

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

А.А. БОРОВИЦКИЙ, С.В. УГорова
В.И. ТАРАСЕНКО

СОВРЕМЕННАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

Учебное пособие



Владимир 2011

УДК 697.921.47

ББК 38.762

C56

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор, научный консультант
ООО «Конструкторские проектные работы»

А. Г. Сотников

Доктор технических наук, профессор Санкт-Петербургского
архитектурно-строительного университета

В.И. Полушкин

Печатается по решению редакционного совета
Владимирского государственного университета

Боровицкий, А. А.

C56 Современная промышленная вентиляция: учеб. пособие /
А.А. Боровицкий, С. В. Угорова, В. И. Тарасенко : Владим. гос.
ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. – 59 с.
ISBN 978-5-9984-0180-0.

Учебное пособие состоит из двух частей. В первой части приведены основные сведения о промышленной вентиляции, во второй – особенности проектирования вентиляции промышленных зданий разного назначения и технологий, например гальванических, сварочных, химических, металлургических и др. Основное внимание уделено литературе, описывающей технологические процессы, характеристики и расчет вредных выделений разных производств, а также выбору принципиальных решений систем промышленной вентиляции.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 270109 «Теплогазоснабжение и вентиляция», по дисциплине «Вентиляция промышленных зданий», для выполнения курсового и дипломного проектов, а также магистров, обучающихся по направлению 270100 «Строительство», и практической работы специалистов проектных институтов разного профиля.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС 3-го поколения.

Ил. 12. Табл. 4. Библиогр.: 170 назв.

УДК 697.921.47

ББК 38.762

ISBN978-5-9984-0180-0

© Владимирский государственный
университет, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Введение	9

Часть 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОМЫШЛЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

1.1. Факторы воздушной среды, оказывающие влияние на человека, объект и технологический процесс в нём	9
1.2. Вредные выделения в производственных помещениях	11
1.3. Методы определения тепло- и влаговыделений в производственных помещениях	15
1.4. Основы расчетов систем промышленной вентиляции	18
1.5. Расходы (потoki) воздуха в системах промышленной вентиляции	21
1.6. Основные типы местных отсосов в системах промышленной вентиляции	27
1.7. Основы очистки удаляемого воздуха в системах промышленной вентиляции	28
1.8. Основы разработки проекта предельно-допустимых выбросов	31
Контрольные вопросы	32

Часть 2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ВЕНТИЛЯЦИИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕХАХ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

2.1. Гальванические цеха	34
2.2. Литейные цеха	35
2.3. Термические и кузнечно-прессовые цеха	36
2.4. Цеха механообработки	36
2.5. Сборочно-сварочные цеха	37
2.6. Цеха переработки пластмасс	38
2.7. Химическое производство: утечки через неплотности оборудования	38
2.8. Цеха окраски	39

2.9. Зарядные и аккумуляторные цеха	40
2.10. Цеха деревообработки	41
2.11. Предприятия по обслуживанию автомобилей.....	42
2.12. Производство, связанное с бериллием и его соединениями.....	42
2.13. Производство, связанное с выделением радиоактивных веществ	43
2.14. Помещения для курения как источник вредных выделений	44
Контрольные вопросы	44
Заключение	45
Библиографический список	45

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современные разнообразные производства после известного кризиса и спада 90-х г.г. XX века постепенно развиваются, поэтому постоянно ощущается большой дефицит технической литературы, в том числе изданий по промышленной вентиляции. Производственные объекты и технологии многочисленны и сложны, требования к инженерным системам постоянно растут, что делает необходимым индивидуальный подход к объектам проектирования. В настоящее время основным документом, описывающим комплекс требований к зданиям разного назначения и их инженерным системам, является «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [39].

Прочитируем статью 20 «Требования к обеспечению качества воздуха» технического регламента:

«1. В проектной документации зданий и сооружений должно быть предусмотрено оборудование зданий и сооружений системой вентиляции. В проектной документации зданий и сооружений может быть предусмотрено оборудование помещений системой кондиционирования воздуха. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха должны обеспечивать подачу в помещения воздуха с содержанием вредных веществ, не превышающим предельно допустимых концентраций для таких помещений или для рабочей зоны производственных помещений.

2. В проектной документации здания и сооружения с помещениями с пребыванием людей должны быть предусмотрены меры по:

1) ограничению проникновения в помещения пыли, влаги, вредных и неприятно пахнущих веществ из атмосферного воздуха;

2) обеспечению воздухообмена, достаточного для своевременного удаления вредных веществ из воздуха и поддержания химического состава воздуха в пропорциях, благоприятных для жизнедеятельности человека;

3) предотвращению проникновения в помещения с постоянным пребыванием людей вредных и неприятно пахнущих веществ из трубопроводов систем и устройств канализации, отопления, вентиляции, кондиционирования, из воздуховодов и технологических трубопроводов, а также выхлопных газов из встроенных автомобильных стоянок;

4) предотвращению проникновения почвенных газов (радона, метана) в помещения, если в процессе инженерных изысканий обнаружено их наличие на территории, на которой будут осуществляться строительство и эксплуатация здания или сооружения».

В соответствии с этими требованиями в данном пособии наибольшее внимание уделено таким распространенным производствам и технологическим процессам, как окраска изделий, сварка, шлифовка, нанесение гальванических покрытий, работа химического оборудования, зарядка аккумуляторных батарей, помещения автостоянок, литейное и термическое производство, деревообработка, переработка пластмасс, производство, связанное с выделением радиоактивных веществ.

Промышленной вентиляцией в нашей стране с 30 – 50 гг. XX века занимались на кафедрах ведущих вузов страны: МИСИ, ЛИСИ, НИСИ, ППИ и др., а также в лабораториях промышленной вентиляции НИИ Охраны труда в Москве, Ленинграде, Тбилиси, Свердловске, Иваново и других организациях. Результаты этих исследований обобщены в многочисленных книгах и статьях. Наиболее известные книги по промышленной вентиляции А. Н. Селиверстова, 1934 г. [137], Г. Н. Уфимцева, 1946 г. [151], Г. А. Максимова, 1949 г. [109], Д. Д. Дитерихса, 1951 г. [87], В. В. Батурина (см. фото) и В. В. Кучерука, 1948, 1954 и 1963 гг. [43, 64, 65], П. Н. Каменева, 1959 г. [94], С. Е. Бутакова, 1962 г. [75], Б. С. Молчанова и В. А. Четкова, 1964 г. [117], М. Ф. Бромлея и В. П. Щеглова, 1965 г. [74], Т. А. Фиалковской, 1947, 1956, 1977 г. [152 – 154], В. М. Эльтермана (см. фото), 1971 г. [58], М. И. Гримитлина, Е. М. Эльтермана и др., 1978 – 1983 гг. [47, 48, 82], Б. М. Торговникова и др., 1983 г. [148], А. М. Гримитлина и др., 2007 г. [46], В.И. Полушкина и др., 2008 г. [52]. Однако все они в основном были изданы во второй половине XX века и не переиздаются. Современные издания зачастую выходят с ограниченной библиографией, что затрудняет пользование ими в библиотеках и через Интернет. Нельзя не отметить большую пользу отечественных специальных изданий, систематизирующих удельные вредные выделения (выбросы) основных производств [51, 54, 78, 108, 113, 114, 162 – 166].

Данное издание выгодно отличается от других тем, что в нём собран и обобщен достаточно большой перечень нормативной, учебной и справочной литературы по сравнению с другими известными книгами и пособиями. Поэтому читатель, воспользовавшись Интернетом

или библиотекой и указанными изданиями, может выполнить основные расчеты вредных выделений, воздухообменов, местных отсосов систем промышленной вентиляции многих объектов и производств.

Владимир Васильевич Батурин
(1890 – 1964)



Ведущий отечественный специалист по промышленной вентиляции, автор наиболее известной и широко используемой, многократно переизданной книги «Основы промышленной вентиляции», д-р техн. наук, профессор Владимир Васильевич Батурин. В его книге кратко изложены богатые исследования в области промышленной вентиляции, выполненные в 1930 – 1960 гг. Они оказали неоценимую практическую помощь для промышленной вентиляции в период индустриализации страны, а также послевоенного восстановления народного хозяйства и дальнейшего

развития промышленности.

Виктор Михайлович Эльтерман
(1913 – 1983)

Ведущий отечественный ученый по промышленной вентиляции, автор широко известной книги «Вентиляция химических производств» и других, д-р техн. наук, профессор Виктор Михайлович Эльтерман. Основные теоретические положения его работ широко используют до последнего времени при изучении и описании процессов распространения вредностей, турбулентной диффузии, аварийной вентиляции химических цехов и многих других.



В этом учебном пособии кратко изложены основные сведения по промышленной вентиляции и указаны источники, в которых можно найти подробную информацию по интересующему объекту, пре-

жде всего о его технологии, нагрузках и особенностях проектирования (всего 170 публикаций). Особенность данного учебного пособия в компактности изложения основных сведений по промышленной вентиляции, так, в гл. 2 (20 страниц) описаны более десяти основных производств. В то же время наиболее известные и компактные учебные пособия В. П. Титова и др., 1985 г. [57], О. Д. Волкова, 1989 г. [45] имеют хотя и существенно бóльший объем, однако весьма скромную библиографию.

Авторы надеются, что предложенная форма учебного пособия будет полезна студентам, магистрам и инженерам и в конечном счете поможет им более правильно проектировать сложные системы промышленной вентиляции для различных производств. В силу ограниченности объема данные о местных отсосах представлены в отдельном методическом пособии этих же авторов «Вытяжные зонты и методы их расчета», 2011. Наибольшее внимание в нем уделено конструкциям местных отсосов, моделированию процессов, аэродинамическому и конструктивному расчету.

Авторы выражают особую благодарность д-ру техн. наук, профессору А.Г. Сотникову за полезные советы, консультации и материалы, предоставленные им, а также с интересом и благодарностью ознакомятся с вашими замечаниями. Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87, корпус 2, кафедра ТГВиГ, телефон кафедры: 8-(4922)-47-96-36, email: tgvvv@vpti.vladimir.ru, home24@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Вентиляция промышленных зданий» тесно связана с другими специальными техническими дисциплинами, составляющими специальность «Теплогазоснабжение и вентиляция»: «Теоретические основы создания микроклимата в помещении», «Строительная теплофизика», «Насосы, вентиляторы и компрессоры», «Теплоснабжение», «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение», «Автоматизация и управление процессами теплогазоснабжения и вентиляции».

