 – резиновый шланг; 6 – ротаметр; 7 – кран; 8 – тумблер.

Универсальная установка ОТ-1 служит для имитации производственного помещения, в котором присутствует запыленный воздух. Пыль в данной установке искусственно приводится во взвешенное состояние при помощи вентилятора. Для взятия пробы на количественное определение пыли весовым методом на передней стенке установки имеется отборное отверстие, которое закрыто пробкой в нерабочем состоянии.

*Аспиратор* – прибор для протягивания запыленного воздуха через аллонж и включающий ротаметр для измерения объемного расхода пылевоздушной смеси.

*Аллонж* (или фильтродержатель) представляет собой металлический (реже пластмассовый или стеклянный) цилиндр, в который вставляется аналитический аэрозольный фильтр.

### 3.1 Методика выполнения работы и обработка экспериментальных данных

**Задание 1.** *Анализ запыленности воздушной среды весовым методом с использованием универсальной установки ОТ-1.*

Ход определения:

- 1.1) снять показания температуры с сухого термометра психрометра Августа ( $t_{\text{сух}}, ^\circ\text{C}$ );
- 1.2) снять показания барометрического давления с барометра ( $P, \text{Па}$ ) с последующим переводом значения в мм рт. ст. ( $1 \text{ мм рт. ст.} = 133,322 \text{ Па}$ );
- 1.3) взвесить фильтр на аналитических весах с точностью до четвертого знака после запятой;
- 1.4) поместить патрон в воздухозаборное устройство установки ОТ-1, предварительно расположив взвешенный фильтр в данном патроне;
- 1.5) включить одновременно три тумблера и таймер (рекомендуемое время экспозиции 5-10 мин) и отрегулировать заданный расход пылевоздушной смеси;
- 1.6) по истечении указанного времени экспозиции выключить все три тумблера, извлечь из патрона фильтр с задержанной пылью и взвесить его на аналитических весах с точностью до четвертого знака после запятой;
- 1.7) определить вес задержанной пыли на фильтре по формуле:

$$\Delta m = m_2 - m_1, \quad (20)$$

$\Delta m$  – масса пыли, осевшей на фильтре, мг;  $m_1$  и  $m_2$  – масса фильтра соответственно до и после отбора пробы, мг.

- 1.8) рассчитать объем воздуха, протянутого через фильтр по формуле (5);
- 1.9) привести объем воздуха, протянутого через фильтр к *нормальным условиям* (*н. у.*) ( $0^\circ\text{C} = 273 \text{ К}$ ;  $133,322 \text{ Па} = 760 \text{ мм рт. ст.}$ ) по формуле (6);
- 1.10) определить весовую концентрацию с учетом нормальных условий по формуле (7);
- 1.11) привести объем воздуха, протянутого через фильтр к *приведенным условиям* ( $20^\circ\text{C} = 293 \text{ К}$ ;  $133,322 \text{ Па} = 760 \text{ мм рт. ст.}$ ) по формуле (8)<sup>1</sup>;

---

<sup>1</sup> При анализе небольших объемов запыленного воздуха величины  $V_{\text{н.у.}}$  и  $V_{\text{прив}}$  могут быть близки по значению.

1.12) определить весовую концентрацию с учетом приведенных условий по формуле (9);

1.13) установить соответствие полученных результатов санитарно-гигиеническим требованиям, предъявляемым к воздуху производственной среды;

1.14) полученные данные занести в табл. 4.

### **Задание 2. Расчет необходимого воздухообмена.**

Если экспериментально определенная концентрация пыли близка или превышает величину предельно допустимой концентрации вредного вещества в воздухе рабочей зоны ( $ПДК_{р.з.}$ ), то следует выполнить расчет необходимого воздухообмена для общеобменной вентиляции и подобрать соответствующий радиальный (центробежный) вентилятор типа ВРП (или ВЦП) из углеродистой стали в общепромышленном исполнении.