Системы вентиляции устраивают в самых различных зданиях и сооружениях. Специалист по вентиляции должен обладать знаниями по архитектуре и строительству, учитывать особенности технологического процесса и архитектурно-планировочных решений зданий.

Проектирование систем промышленной вентиляции состоит из нескольких основных этапов: расчет вредных выделений, определение воздухообменов, выбор принципиальных решений систем вентиляции (СВ), трассировки воздуховодов.

Часть 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОМЫШЛЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

1.1. Факторы воздушной среды, оказывающие влияние на человека, объект и технологический процесс в нём

Человек находится в помещении около 3/4 (или более половины) своей жизни, поэтому для него важно обеспечивать наиболее комфортные параметры микроклимата на производстве и в быту. На человека воздействуют следующие факторы воздушной среды помещения: температура, подвижность и относительная влажность воздуха, интенсивность излучения нагретых поверхностей, вредные выделения (пары, газы, пыль).

Кроме факторов, воздействующих на человека, существуют другие, например взрыво- и пожароопасность многих веществ, которые могут повлиять на безопасность объекта (помещения, здания, сооружения) и технологический процесс в нем. Некоторые взрывоопасные газы, такие как водород и метан, сами по себе (при низких концентрациях в воздухе) не опасны для человека, но могут нанести серьёзный ущерб при взрыве. Взрывоопасность веществ, выделяющихся при тех-

нологических процессах, следует принимать согласно [21] по заданию на проектирование, а их характеристики определяют по данным [5].

1.1.1. Требования, предъявляемые к промышленной вентиляции

Объекты, оснащаемые системами кондиционирования и вентиляции, многочисленны и разнообразны. При проектировании промышленной вентиляции специалисты учитывают комплекс многих требований: санитарно-гигиенических и акустических, технологических, конструктивно-компоновочных, требований взрывопожарной и пожарной безопасности, антитеррористических, требований к надежности систем кондиционирования и вентиляции (СКВ), экологических, стоимостных, требований к энергосбережению и эксплуатационных. Они подробно описаны в гл.1 [55]. Комплекс этих требований в разных объектах преломляется по-разному, одни требования выходят на первое место, другие оказываются несущественными.

Требования и основные нормативные документы по проектированию

- наружные расчетные параметры «А» и «Б» [17];
- параметры воздушной среды (оптимальные и допустимые) [3, 22];
- содержание вредных веществ [11 – 14, 27];
- взрывоопасность веществ и взрывопожарная безопасность помещений [2, 4, 5, 15, 20, 21, 28, 29, 36];
- уровень шума на рабочем месте [19, 32];
- требования к ионному составу [23];
- радиационная безопасность [30, 34];
- безопасность в чрезвычайных ситуациях [8];
- противодымная вентиляция [28, 29];
- экологические требования [9, 42];
- требования к энергосбережению [40].

1.1.2. Расчётные параметры наружного воздуха

Расход приточного воздуха определяют отдельно для тёплого, холодного периодов года и переходных условий (10 °С, энтальпия 26.5 кДж/кг), [21, п. 5.10 и прил. Л]. Расчетными для комфортных систем считаются параметры наружного воздуха «А» и «Б» [17, табл. 6*] а при технологическом кондиционировании выбираются с учетом требований технологического процесса, качества и стоимости продукции на основе задания. На наружные параметры «А» в тёплый период года рассчитывают вентиляцию жилых, общественных, административно-бытовых и производствен-

ных помещений, а также установки воздушного душирования при поддержании *допустимых* параметров в помещении. Наружные параметры «Б» применяют для расчёта систем отопления, вентиляции и воздушного душирования в холодный период года и для комфортных систем кондиционирования, обеспечивающих *оптимальные* параметры [3, 22] – в теплый.

1.2. Вредные выделения в производственных помещениях

К вредным выделениям относят избыточную теплоту, влагу, газы и пары вредных веществ, а также пыль. На основе этого определяют расходы наружного и приточного воздуха (см. формулы (7) и (10)). Для того чтобы обоснованно вести расчет этих величин, нужно в первую очередь представить себе их основные разновидности, их возможные связи и динамику изменения. Такие представления в конечном счете влияют на принципиальные решения СКВ и СВ и основные затраты. Учитывая это, нами использована классификация нагрузок, предложенная А. Г. Сотниковым [56] (рис.1).

Вредные вещества – вещества (более 2500 наименований), для которых органами санэпиднадзора установлена их предельно допустимая концентрация (ПДК) или ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) [13, 14].

«Предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества – концентрация, не оказывающая в течение всей жизни прямого или косвенного неблагоприятного действия на настоящее или будущие поколения, не снижающая работоспособности человека, не ухудшающая его самочувствия и санитарно-бытовых условий жизни. Нормативы установлены в виде максимальных разовых и среднесуточных ПДК с указанием класса опасности и лимитирующего показателя вредности, который положен в основу установления норматива конкретного вещества» [11].

По степени опасности для человека вещества подразделяют на четыре класса: 1 – чрезвычайно опасные; 2 – высокоопасные; 3 – умеренно опасные; 4 – малоопасные и установлены различные значения ПДК (см. табл. 1). Последние могут оказывать на человека *аллергическое* (А), *фиброгенное* (Ф), *отравляющее* (О), *канцерогенное* (К), *удушающее*, *раздражающее*, *наркотическое* и *опасное для репродуктивного здоровья* воздействия [10, 13, 41]. Они могут находиться в воздухе в виде пара (п), аэрозоля (а) или одновременно пара и аэрозоля (п+а) (табл. 1). Вредные вещества бывают одностороннего [41] или неодностороннего действия, что влияет на расчет их разбавления – см. далее формулы (7, г) и (7, д).

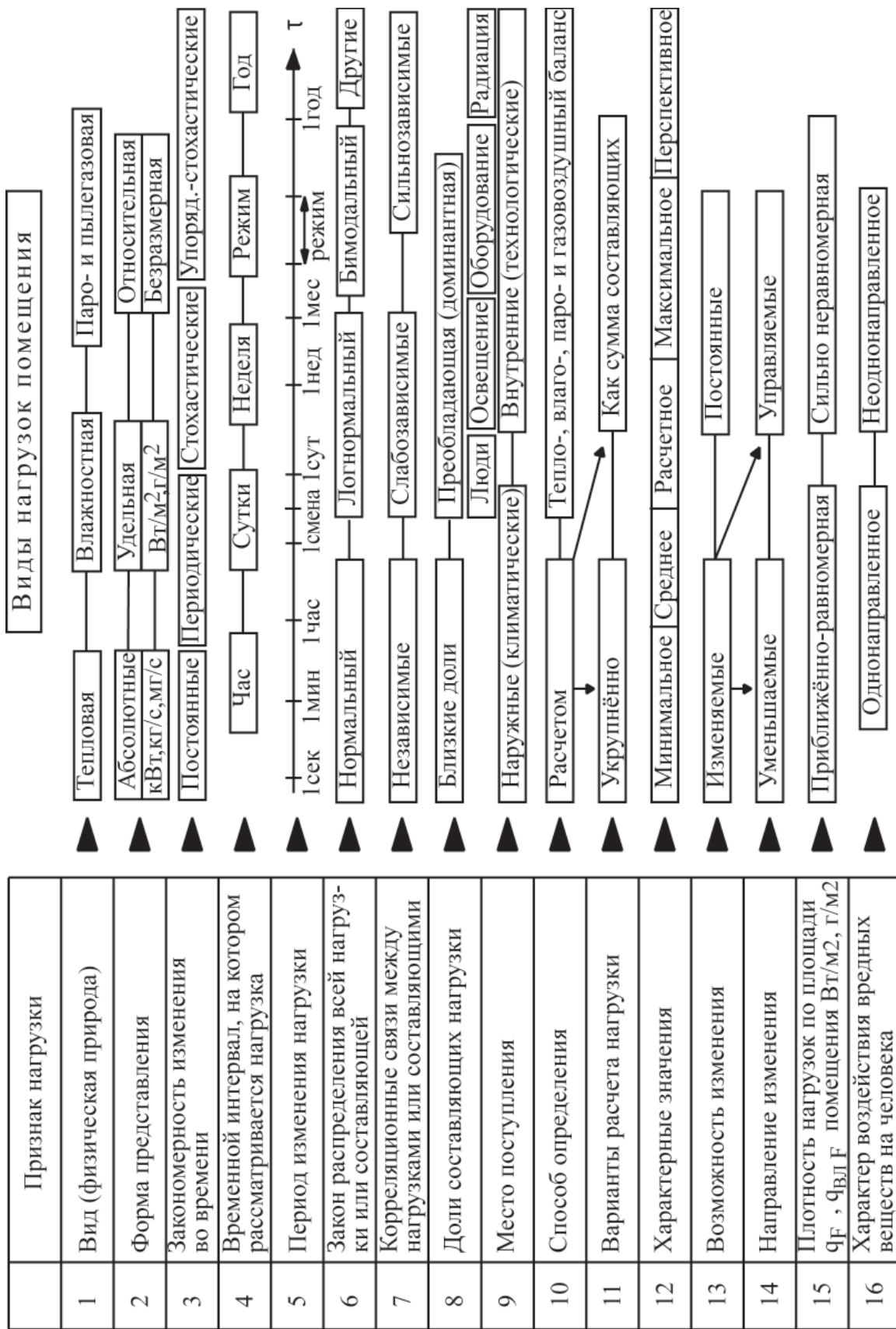


Рис. 1. Классификационная схема нагрузок помещения по основным признакам.

Таблица 1. Характеристики некоторых вредных веществ в воздухе рабочей зоны [13].

Номер	Наименование вещества	№ CAS	Формула	ПДК, мг/м ³ , макс. разовая ср.смен.	Преимущественное агрегатное состояние	Класс опасности	Особенности действия на организм
7	Азотная кислота	7697-37-2	HNO ₃	2	а	3	–
166	Аммиак	7664-41-7	NH ₃	20	п	4	–
252	Бензин	8032-32-4	–	300/100	п	4	–
282	Бериллий и его соединения	–	–	0,003/0,001	а	1	К, А
1555	Озон	10028-15-6	O ₃	0,1	п	1	О
1765	Ртуть	7439-97-6	Hg	0,01/0,005	п	1	–
2143	Хлор	7782-50-5	Cl ₂	1	п	2	О

Примечание. CAS (Chemical Abstracts Service) – уникальный численный идентификатор химических соединений.

Предельные концентрации для расчета предельно-допустимых выбросов (ПДВ) различают:

в атмосферном воздухе – максимально разовые; среднесуточные; при отсутствии данных по максимальным и среднесуточным концентрациям используют ориентировочно безопасный уровень воздействия (ОБУВ) на человека вредного вещества;

в рабочей зоне помещения – ПДК и ОБУВ для расчета воздухообменов.

1.2.1. Взрывоопасность газов, паров и аэрозолей

Смеси воздуха со многими горючими газами, например метаном, этиленом, ацетиленом, бензолом, бензином, водородом, аммиаком и др., взрывоопасны. Каждая смесь имеет определенную температуру воспламенения или взрыва. Если эта температура будет достигнута хотя бы в одной части смеси, то наступает воспламенение или взрыв всей смеси.

Взрывоопасная смесь – смесь горючих газов, паров, пыли, аэрозолей или волокон с воздухом при нормальных атмосферных условиях (давлении 760 мм рт. ст. и температуре 20 °С), у которой при воспламенении горение распространяется на весь объем несгоревшей смеси и развивается давление взрыва, превышающее 5 кПа.

Согласно [36, п. 7.3.19] «Верхний и нижний концентрационные пределы воспламенения – соответственно максимальная и минимальная концентрации горючих газов, паров ЛВЖ, пыли или волокон в воздухе, выше и ниже которых взрыва не произойдет даже при возникновении источника инициирования взрыва».

Взрывоопасные смеси газов и паров с воздухом в зависимости от размера безопасного экспериментального максимального зазора (БЭМЗ) подразделяются согласно [36] на категории (I, II, IIIA, IIIB, IIIC) и на группы в зависимости от температуры самовоспламенения (T1 – T6). Распределение взрывоопасных смесей газов и паров с воздухом по категориям и группам, нижний и верхний концентрационный предел распространения пламени (НКПРП и ВКПРП) и температура самовоспламенения взрывоопасных газов приведены в [5], пылей – в [36]. Взрывоопасные концентрации некоторых газов приведены в [44, 66, 94, 148 и др.]. В том случае, если в воздухе помещения выделяется несколько взрывоопасных веществ, предел взрываемости (НКПРП, ВКПРП) смеси газов $c_{см}$ определяют по формуле Ле-Шателье

$$c_{см} = 100 / \left(\sum_{i=1}^k n_i / c_i \right), \quad (1)$$

где n_i – объемная доля i -го газа в смеси, %; c_i – нижний (верхний) концентрационный предел распространения пламени, мг/м³ (также может быть измерен в объемных долях, %).

Согласно [21, п. 5.13] «Взрывопожаробезопасные концентрации веществ в воздухе помещений следует принимать при параметрах наружного воздуха, установленных для расчета систем вентиляции и кондиционирования». «В системах местных отсосов концентрация удаляемых горючих газов, паров, аэрозолей и пыли в воздухе не должна превышать 50 % НКПРП при температуре удаляемой смеси» [21, п. 7.1.13]. Согласно п. 7.2.5 концентрация горючих газов, паров или пыли в помещении не должна превышать 10 % НКПРП газо-, паро- и пылевоздушных смесей (см. также пособие 13.91 к СНиП 2.04.05-91, п.3 «Системы местных отсосов взрывоопасных смесей»).

Пример 1. Определить нижний и верхний пределы взрываемости и безопасную концентрацию в вытяжном шкафу для паровоздушной смеси, состоящей из 30 % бензола и 70 % этилового спирта (по объему).

Из ГОСТ [5] находим, что НКПРП по объему составляют: для бензола 1,2 %, для этилового спирта – 3,1 %, а ВКПРП соответственно 8,6 % и 19 %. В соответствии с п.7.1.13 [21] принимаем безопасную концентрацию в вытяжном шкафу, равную 0,3 НКПРП.

$$\text{НКПРП смеси: } c_{\text{см}} = 100 / (30 / 1,2 + 70 / 3,1) = 2,1 \% .$$

$$\text{ВКПРП смеси: } c_{\text{см}} = 100 / (30 / 8,6 + 70 / 19) = 13,9 \% .$$

Безопасная концентрация взрывоопасной смеси в вытяжном шкафу $x_{\text{см}} = 0,3 \cdot 2,1 = 0,63 \%.$

1.2.2. Виды, способы расчета и удельные количества вредных выделений (выбросов)

Способы расчета указаны в литературе для соответствующих производств. Удельные величины используют в приближенных расчетах и при отсутствии технологического задания. Методики расчета приведены в [51, 78, 108, 113, 114, 136, 162 – 166].

1.3. Методы определения тепло- и влаговыделений в производственных помещениях

В производственных помещениях имеют место тепловыделения от электродвигателей и станков, нагретого оборудования, остывающего материала, поверхности стенок укрытия (зонты и воздуховоды, по которым распространяется горячий воздух), освещения, людей и от солнечной радиации. Формулы и примеры расчета можно найти в [44, 52, 94, 117, 135, 140 и др.].

Во всех случаях теплота от нагретого тела в окружающую среду может передаваться путём теплопроводности, конвекции и излучения. Если температуры тела и окружающего воздуха различны, то между ними происходит конвективный теплообмен, он зависит от вида и теплофизических свойств среды: плотности ρ , температуры t , теплоемкости c , теплопроводности λ , температуропроводности $a = \lambda / (c \cdot \rho)$, вязкости μ и ν ; лучистый теплообмен – от степени черноты поверхностей, их расположения и температуры.

Конвективную теплоту от нагретых поверхностей технологического оборудования определяют по формуле, Вт:

$$Q_k = \alpha_k F_{\text{пов}} (t_{\text{пов}} - t_{\text{в}}), \quad (2)$$

где α_k – коэффициент конвективной теплоотдачи, Вт/(м²·К); $t_{\text{пов}}$ – температура поверхности источника тепла, °С; $t_{\text{в}}$ – температура воздуха в помещении, °С. Коэффициент α_k может быть определен по критери-

альным уравнениям теплообмена [69] или по эмпирическим зависимостям, например [148]:

$$\alpha_k = k_k (t_{\text{пов}} - t_{\text{в}})^{1/3}, \quad (3)$$

где k_k – коэффициент, значения которого при свободной конвекции принимают следующими: для вертикальной поверхности – 1,66; для горизонтальной, обращенной вверх, – 2,26; для горизонтальной, обращенной вниз, – 1,16.

Лучистую теплоту, поступающую на окружающие ограждения помещения, вычисляют по формуле Стефана-Больцмана, Вт:

$$Q_{\text{л},1-2} = \varepsilon_{\text{пр},1-2} \cdot c_0 \cdot \Phi_{1-2} \cdot F_1 [(T_{\text{пов},2}/100)^4 - (T_{\text{пов},1}/100)^4], \quad (4)$$

где $c_0 = 5,77 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ – коэффициент излучения абсолютного черного тела; F_1, F_2 – поверхности, излучение между которыми рассматривают, м^2 ; $T_{\text{пов},1}, T_{\text{пов},2}$ – температура воспринимающей и излучающей поверхности, °K ; $\varepsilon_{\text{пр},1-2}$ – приведенный коэффициент излучения, зависящий от коэффициентов излучения ε_1 и ε_2 поверхностей F_1 и F_2 ; Φ_{1-2} – коэффициент облученности, зависящий от взаимного положения и размеров этих поверхностей [44].

Удельный поток конвективной и лучистой теплоты, $\text{Вт}/\text{м}^2$, в зависимости от температуры нагретой поверхности удобно определять по графику рис. 2, построенному по данным [117] для температуры в помещении $t_{\text{в}} = 25 \text{ °C}$.

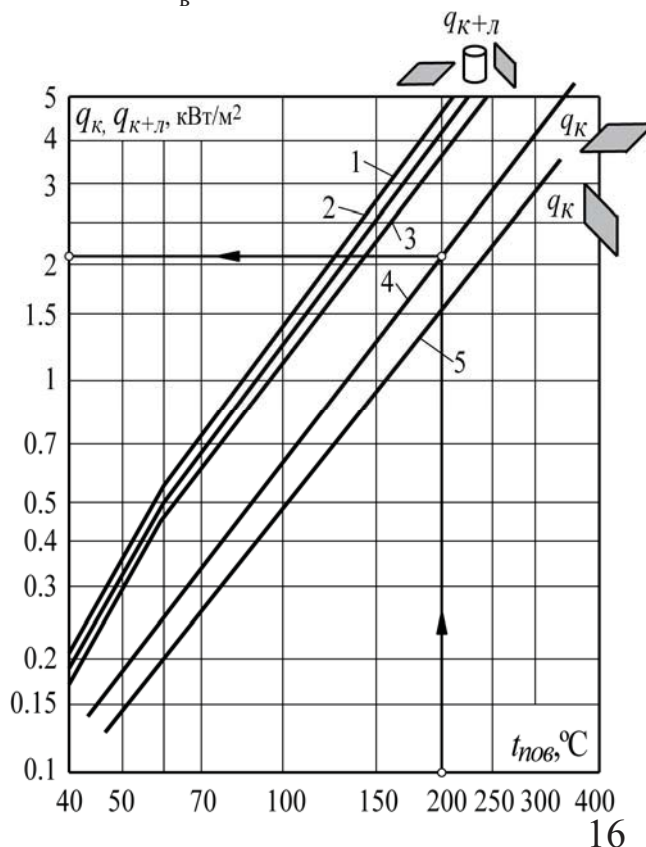


Рис. 2. Зависимость удельных тепловыделений нагретой поверхности q_k, q_{k+l} , $\text{кВт}/\text{м}^2$, от её температуры: 1 – полные тепловыделения с горизонтальной поверхности; 2 – то же, цилиндра; 3 – то же с вертикальной поверхности; 4 – конвективные тепловыделения с горизонтальной поверхности; 5 – то же с вертикальной поверхности. (Ключ: для горизонтальной поверхности при $t_{\text{пов}} = 200 \text{ °C}$; $q_k = 2,1 \text{ кВт}/\text{м}^2$)

Тепловыделения промышленного нагретого оборудования (электрованны, камерные, термические и шахтные печи, сушила и др.) приведены в [52, 140], кухонного оборудования – в [130]. Подробнее остальные расчеты тепловыделений см. [44, 52, 63, 94, 117, 135, 140 и др.].