Ход определения:

2.1) определить объем производственного помещения ( $V_{пом}, м^3$ ), учитывая, что *рабочей зоной* является пространство высотой не менее 2 м над уровнем пола или площадки, где находятся места постоянного или непостоянного (временного) пребывания работающих;

2.2) рассчитать количество вредного вещества, выделяющегося в рабочее помещение ( $G, мг/ч$ ) по формуле (16);

2.3) определить воздухообмен ( $L, м^3/ч$ ) для удаления вредных веществ по формуле (15);

2.4) вычислить целочисленное значение кратности воздухообмена ( $K, ч^{-1}$ ) по уравнению (19);

2.5) задавшись значением полного давления, подобрать центробежный (радиальный) пылевой вентилятор и определить его технические характеристики (таблица 6), предварительно рассчитав его производительность с учетом потери газа (воздуха) в системе воздуховодов по уравнению (12);

2.6) полученные данные занести в табл. 4.

### **Задание 3. Подбор респиратора.**

Тип респиратора следует определять по формуле (10) и табл. 3. Марку подобранного респиратора и его технические характеристики необходимо занести в табл. 4.



Таблица 4

**Результаты исследования запыленности воздушной среды весовым методом**

Параметр		Величина (наименование)
Производственное помещение		
Объем производственного помещения $V_{\text{пом}}, \text{м}^3$		
Название анализируемой пыли		
Токсические свойства исследуемой пыли	ПДК <sub>р.з.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	
	ПДК <sub>м.р.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	
	ПДК <sub>с.с.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	
	Класс опасности	
	Характер воздействия на организм человека	
Расход пылевоздушной смеси $q_v$ , л/мин		
Время проведения анализа $\tau$ , мин		
Температура воздуха $t_{\text{вух}}$ , °С		
Барометрическое давление	P, Па	
	P, мм рт. ст.	
Вес фильтра	до анализа $m_1$ , мг	
	после анализа $m_2$ , мг	
	вес задержанной пыли $\Delta m$ , мг	
Объем анализируемого воздуха	протянутого через фильтр $V$ , м <sup>3</sup>	
	протянутого через фильтр и приведенный к <i>нормальным</i> условиям $V_{\text{н.у.}}$ , м <sup>3</sup>	
	протянутого через фильтр и отнесенный к <i>приведенным</i> условиям $V_{\text{прив.}}$ , м <sup>3</sup>	
Концентрация пыли	при <i>нормальных</i> условиях $C_{\text{н.у.}}$ , мг/м <sup>3</sup>	
	в <i>приведенных</i> условиях $C_{\text{прив.}}$ , мг/м <sup>3</sup>	
Количество вредного вещества, выделяющегося в воздух рабочей зоны $G$ , мг/ч		
Количество подаваемого (или удаляемого) в помещение воздуха $L$ , м <sup>3</sup> /ч		
Кратность воздухообмена $K$ , ч <sup>-1</sup>		
Марка подобранного респиратора и его характеристики		