Влаговыведения в производственных помещениях происходят с нагретых поверхностей ванн, от высыхающих материалов, от людей и других источников. Для определения массы испаряющейся влаги, $G_{вл}$, кг/ч, используют разные соотношения. Например, испарение с открытой водной поверхности описывают формулой

$$G_{вл} = 7,4(a + 0,017v_B)(p_{пов} - p_B)F \cdot 101,3 / P_{атм}, \quad (5)$$

где a – фактор движения воздуха под влиянием гравитационных сил (табл. 2); v_B – скорость упорядоченного движения воздуха у поверхности воды; $p_{пов}$, p_B – парциальное давление водяного пара в насыщенном воздухе при температуре поверхности воды и при известных параметрах воздуха в помещении, кПа; $P_{атм}$ – атмосферное давление, кПа.

Таблица 2. Значение коэффициента a в формуле (5) по данным [112]

$t_{ж}, ^\circ\text{C}$	30	40	50	60	70	80	90	100
a	0,022	0,028	0,033	0,037	0,041	0,051	0,060	0,066

Таблица 3. Температура поверхности жидкости $t_{пов}$ в зависимости от температуры жидкости $t_{ж}$ (при параметрах воздуха в помещении $t_B = 20 ^\circ\text{C}$ и $\phi = 70 \%$) по данным [112]

$t_{пов}, ^\circ\text{C}$	20	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100
$t_{ж}, ^\circ\text{C}$	18	28	33	37	41	45	51	58	69	82	90

Пример 2. Определить количество влаги, испаряющейся в воздух с открытой поверхности промывочных ванн ($F = 10 \text{ м}^2$) при следующих условиях: температура воды $t_{ж} = 50 ^\circ\text{C}$, параметры воздуха: $t_B = 20 ^\circ\text{C}$, $\phi_B = 70 \%$, подвижность воздуха в помещении $v_B = 0,4 \text{ м/с}$, $P_{атм} = 101,3 \text{ кПа}$.

Температура поверхности жидкости при $t_{ж} = 50 ^\circ\text{C}$ равна $t_{пов} = 45 ^\circ\text{C}$ (табл. 2). Упругость водяного пара у поверхности жидкости, насыщающего воздух, при $t_{пов} = 45 ^\circ\text{C}$ равна $p_{пов} = 9,6 \text{ кПа}$, а упругость воздуха в помещении при $t_B = 20 ^\circ\text{C}$ и $\phi_B = 70 \%$, $p_B = 1,6 \text{ кПа}$ (определяется по $i-d$ диаграмме влажного воздуха).

$$G_{вл} = 7,4(0,033 + 0,017 \cdot 0,4)(9,6 - 1,6) \cdot 10 \cdot 101,3 / 101,3 = 23,56 \text{ г/ч.}$$

Масса поступающей в воздух влаги $G_{вл}$, кг/ч, со смоченной поверх-

ности пола и стен в предположении приближенно-изоэнтальпийного процесса вычисляют по формуле

$$G_{\text{вл}} = 0,006(t_{\text{в}} - t_{\text{в.м}}) \sum F_{\text{смоч}}, \quad (6)$$

где $t_{\text{в}}$ – температура воздуха в помещении, °С; $t_{\text{в.м}}$ – температура воздуха по мокрому термометру, °С; $F_{\text{смоч}}$ – площадь смоченной поверхности, м².

Способы определения влаговыделений от разных источников описаны в [44, 50, 94, 117, 119, 140 и др.].

1.4. Основы расчетов систем промышленной вентиляции

Согласно СНиП [21] вентиляция это «...обмен воздуха в помещениях для удаления избытков теплоты, влаги, вредных и других веществ с целью обеспечения допустимых метеорологических условий и чистоты воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне при средней необеспеченности 400 ч/г – при круглосуточной работе и 300 ч/г – при односменной работе в дневное время».

1.4.1. Виды систем вентиляции

Различают следующие виды систем вентиляции: *общеобменные* (для всего помещения), *местные* (для определенной зоны) и *локализирующие* (местные отсосы для удаления вредных веществ в местах их выделения), *воздушные завесы*, *воздушные души*, *системы аспирации*, *пневмотранспорта*, *аварийная вентиляция* в случае выделения (прорыва) вредных веществ и *противодымная вентиляция*, *технологическая вентиляция* – подача воздуха в оборудование, сопровождающая данный технологический процесс. Также различают системы *естественной* и *механической* вентиляции, отличающиеся побудителем движения (гравитационным и ветровым воздействием или механическим побуждением). Естественный воздухообмен помещений через неплотности светопроемов и дверей называется соответственно *инфильтрацией* и *эксфильтрацией*. В промышленности наряду с общеобменной устраивают местную локализирующую вытяжную вентиляцию, которая улавливает вредности при помощи местных отсосов у места их образования, предупреждает распространение их по помещению, не допускает перемешивания с большими объемами воздуха и тем самым повышает эффективность системы вентиляции в целом при минимальном воздухообмене.

Пример принципиальной схемы приточно-вытяжной вентиляции сварочного цеха показан на рис. 3 [55].

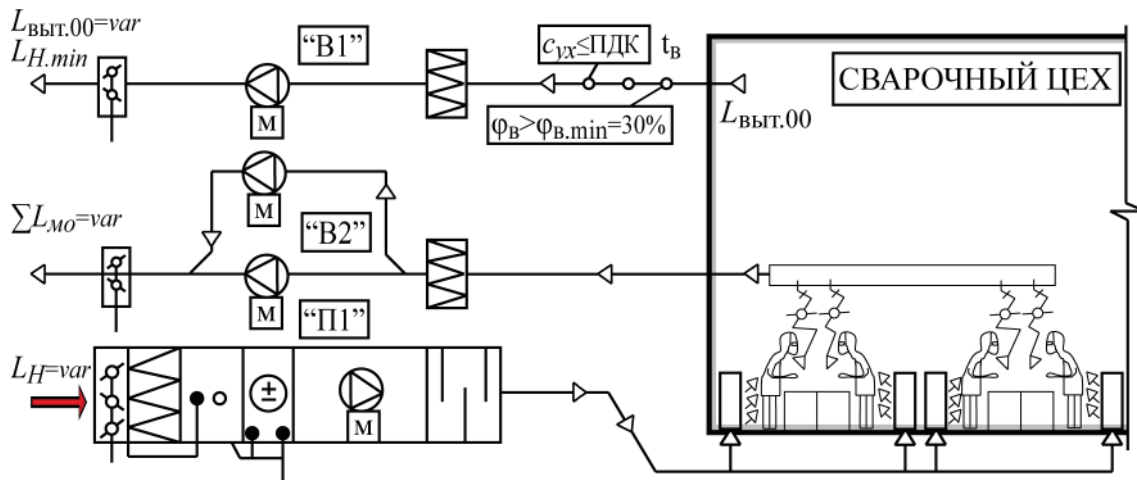


Рис. 3. Принципиальная схема приточно-вытяжной системы вентиляции сварочного цеха: П1 – приточная система; В1 – общеобменная вытяжная система; В2 – локализирующая вентиляция от сварочных постов; $L_{\text{ВЫТ.00}}$ – общеобменная вытяжка (расчетная вредность соединения Мп в сварочных аэрозолях, №1186, до 20 % ПДК 0,6/0,2; от 20 до 30 % ПДК 0,3/0,1, класс опасности 2 [13])

1.4.2. Аварийная вентиляция

Требования к данным системам изложены в пп.7.6, 12.14 «е» [21]. «Аварийную вентиляцию для помещений, в которых возможно внезапное поступление большого количества вредных или горючих газов, паров или аэрозолей, следует предусматривать в соответствии с требованиями технологической части проекта, учитывая несовместимость по времени аварии технологического и вентиляционного оборудования. Расход воздуха для аварийной вентиляции следует принимать по данным технологической части проекта», п. 7.6.1 [21].

На химических предприятиях и других объектах возможно временное превышение количества и концентрации выделяющихся вредных веществ из-за отклонений от нормального технологического режима и нарушения герметичности оборудования и коммуникаций. Аварийную вентиляцию следует рассчитывать в зависимости от массы вредного вещества, которое выделяется при нарушении технологического режима, его ПДК и времени, которое может быть допущено для снижения концентрации до предельно допустимой. Информацию по расчету систем аварийной вентиляции и примеры расчета см. [56, 58, 67, 94, 155, 160 и др.].

Принцип действия аварийной вентиляции и взаимосвязь между

кратностью воздухообмена и концентрацией вредных веществ в воздухе рабочей зоны описана в [58] и показана на рис. 4. Согласно этому рисунку аварийная вентиляция включается сразу после аварии, при повышении выделения вредных веществ и их концентрации в воздухе и не выключается до тех пор, пока концентрация не снизится до ПДК.

Включение систем аварийной вентиляции следует обеспечивать при образовании в воздухе рабочей зоны помещения концентраций вредных веществ, превышающих ПДК или допустимую аварийную концентрацию (ДАК), а также концентрацию горючих веществ в воздухе помещения, превышающую 10 % НКПРП газо-, паро-, пылевоздушной смеси [21].

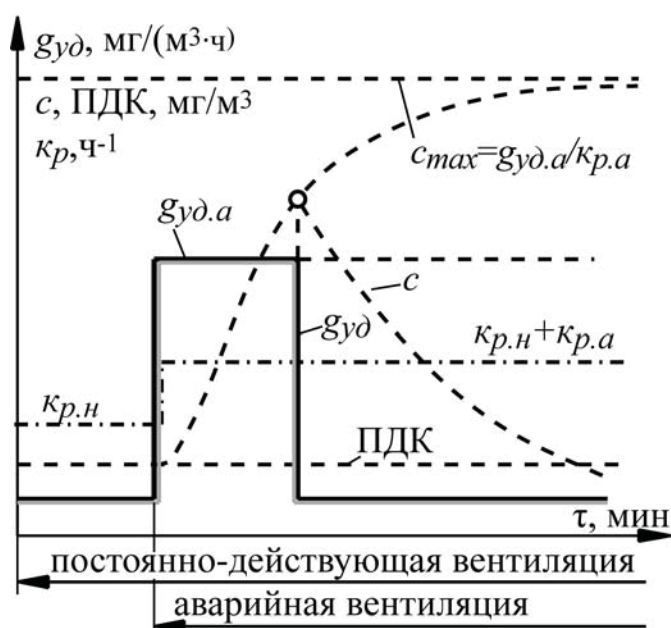


Рис. 4. График изменения во времени удельных газовыделений $g_{уд}$, мг/(м³·ч) – (сплошные) в производственном помещении, кратности воздухообмена $\kappa_{р.н}$ (в рабочем режиме) и $\kappa_{р.а}$ (в аварийном режиме, штрихпунктир) и концентрации вредного вещества (пунктир) в рабочей зоне во время аварии и при включении аварийной вентиляции

1.4.3. Противодымная вентиляция

Противопожарные требования [29] требуют: «Расход продуктов горения, удаляемых вытяжной противодымной вентиляцией, следует определять по расчету в зависимости от мощности тепловыделения очага пожара, теплопотерь в ограждающие строительные конструкции помещений и вентиляционных каналов, температуры удаляемых продуктов горения, параметров наружного воздуха, состояния (положений) дверных и оконных проемов, геометрических размеров». В соответствии с этим необходимо вести расчет по [115], в том числе используя дополнительные источники информации [67, 88, 101, 123, 141 и др.].

В соответствии с [29] противодымная вентиляция – это «регулируемый (управляемый) газообмен внутреннего объема здания при воз-

никновении пожара в одном из его помещений, предотвращающий поражающее воздействие на людей и (или) материальные ценности распространяющихся продуктов горения, обуславливающих повышенное содержание токсичных компонентов, увеличение температуры и изменение оптической плотности воздушной среды». Различают вытяжную и приточную системы противодымной вентиляции.

1.5. Расходы (потoki) воздуха в системах промышленной вентиляции

Определение расчетных и текущих расходов воздуха, необходимых для поддержания заданных параметров и состава воздушной среды, являются основной и неотъемлемой частью проектирования систем вентиляции. Согласно нормам [1] различают такие потоки (расходы) воздуха (рис. 5):

- *наружный 1* – атмосферный воздух, поступающий в систему вентиляции и кондиционирования;
- *приточный 2* – воздух, подаваемый в помещение (в систему) после подготовки;
- *воздух в помещении 3* – воздух в помещении (зоне) после подготовки;
- *перетекающий 4* – воздух, непосредственно перетекающий из одного помещения в другое;
- *вытяжной 5* – воздух, удаляемый из помещения;
- *рециркуляционный 6* – часть вытяжного воздуха, возвращаемого в систему вентиляции и кондиционирования;
- *удаляемый 7* – воздух, удаляемый в атмосферу;
- *вторичный 8* – воздух, отбираемый из помещения и возвращаемый в то же помещение (например после обработки в вентиляторном конвекторе);

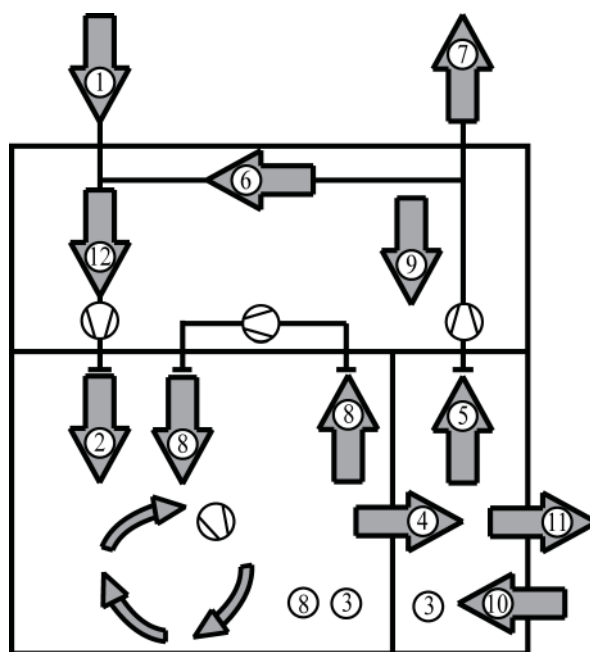


Рис. 5. Типы потоков (расходов) воздуха

- *утечка 9* – непредусмотренный поток воздуха через неплотности в системе;
- *инfiltrация 10* – поступление воздуха в здание из окружающей среды (воздухопроницаемость некоторых конструкций см. [18,120]);
- *экcфилтpация 11* – утечка воздуха из здания в окружающую среду;
- *воздушная смесь 12* – смесь двух или более потоков воздуха.

«Рециркуляция воздуха – подмешивание воздуха помещения к наружному воздуху и подача этой смеси в данное или другие помещения; рециркуляцией не является перемешивание воздуха в пределах одного помещения, в том числе сопровождаемое нагреванием (охлаждением) отопительными агрегатами (приборами) или вентиляторами-веерами» [21]. Ограничения к применению рециркуляции см. п. 7.4.4 [21].

Минимальный¹ расход наружного воздуха для производственного помещения со многими людьми, выделением различных вредных веществ, местными отсосами, требованиями подпора или разрежения определяется, как больший из нескольких расходов в системе уравнений (7). Расход наружного воздуха для разбавления до ПДК каждого из веществ неоднаправленного действия вычисляется по формуле (7, г) и из них выбирают наибольшее, а для однонаправленного – по формуле (7, д). Группы веществ однонаправленного действия указаны в [41]. Минимальный расход наружного воздуха, $L_{н.мин}$, м³/ч, определяется с учетом:

– санитарной нормы

$$L_{н.мин} = n_{л} L_{н.сан}, \quad (7, а)$$

– местных отсосов и одновременности их работы

$$L_{н.мин} = k_{одн} \sum L_{мо}, \quad (7, б)$$

– разбавления вредных или взрывоопасных веществ (формула в общем виде) и компенсации местных отсосов

$$L_{н.мин} = \frac{M_{вв} - L_{мо}(c_{в} - c_{н})}{k_L^c(c_{в} - c_{н})} + k_{одн} \sum L_{мо}, \quad (7, в)$$

– то же при разбавлении вредных веществ неоднаправленного действия

$$L_{н.мин} = \frac{M_{вв,i}(1 - \eta_{мо,i})}{ПДК_i - c_{н,i}} + k_{одн} \sum L_{мо}, \quad (7, г)$$

¹ по А.А. Рыменкевичу – термин, указывающий на то, что расход L_n по термодинамическим условиям может быть увеличен вплоть до $L_{н.маx} = L_{пр}$.

– то же при разбавлении вредных веществ однонаправленного действия

$$L_{\text{н.мин}} = \frac{\sum [M_{\text{вв},i}(1 - \eta_{\text{м.о},i}) / \text{ПДК}_i]}{1 - \sum (c_{\text{н},i} / \text{ПДК}_i)} + k_{\text{одн}} \sum L_{\text{мо}}, \quad (7, \text{д})$$

– требований подпора или разряжения

$$L_{\text{н.мин}} = 3600 \mu F \sqrt{2 \Delta P / \rho_{\text{в}}}, \quad (7, \text{е})$$

где $n_{\text{л}}$ – количество людей, находящихся в помещении в наибольшую смену; $L_{\text{н.сан}}$ – санитарная норма подачи наружного воздуха (см. прил. М [21], $\text{м}^3/(\text{ч} \times \text{чел})$); $k_{\text{одн}}$ – расчетный коэффициент одновременности работы местных отсосов; $\dot{a}L_{\text{мо}}$ – суммарная расчетная производительность всех местных отсосов, $\text{м}^3/\text{ч}$; $\eta_{\text{м.о}}$ – эффективность улавливания вредности местным отсосом, безразм.; $M_{\text{вв},i}$ – массовый расход выделяющегося в воздух помещения i -го вредного вещества, $\text{мг}/\text{ч}$; $c_{\text{н},i}$ – концентрация i -го вредного вещества в наружном воздухе, $\text{мг}/\text{м}^3$; μ – коэффициент расхода в неплотности, где происходит инфильтрация; F – площадь неплотности, м^2 ; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$; DP – перепад давлений, создаваемый в помещении по отношению к наружному воздуху или окружающим помещениям, Па; $c_{\text{в}}$ – допустимая концентрация вредного ($c_{\text{в}} = \text{ПДК}^2$) или взрывоопасного вещества ($c_{\text{в}} = 0,1 \text{ НКПРП}$, см. прил. Л, п. Л.3 [21]) в воздухе рабочей зоны, $\text{мг}/\text{м}^3$; k_L^c – коэффициент воздухообмена по концентрации.

Эффективность улавливания вредности местным отсосом

$$\eta_{\text{м.о}} = L_{\text{м.о}}(c_{\text{м.о}} - c_{\text{в}}) / M_{\text{вв}}, \quad (8)$$

где $c_{\text{м.о}}$ – концентрация вредного вещества, удаляемого системами местных отсосов, $\text{мг}/\text{м}^3$.

Эффективность снижения воздухообмена в помещении при замене общеобменной вентиляции местной вытяжкой можно оценить по зависимости

$$\bar{G} = \text{ПДК} (1 - \eta_{\text{м.о}}) / (c_{\text{м.о}} \cdot \eta_{\text{м.о}}), \quad (9)$$

Пример 3. Определить, во сколько раз сократится воздухообмен при применении местной вытяжки по сравнению с общеобменной. Эффективность улавливания вредности местным отсосом $\eta_{\text{м.о}} = 0,8$, отношение $c_{\text{м.о}} / \text{ПДК} = 10$. Расчетный воздухообмен по сравнению с общеобменной вентиляцией можно снизить $\bar{G} = (1 - 0,8) / (10 \cdot 0,8) = 1/40$, до т. е. можно сократить в сорок раз, но с проверкой всех других требований к расходу наружного воздуха.

² Если время выделения вредных веществ меньше, чем продолжительность смены, то вводят понижающий коэффициент (по Г. Я. Крупкину).

Пример 4. На участке сварки расход электродов УОНИ-13/45 составляет $G_3=10$ кг/ч. При сварке выделяются [54]: сварочные аэрозоли $g_1=14$ г/кг электродов, ПДК₁ = 4 мг/м³; марганец (Mn) и его оксиды (Mn_xO_y) $g_2=0,51$ г/кг, ПДК₂ = 4 мг/м³; оксид кремния (SiO₂) $g_3=1,4$ г/кг, ПДК₃ = 1 мг/м³; фтористый водород (HF) $g_4=1$ г/кг, ПДК₄ = 0,1 мг/м³. Сварщики имеют переносные вытяжные фильтровентиляционные установки со средней эффективностью улавливания вредных веществ $\eta_{м.о} = 0,8$. Определить минимальный расход наружного воздуха на разбавление прорвавшихся вредных веществ, считая, что в забираемом приточной системой наружном воздухе названных вредных веществ не содержится [55].