Таблица 5

**Характеристики центробежного вентилятора ВРП в общепромышленном (пылевом) исполнении (ТУ У 29.2-24472991-019:2007)**

Обозначение вентилятора	Типоразмер двигателя	Производительность по воздуху, тыс. м <sup>3</sup> /ч	Полное давление Р <sub>полн</sub> , Па	Суммарная звуковая мощность, дБ, не более	Частота вращения рабочего колеса, об/мин	Установленная мощность, кВт	Масса вентилятора, кг, не более
ВРП 110-49-5-00	АИР100L4	2,88-5,04	1450-1250	99	1755	4,0	162
ВРП 110-49-5-01	АИР112M4	2,88-7,20	1450-1100	99	1755	5,5	162
ВРП 110-49-5-02	АИР112M4	3,24-6,12	1800-1600	102	1960	5,5	166
ВРП 110-49-5-03	АИР112M4	3,78-3,96	2400-2290	105	2225	5,5	172
ВРП 110-49-5-04	АИР132S4	3,24-6,12	1800-1400	102	1960	7,5	166
ВРП 110-49-5-05	АИР132S4	3,78-6,30	2400-2200	105	2225	7,5	172
ВРП 110-49-5-07	АИР132M4	3,78-9,00	2400-1800	105	2225	11,0	172
ВРП 110-49-5-08	АИР132M4	4,14-6,12	3000-2700	108	2505	11,0	174
ВРП 110-49-5-09	АИР160S4	4,14-10,44	3000-2225	108	2505	15,0	174
ВРП 110-49-6,3-00	АИР112M4	4,68-5,94	1600-1580	102	1445	5,5	220
ВРП 110-49-6,3-01	АИР132S4	4,68-9,72	1600-1400	102	1455	7,5	220
ВРП 110-49-6,3-02	АИР132M4	4,68-12,96	1600-1200	102	1460	11,0	225
ВРП 110-49-6,3-03	АИР160S4	6,48-8,64	3100-3000	110	2000	15,0	233
ВРП 110-49-6,3-04	АИР160M4	6,48-11,88	3100-2800	110	2000	18,5	233
ВРП 110-49-6,3-05	АИР180S4	6,48-15,84	3100-2450	110	2000	22,0	233
ВРП 110-49-8-00	АИР160S4	9,36-14,40	2000-1900	110	1285	15,0	360
ВРП 110-49-8-01	АИР160M4	9,36-20,16	2000-1650	110	1285	18,5	360
ВРП 110-49-8-02	АИР160M4	10,80-11,88	2550-2540	111	1440	18,5	362
ВРП 110-49-8-03	АИР180S4	9,36-24,48	2000-1450	110	1285	22,0	360
ВРП 110-49-8-04	АИР180S4	10,80-16,56	2550-2400	111	1440	22,0	362
ВРП 110-49-8-05	АИР180M4	10,80-27,36	2550-1800	111	1440	30,0	362
ВРП 110-49-8-06	АИР180M4	12,24-17,28	3200-3000	113	1615	30,0	367
ВРП 110-49-8-07	АИР200M4	12,24-25,92	3200-2500	113	1615	37,0	367
ВРП 110-49-8-08	АИР200M4	12,60-22,32	3300-3000	114	1650	37,0	370
ВРП 110-49-8-09	АИР200L4	12,60-30,96	3300-2400	114	1650	45,0	370
ВРП_В <sup>3</sup>	АИР160M4	30,82-57,32	3100-2500	120	2000	37,0	418
	АИР180M40	39,16-66,58	2400-2100	120	2000	37,0	568
	АИР200M4	61,21-92,76	3000-2600	120	2505	45,0	980
	АИР200L4	90,00-142,19	3100-2480	124	2000	37,0	1213
	АИР200L4	141,05-188,30	3200-2990	124	2505	45,0	2615
	АИР200L4	160,90-200,00	3100-2700	124	2225	45,0	4145

<sup>3</sup> взрывозащищенное исполнение. Изготавливаются только по спецзаказу (рекомендуется использовать осевые вентиляторы).

### **3.2 Техника безопасности при выполнении лабораторной работы**

- 1) К работе с универсальной установкой ОТ-I, аналитическими весами и приборами для регистрации температуры (сухой термометр психрометра Августа) и барометрического давления (барометр) допускаются лица, ознакомленные с их устройством и принципом действия.
- 2) Экспериментальную часть следует проводить в присутствии лаборанта и преподавателя и в случае неисправностей аппаратуры немедленно сообщить им об этом.
- 3) Работы с установкой и соответствующими приборами следует производить строго в соответствии с описанием, приведенном в задании 1.
- 4) Запрещается открывать пылевую камеру универсальной установки ОТ-I.
- 5) Включение установки ОТ-I следует производить в сеть с напряжением 220 В, предварительно убедившись, что она заземлена.
- 6) Перед включением универсальной установки ОТ-I необходимо одеть резиновый шланг на фильтродержатель и соединить с ротаметром.
- 7) Необходимо соблюдать правила электробезопасности при использовании установки ОТ-I (не пользоваться поврежденной розеткой, вилкой и электрическим шнуром).
- 8) После проведения анализа запыленности воздушной среды следует тщательно вымыть руки.