Если условно полагать все вредные вещества однонаправленного действия, то по формуле (7, г) минимальный расход наружного воздуха составит

$$L_{н.мин} = \frac{G_3(1-\eta_{м.о})}{1-\sum(c_{н,i}/ПДК_i)} \left(\frac{g_1}{ПДК_1} + \frac{g_2}{ПДК_2} + \frac{g_3}{ПДК_3} + \frac{g_4}{ПДК_4} \right) =$$

$$= \frac{10 \cdot 10^3 \cdot (1-0,8)}{1-0} \left(\frac{14}{4} + \frac{0,51}{0,1} + \frac{1,4}{1} + \frac{1}{0,1} \right) \approx 40000 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Если считать все вредные вещества при сварке неоднаправленного действия [41], то наибольшее количество наружного воздуха потребует разбавление HF, т.к. для него отношение г/ПДК наибольшее. В этом случае потребуется подавать наружный воздух в количестве

$$L_{н.мин} = \frac{G_3(1-\eta_{м.о})}{1-c_{н,4}/ПДК_4} \frac{g_4}{ПДК_4} = \frac{10 \cdot 10^3 \cdot (1-0,8)}{1-0} \left(\frac{1}{0,1} \right) \approx 20000 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Расчетный расход приточного воздуха определяется по условию ассимиляции избыточной теплоты, влаги или одновременно теплоты и влаги и наличия местных отсосов $L_{пр}$, м³/ч:

– по избыткам явной теплоты

$$L_{пр} = L_{м.о} + \frac{3,6Q_{расч.} - L_{м.о}c_{т.в}\rho_v(t_v - t_{пр})}{k_L^t c_{т.в}\rho_v(t_v - t_{пр})}, \quad (10, а)$$

– по избыткам полной теплоты

$$L_{пр} = L_{м.о} + \frac{3,6Q_{расч.} + G_{вл}i_{пар} - L_{м.о}\rho_v(i_v - i_{пр})}{k_L^i \rho_v \cdot (i_v - i_{пр})}, \quad (10, б)$$

– по избыткам влаги (водяного пара)

$$L_{пр} = L_{м.о} + \frac{1000 \cdot G_{вл} - \rho_v(d_v - d_{пр})}{k_L^d \rho_v (d_v - d_{пр})}, \quad (10, в)$$

где $L_{м.о}$ – расход воздуха, удаляемого из обслуживаемой или рабочей зоны помещения системами местных отсосов, и на технологические нужды, м³/ч; $Q_{расч.}$ – избыточный явный тепловой поток в помещение, Вт; $c_{т.в}$ – теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°С); $t_в$ – температура воздуха, удаляемого из обслуживаемой или рабочей зоны, °С; $G_{вл}$ – влаговыделения в помещении, кг/ч; $d_в$ – влагосодержание воздуха, удаляемого из обслуживаемой или рабочей зоны помещения, г/кг; $d_{пр}$ – влагосодержание воздуха, подаваемого в помещение, г/кг; $i_в$ – удельная энтальпия воздуха, удаляемого из обслуживаемой или рабочей зоны помещения, кДж/кг; $i_{пр}$ – удельная энтальпия воздуха, подаваемого в помещение, кДж/кг; $i_{пар}$ – удельная энтальпия пара, равная 2500 кДж/кг; k_L^t, k_L^i, k_L^d – коэффициенты воздухообмена см. [46, 54, 83, 140].

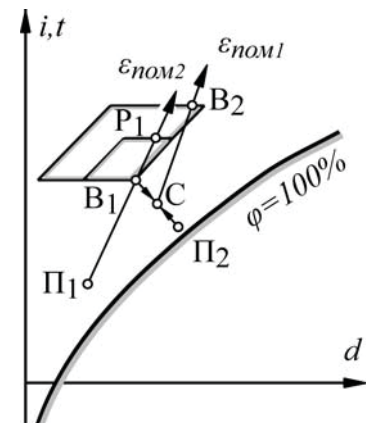
Воздухообмен при перетекании воздуха из более чистого в более грязное помещение (при наличии разности давлений) с разными тепло-влажновыделениями и вредностями вычисляется раздельно и последовательно по методике [61] (рис. 6).

В помещении может быть или баланс воздушных масс, или дисбаланс (положительный или отрицательный) по отношению к смежным помещениям. Уравнение баланса воздушных масс помещений имеет вид

$$L_{пр} - L_{уд} - L_{м.о} = 0, \quad (11)$$

где $L_{пр}$ – расход приточного воздуха; $L_{уд}$ – расход воздуха, удаляемого общеобменной системой вентиляции; $L_{м.о}$ – расход воздуха, удаляемого системой местных отсосов; L – утечки (подсосы) воздуха.

Рис. 6. Пример построения в диаграмме $i-d$ влажного воздуха при перетекании воздуха из помещения 1 в помещение 2: Π_1, P_1, B_1 – состояние воздуха в помещении 1; Π_2, B_2 – состояние воздуха в помещении 2, C – состояние смеси воздуха, подаваемого в помещение 2 (Π_2) и перетекающего из помещения 1 (B_1)



Согласно теории турбулентной диффузии вредные вещества могут распространяться против потока воздуха (рис. 7). Чтобы не допустить распространения вредных веществ из «грязной» зоны (помещения) в «чистую», необходимо создать определенную скорость движения воздуха через разделяющий их проем. В процессе расчета используют следующие основные зависимости [58]:

- необходимый расход в проеме

$$L_{\text{пер}} = 3600 \cdot F_{\text{пр}} \cdot v_{\text{пер}}, \quad (12)$$

- необходимая скорость

$$v_{\text{пер}} = \frac{A}{0,43x} \lg \frac{C_{\text{max}} - 0,1\text{ПДК}}{0,3\text{ПДК} - 0,1\text{ПДК}}, \quad (13)$$

- коэффициент турбулентного обмена:

$$A = 0,25 \cdot \varepsilon^{1/3} \cdot l^{4/3}, \quad (14)$$

- удельная энергия, вносимая приточными струями:

$$\varepsilon = k_p \cdot \alpha \cdot v_0^2 / (2 \cdot 3600), \quad (15)$$

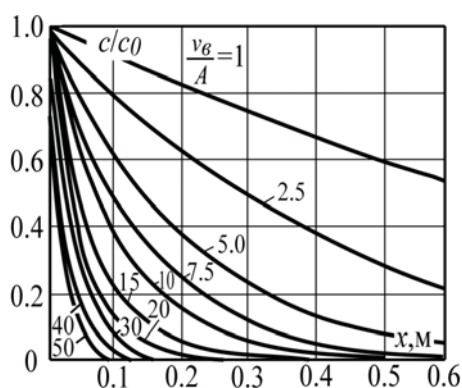


Рис. 7. Зависимость изменения относительной концентрации вредности c/c_0 в сносящем плоскопараллельном потоке воздуха в зависимости от расстояния x (м) и отношения v_0/A (по В.М. Эльтерману)

где $x = \delta + 2l$; δ – толщина перегородки, разделяющей «чистую» и «грязную» зоны, м; l – меньший размер проема, м; c_{max} – максимальное значение концентрации вредных веществ в «грязном» помещении; 0,3ПДК – допустимое содержание вредности в приточном воздухе; 0,1ПДК – допустимая концентрация в «чистом» помещении; l – определяющий размер проема, м.

Пример 5. Определим скорость движения воздуха в перегородке $\delta=0,1$ м, разделяющей два помещения через проем $1,5 \times 2$ м; в «грязном» помещении концентрация может достигать

$c_{\text{max}} = 20\text{ПДК}$ (например при аварии). В «чистое» помещение подают воздух с концентрацией вредного вещества 10 % от ПДК. Приток чистого воздуха происходит со скоростью $v_0=1,5$ м/с, коэффициент $\alpha=1,6$, кратность воздухообмена в «чистом» помещении $k_p=10$ ч⁻¹.

Удельная энергия, вносимая приточными струями

$$\varepsilon = k_p \cdot \alpha \cdot v_0^2 / (2 \cdot 3600) = 10 \cdot 1,6 \cdot 1,5^2 / (2 \cdot 3600) = 0,005 \text{ м}^2/\text{с}^3.$$

Коэффициент турбулентного обмена

$$A = 0,25 \cdot \varepsilon^{1/3} \cdot l^{4/3} = 0,25 \cdot 0,005^{1/3} \cdot 2^{4/3} = 0,11 \text{ м}^2/\text{с}.$$

$$x = 0,1 + 0,2 \cdot 1,5 = 0,4 \text{ м}.$$

Необходимая скорость в проеме

$$v_{\text{пер}} = \frac{0,11}{0,43 \cdot 0,4} \lg \frac{20 - 0,1}{0,3 - 0,1} = 1,24 \text{ м/с}.$$

Необходимый расход воздуха в проеме

$$L_{\text{пер}} = 3600 \cdot 1,5 \cdot 2 \cdot 1,23 \approx 13400 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Таким образом, если в «грязном» помещении произойдет авария и ПДК увеличится в 20 раз, то для того чтобы защитить «чистое» помещение от проникновения вредных веществ через открытый проём, необходимо обеспечить расход воздуха в проеме, равный 13400 м³/ч.

«Дисбаланс – разность расходов воздуха, подаваемого в помещение (здание) и удаляемого из него системами вентиляции с искусственным побуждением, кондиционирования воздуха и воздушного отопления» [21].

1.6. Основные типы местных отсосов в системах промышленной вентиляции

Местный отсос – устройство для улавливания вредных и взрывоопасных газов, пыли, аэрозолей и паров (зонты, бортовой отсос, вытяжной шкаф, кожух-воздухоприемник и т.п.) у мест их образования (станок, аппарат, ванна, рабочий стол, камера, шкаф и т.п.), присоединяемое к воздуховодам систем местных отсосов и являющееся, как правило, составной частью технологического оборудования [21]. Для всех местных отсосов расход удаляемого воздуха определяется по формуле, $L_{\text{м.о.}}$, м³/ч,

$$L_{\text{мо}} = 3600 \cdot F_{\text{пр}} \cdot v_{\text{вс}}, \quad (16)$$

где $F_{\text{пр}}$ – площадь рабочего проема локализирующего устройства, м²; $v_{\text{вс}}$ – расчетная скорость всасывания, м/с.

Во многих технологических процессах, например при окраске, травлении, резке, сварке, плавлении и многих других выделяются вредные вещества. Конструкции технологического оборудования, условия его работы, особенности выделяющихся вредных веществ, их физико-химические свойства, токсичность, поверхность испарения и другие факторы привели к многообразию типов и конструкций местных отсосов. Некоторые характерные конструкции таких устройств показаны на рис. 8. Более подробно о применении и расчете местных отсосов можно найти в [44, 45, 52, 53, 94, 111, 124, 159, 168 и др.].

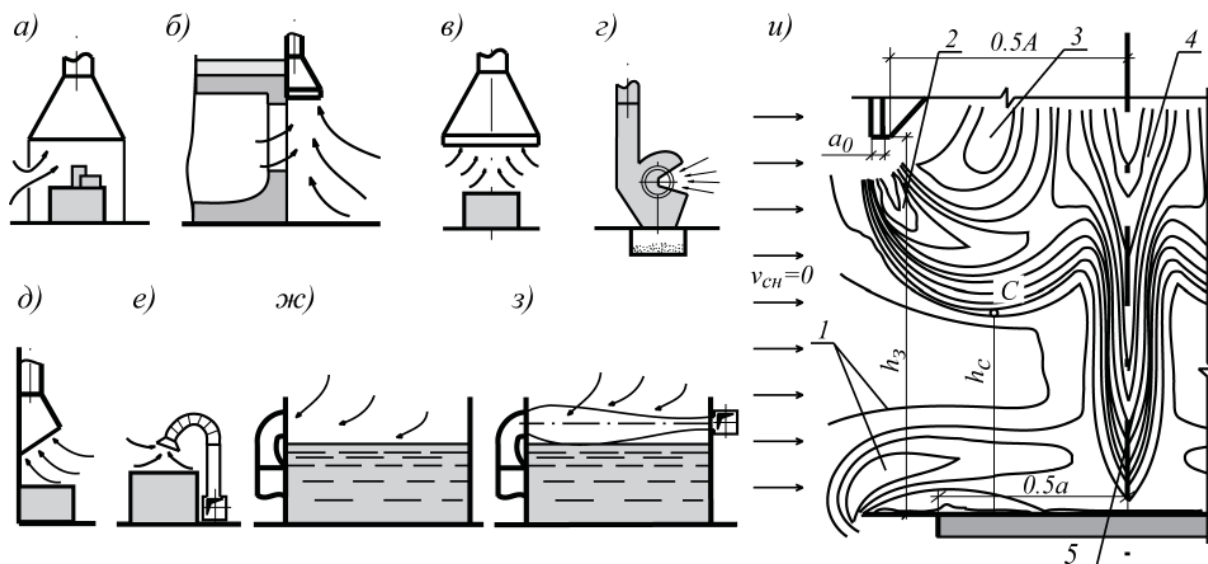


Рис. 8. Основные конструкции местных отсосов: а – вытяжной шкаф; б – зонтик над загрузочным проемом печи; в – индивидуальный вытяжной зонтик; г – отсос укрытие над шлифовальным кругом; д – сварочная панель у стационарного поста сварки; е – гибкий поворотный воздухоприемник; ж – односторонний бортовой отсос; з – бортовой отсос с передувом; и – линии токов при трёхпоточном взаимодействии источника теплоты, стока (спектра всасывания) и приточной струи; 1 – подсасываемый поток воздуха, 2 – траектория приточной струи, засасываемой вытяжным факелом, 3 – область обратного потока, 4 – вытяжной факел, 5 – конвективный поток [70, 71]

1.7. Основы очистки удаляемого воздуха в системах промышленной вентиляции

Системы вентиляции разных объектов решают задачи очистки воздуха: очистка наружного и рециркуляционного воздуха, удаляемого воздуха, биологическая очистка воздуха, очистка воздуха от бактериальных и радиоактивных загрязнений. В промышленной вентиляции наибольшее значение имеет очистка удаляемого воздуха от различных производственных вредностей. Система очистки выбирается согласно рекомендациям и справочникам [60, 80, 81, 84 – 86, 90, 98 – 100, 104, 118, 121, 128, 132, 133, 136, 140, 142 – 144, 149, 161, 167 и др.].

Для очистки воздуха от многочисленных аэрозолей и паров используют разные типы пылеуловителей: гравитационные, инерционные, «мокрые» фильтры (промыватели, пенные аппараты, абсорберы), тканевые, электрические, акустические, сорбционно-каталитические, плазмокatalитические и др. (рис. 9). Литература по этой проблеме обычно специализирована по видам производств (химическое, атомное, пищевое, металлургия, шахты и др.)

Эффективность пылеуловителя E , %, или суммарная эффективность многоступенчатой пылеулавливающей установки должна определяться по формуле

$$E = 100(c_n - c_k)/c_n \quad (17)$$

где c_n – концентрация пыли или загрязняющего вещества в очищаемом воздухе, мг/м³; c_k – допустимая концентрация пыли или загрязняющего вещества в очищенном воздухе, мг/м³.

Гравитационные пылеуловители. Пылеосадочные камеры – простейшие по конструкции и эксплуатации очистные сооружения. Их применяют для осаждения крупных частиц размером более 50 мкм и при больших начальных концентрациях. Осаждение в камерах происходит под действием собственного веса частиц пыли.

Инерционные пылеуловители сухого типа. Циклоны, жалюзийные пылеуловители относятся к пылеотделителям инерционного типа и применяются для очистки воздуха от сухой неслипающейся пыли. Их преимущество в компактности, простоте конструкции и обслуживании.

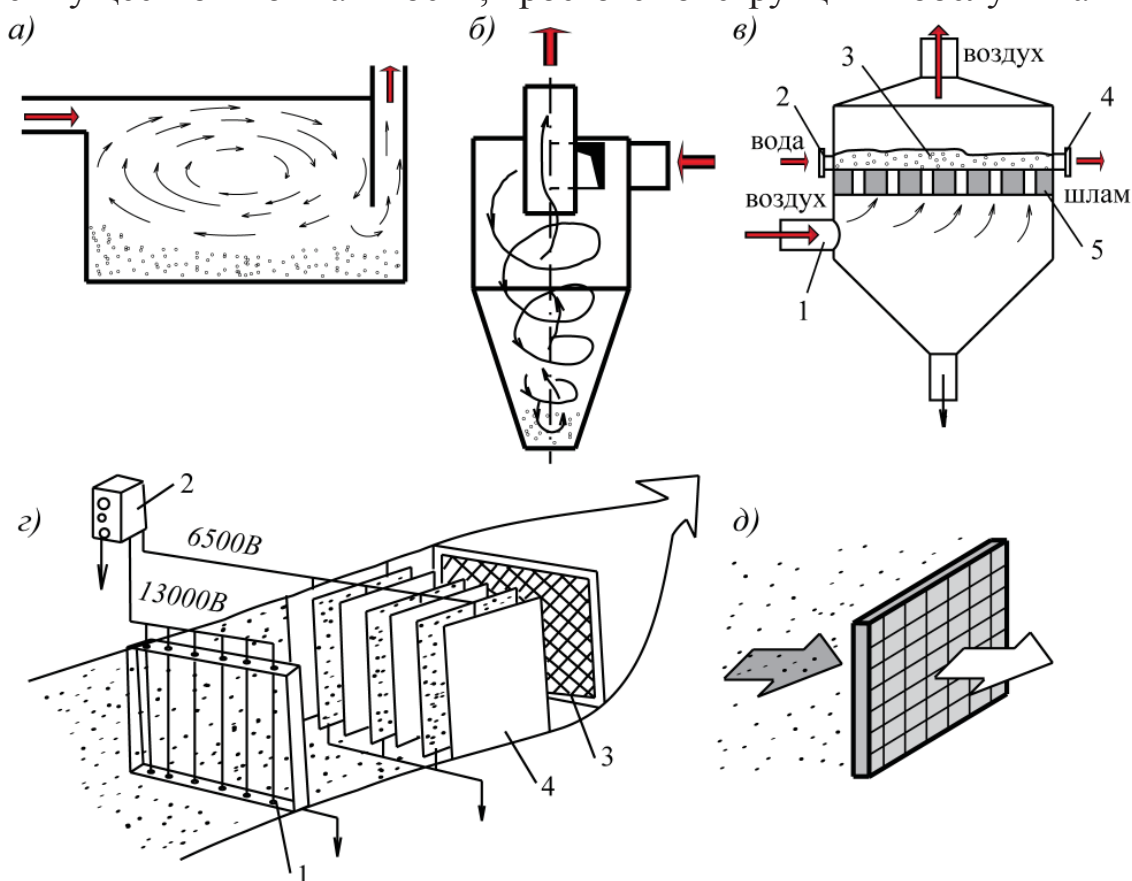


Рис. 9. Основные конструкции очистного оборудования: *a* – пылеосадочная камера; *б* – циклон; *в* – пенный промыватель: 1 – патрубок; 2 – штуцер для подачи воды; 3 – водяная пленка; 4 – трубопровод для отвода шлама; 5 – решетка; *г* – электрический фильтр: 1 – зона ионизации; 2 – источник питания; 3 – противоуносный пористый фильтр; 4 – осадительная зона; *д* – тканевый фильтр

Инерционные пылеуловители мокрого типа. В мокрых пылеуловителях сепарация пыли заканчивается при контакте частиц пыли с водой. Увлажнение пыли и поверхностей, где происходит осаждение пыли, резко повышает эффективность очистки, упрощает удаление пыли из очистного устройства и снижает опасность пожаров и взрывов. Для цементирующихся и волокнистых пылей мокрый способ очистки не пригоден.

Тканевые пылеуловители. В процессе работы тканевого фильтра чистая ткань накапливает в себе пыль и сопротивление проходу воздуха через неё увеличивается. Фильтровальные ткани должны иметь высокую пылеемкость, обладать механической прочностью и стойкостью к истиранию.

Пористые пылеотделители. Для этой группы пылеотделителей характерным признаком будет наличие слоя фильтрующего материала (насадка). Очистка заключается в задержании взвешенных частиц в многочисленных порах и разветвлениях при прохождении запыленного потока через насадку. В некоторых конструкциях для повышения эффекта пылезадержания фильтрующий слой смачивают жидкостями.

Электрофильтры. Выделение пыли из воздуха в электрофильтрах происходит под действием электрического поля. При этом происходит зарядка частиц пыли и возникает их движение к электродам, на которых и происходит осаждение пыли. С электродов пыль выпадает в бункер, откуда периодически удаляется.

Акустические пылеотделители. В устройствах, работающих на этом принципе, создаётся мощное ультразвуковое поле, при прохождении через которое пылевые частицы коагулируют (укрупняются). В результате этого значительно повышается эффективность их улавливания на последующей ступени очистки.