### **3.3 Содержание отчета**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- а) титульный лист;
- б) цель работы;
- в) таблица с результатами измерений и обосновывающие расчеты;
- г) выводы, характеризующие полученные результаты и их соответствие санитарно-гигиеническим нормативам, а также предложения по оздоровлению воздушной среды.

## **4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Приведите развернутую классификацию пыли. На каких стадиях технологического цикла возможно образование пыли? Какие заболевания возникают у человека в результате запыленности воздушной среды?
2. Каким образом осуществляется гигиеническое нормирование запыленности воздушной среды?
3. Какие классы опасностей вредных веществ существуют? Каким документом они регламентируются?
4. Какие методы анализа запыленности воздушной среды существуют?
5. Какие мероприятия по оздоровлению воздушной среды существуют (снижению запыленности)?

6. Охарактеризуйте промышленные методы и аппараты для очистки воздуха от пыли. Каковы особенности их использования?
7. Приведите классификацию систем вентиляции. В чем преимущества и недостатки каждого из видов вентиляции?
8. Каковы особенности освидетельствования и получения технического паспорта вентиляционной установки?
9. Приведите формулы для расчета местной и общеобменной вентиляции. Как рассчитать количество подаваемого воздуха в производственное помещение в случае избыточной теплоты, влажности и вредных веществ? Какова концентрация вредных примесей в подаваемом «чистом» воздухе?
10. Что представляет собой кратность воздухообмена? Какие значения может принимать кратность воздухообмена? Каковы особенности использования этой величины?

## **5. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Маринина, Л. К.* Безопасность труда в химической промышленности / Л. К. Маринина [и др.] // Под ред. Л. К. Марининой.-М.: Издательский центр «Академия», 2007.-528 с.
2. *Белов, С. В.* Безопасность жизнедеятельности / С. В. Белов [и др.] // Под ред. С. В. Белова.-М.: «Высшая школа», 2007.-616 с.
3. *Занько, Н. Г.* Безопасность жизнедеятельности / Н. Г. Занько, К. Р. Малаян, О. Н. Русак // Под ред. О. Н. Русака.-СПб.: Изд-во «Лань», 2010.-672 с.
4. *Бурашников, Ю. М.* Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда на предприятиях пищевых производств / Ю. М. Бурашников, А. С. Максимов.-СПб.: ГИОРД, 2007.-416 с.
5. *Буралев, Ю. В.* Безопасность жизнедеятельности на транспорте / Ю. В. Буралев.-М.: Издательский центр «Академия», 2004.-288 с.
6. *Куликов, О. Н.* Безопасность жизнедеятельности в строительстве / О. Н. Куликов, Е. И. Ролин.-М.: Издательский центр «Академия», 2009.-384 с.
7. *Шибанов, Г. П.* Безопасность жизнедеятельности в авиакосмической отрасли / Г. П. Шибанов, В. П. Мельников.-М.: Издательский центр «Академия», 2011.-240 с.
8. *Еремин, В. Г.* Безопасность жизнедеятельности в машиностроении / В. Г. Еремин [и др.] // Под ред. Ю. М. Соломенцева.-М.: «Высшая школа», 2002.-310 с.
9. *Фролов, А. В.* Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда / А. В. Фролов, Т. Н. Бакаева.-Ростов н/Д.: Феникс, 2008.-750 с.

<b>Волгоградский государственный технический университет</b>	
<b>Кафедра «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности» (ПЭБЖ)</b>	
<b>Лабораторная работа по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности»</b>	
<b>Исследование запыленности воздушной среды</b>	
<b>Выполнил студент (ФИО):</b>	
<b>Группа:</b>	
<b>Дата:</b>	
<b>Преподаватель (ФИО):</b>	

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Определение количественного содержания пыли в воздухе рабочей зоны весовым методом.
2. Установление соответствия полученных результатов санитарно-гигиеническим требованиям, предъявляемым к воздуху производственной среды (ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны»).
3. Освоение методики расчета необходимого воздухообмена, а также принципов подбора респиратора и вентилятора в пылевом исполнении.

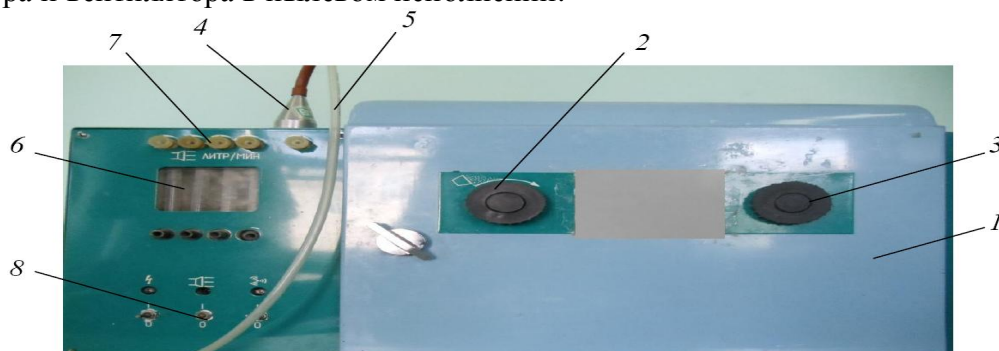


Рис. Лабораторная установка ОТ-1. 1 – пылевая камера; 2 – ручка дозатора; 3 – пробка; 4 – патрон (фильтродержатель или аллонж); 5 – резиновый шланг; 6 – ротаметр; 7 – кран; 8 – тумблер

**Расчет:**

**Выводы по работе:**

Таблица

**Результаты исследования запыленности воздушной среды весовым методом**

Параметр		Величина (наименование)
Объем производственного помещения $V_{\text{пом}}$ , м <sup>3</sup>		
Название анализируемой пыли		
Токсические свойства исследуемой пыли	ПДК <sub>р.з.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	
	ПДК <sub>м.р.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	
	ПДК <sub>с.с.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	
	Класс опасности	
	Характер воздействия на организм человека	
Расход пылевоздушной смеси $q_v$ , л/мин		
Время проведения анализа $\tau$ , мин		
Температура воздуха $t_{\text{ср}}$ , °С		
Барометрическое давление	Р, Па	
	Р, мм рт. ст.	
Вес фильтра	до анализа $m_1$ , мг	
	после анализа $m_2$ , мг	
	вес задержанной пыли $\Delta m$ , мг	
Объем анализируемого воздуха	протянутого через фильтр $V$ , м <sup>3</sup>	
	протянутого через фильтр и приведенный к <i>нормальным</i> условиям $V_{\text{н.у.}}$ , м <sup>3</sup>	
	протянутого через фильтр и отнесенный к <i>приведенным</i> условиям $V_{\text{прив.}}$ , м <sup>3</sup>	
Концентрация пыли	при <i>нормальных</i> условиях $C_{\text{н.у.}}$ , мг/м <sup>3</sup>	
	в <i>приведенных</i> условиях $C_{\text{прив.}}$ , мг/м <sup>3</sup>	
Количество вредного вещества, выделяющегося в воздух рабочей зоны $G$ , мг/ч		
Количество подаваемого (или удаляемого) в помещение воздуха $L$ , м <sup>3</sup> /ч		
Кратность воздухообмена $K$ , ч <sup>-1</sup>		

Таблица

**Результаты подбора вентилятора**

Вентилятор	Центробежный вентилятор ВРП
Технические условия	ТУ 29.2-24472991-019:2007
Исполнение	<i>Пылевое</i>
Производительность по воздуху $Q$ , тыс. м <sup>3</sup> /ч	
Обозначение вентилятора	
Типоразмер двигателя	
Полное давление $P_{\text{полн}}$ , Па	
Суммарная звуковая мощность, дБ, не более	
Частота вращения рабочего колеса, об/мин	
Установленная мощность, кВт	
Масса вентилятора, кг, не более	

Таблица

**Результаты подбора респиратора**

Марка (тип) подобранного респиратора	
Эффективность пылезadržивания, %	
Время защитного действия (ч)	
Сокращение поля зрения, %	
Масса респиратора, г	