Сорбционно-каталитические фильтры. Предназначены для очистки вентиляционных выбросов с содержанием органических веществ (стирола, фенола, формальдегида, уксусной кислоты и др.). Фильтры применяются в цехах переработки пластмасс, в производстве красок, лаков и клеев, лекарственных препаратов и на других предприятиях различного профиля.

Плазмокаталитическая технология очистки воздуха (ПКТ). В результате плазмокаталитической обработки газообразные загрязняющие вещества разлагаются до элементарных соединений: воды (H_2O) и оксида углерода (CO_2).

1.8. Основы разработки проекта предельно-допустимых выбросов

Защита воздушного бассейна от вредных веществ, выбрасываемых технологическими и вентиляционными установками, имеет огромное значение как экологическая, экономическая и социальная проблема. При организации технологического процесса решают следующие задачи:

- исключить или снизить до минимума выделения вредных веществ в помещение и атмосферу;
- обеспечить максимально эффективную очистку воздуха от вредных веществ;
- вредные примеси, оставшиеся в выбрасываемом воздухе после очистки в небольшой концентрации, нужно рассеять таким образом, чтобы концентрация их в воздухе примыкающей территории и на промышленной площадке не превышала допустимые концентрации [55].

В соответствии с ГОСТ 17.2.3.02-78 [9] для каждого источника загрязнения атмосферы устанавливается *предельно-допустимый выброс* (ПДВ) вредных веществ в атмосферу. ПДВ устанавливается при условии, что выбросы от данного источника не создадут приземную концентрацию, превышающую максимально разовую допустимую концентрацию загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Если эта концентрация превышена, а значения ПДВ по причинам объективного характера в настоящее время не могут быть достигнуты, устанавливают *временно согласованные выбросы* (ВСВ) вредных веществ в атмосферу. В результате суммирования ПДВ (ВСВ) отдельных источников загрязнения атмосферы устанавливают значения ПДВ (ВСВ) для предприятий или объектов и их комплексов в целом. Санитарно-защитные зоны различных производств смотри в [24].

Расчеты рассеивания вредных веществ в атмосфере выполняют на основании [42] (с учетом фоновое загрязнение, которое должно быть задано). Практические расчеты экологической безопасности в жилой зоне вблизи промплощадки производят по специальным компьютерным программам с учетом выбросов вредных веществ, их количества и массы, концентраций, направления ветра и удаленности от жилой застройки. Пример составления карты-схемы предприятия, ситуационной карты района города, в котором расположено предприятие, показан на рис. 10.

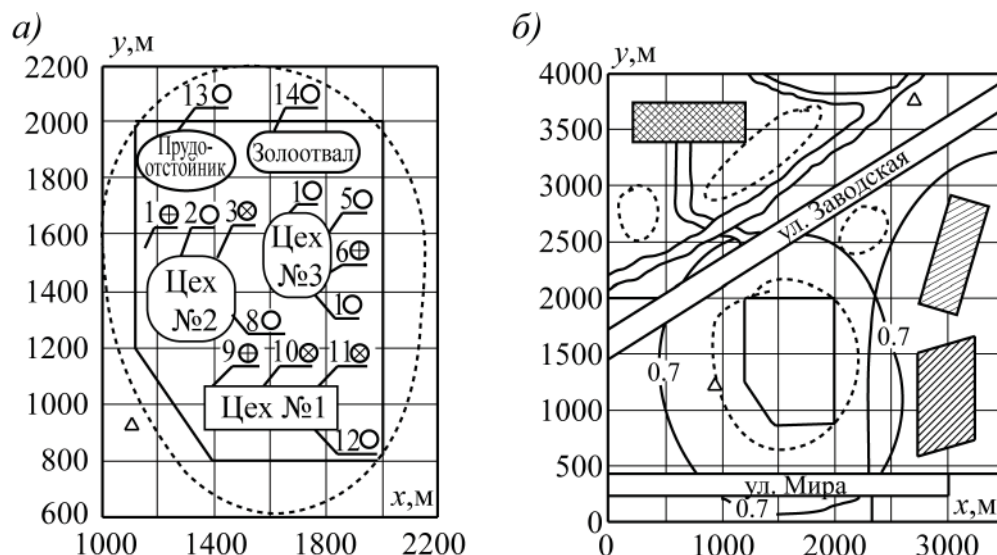


Рис. 10. Пример составления технологического задания на компьютерный расчет относительных концентраций $\bar{c}_n = c_n / \text{ПДК}$ на примере оксида азота (NO , ПДК = 0,4 мг/м³) и диоксида азота (NO_2 , ПДК = 0,085 мг/м³) на территории жилой застройки, примыкающей к предприятию: а – карта-схема предприятия; б – ситуационная карта-схема района города, в котором расположено предприятие. Условные обозначения: — граница территории предприятия; - - - санитарно-защитная зона; 0,7 – изолинии относительных концентраций загрязняющих веществ; 1,2,3 – номера источников выбросов; о – неконтролируемые источники; ⊗ – контролируемые источники; ⊕ – источники, задействованные в период неблагоприятных метеоусловий; Δ – точки контроля качества атмосферного воздуха; зелёная зона; ▨ – жилая застройка. Представление результатов расчета дано в [55]

Контрольные вопросы

1. Назовите основные требования, предъявляемые к системам промышленной вентиляции.
2. Какие основные факторы воздушной среды оказывают влияние на человека?
3. Как по степени воздействия на человека подразделяют вредные вещества?
4. Каким образом подразделяют предельно допустимые концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе и воздухе рабочей зоны помещения на категории?
5. Назовите виды воздействия вредных веществ на организм человека.
6. Как рассчитать пределы взрываемости смеси газов?
7. Назовите источники теплоты, влаги.

8. Каким образом определяется конвективная теплота, поступающая в воздух помещения, от нагретых поверхностей?

9. Каким образом определяются влаговыделения со смоченной поверхности пола?

10. Назовите виды (типы) систем вентиляции.

11. Какие факторы влияют на расчет аварийной вентиляции?

12. Назовите типы потоков (расходов) воздуха в системах вентиляции.

13. Какие основные виды местных локализирующих устройств существуют?

14. Назовите принцип действия инерционных пылеуловителей «мокрого» типа.

Часть 2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ВЕНТИЛЯЦИИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕХАХ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Знание характеристик вредных веществ в технологических процессах – решающий фактор, на основе чего принимают следующие решения:

- расчет воздухообменов в производственных помещениях;
- выбор принципиальных решений систем вентиляции помещений;
- локализация вредных веществ на основе использования местных отсосов;
- расчет и выбор системы очистки выбросов (проект ПДВ);
- выбор основного оборудования приточно-вытяжной механической вентиляции и определение технико-экономических характеристик.

Отличительная особенность промышленных зданий – различные вредные для человека и взрывопожароопасные вещества, выделяющиеся в ходе технологических процессов и требующие применения систем промышленной вентиляции и противопожарных решений. Наряду с этим многие процессы требуют кондиционирования воздуха для обеспечения специальных параметров воздушной среды и особой чистоты воздуха. К таким производствам относят отдельные участки или цеха предприятий машино- и станкостроения, электронной и радиопромышленности, приборостроения, типографии, предприятий текстильной и легкой промышленности, объектов связи и телекоммуникаций, фармацевтических производств, предприятий пищевой промышленности и др. В силу большой специфики проектирование отопительно-

вентиляционных систем проводят на основе как общих, так и ведомственных норм проектирования, максимально учитывающих специфику технологических процессов и выделяющихся вредных веществ, данные о которых систематизированы в методиках [51, 54, 78, 108, 113, 114, 162 – 166].

2.1. Гальванические цеха

В этих цехах наносят металл на поверхность различных изделий для предохранения их от коррозии, улучшения внешнего вида или придания поверхности большей прочности. Вредные вещества [13] выделяются в виде пыли (очистка, шлифовка, полирование и др.) и многочисленных химических веществ при химическом или электрохимическом обезжиривании, травлении, цинковании, кадмировании, хромировании и других операциях.

Перед нанесением гальванического покрытия изделия подвергаются травлению и обезжириванию. При травлении используют растворы серной, соляной и азотной кислот. Для предварительной очистки изделий производят обезжиривание бензином [47]. В гальванических цехах наряду с отделениями травления и гальванопокрытия имеются участки хранения химикатов и приготовления растворов, а также машинное отделение и отделение полировки. В машинном отделении доминирующими вредными выделениями являются избытки тепла, а в полировальном – пыль.

Основные вредные вещества [49]: водород (H_2), оксиды азота (NO_2 , N_2O , N_2O_3 , N_2O_4 , N_2O_5), азотная кислота (HNO_3), оксиды хрома (CrO_3 , Cr_2O_3 , $CrSO_4$), плавиковая кислота (40 %-ный раствор фторводорода HF в воде), растворители, серная кислота (H_2SO_4), фтористый водород (FH_3), хлористый водород (HCl), цианистый водород (HCN), щелочные аэрозоли ($NaOH$, KOH).

Наиболее распространенными устройствами для локализации вредных выделений в данном производстве являются бортовые отсосы. Методика их расчета и рекомендации по применению приведены в [44, 47, 52, 53, 117, 140 и др.].

Масса вредных веществ, поступающих в воздух при уносе растворов, определяется по формуле, г/ч:

$$M = m \cdot F \cdot \delta \cdot c, \quad (18)$$

где m – удельный унос растворов, отнесенный к площади $F=1$ м² обра-

батываемой поверхности и к толщине $\delta=1$ мкм толщины покрытия, л/ ($\text{м}^2 \times \text{мкм}$); F – площадь обрабатываемых поверхностей деталей (часовая программа), $\text{м}^2/\text{ч}$; δ – толщина покрытия, мкм; c – концентрация испаряющегося вещества в растворе, г/л. Эти данные см. в [49, 91].

Методики расчета вредных выделений при других технологических процессах см. [49, 93, 105, 131 и др.].

2.2. Литейные цеха

В состав литейного цеха машиностроительного завода входят плавильные агрегаты, шихтовый двор, участки приготовления формовочных и стержневых смесей, разлива металла и очистки литья. В качестве плавильных агрегатов используют в основном вагранки открытого и закрытого типа, дуговые и индукционные печи. Массу загрязняющего вещества рассчитывают по формуле

$$G = gD\beta(1 - \eta), \quad (19)$$

где g – удельные выделения загрязняющих веществ на единицу продукции, кг/т [51, 54]; D – расчетная производительность агрегата, т/ч; η – эффективность средств по снижению выбросов в долях единицы; β – поправочный коэффициент для учета условий плавки стали (числитель) и чугуна (знаменатель): кислый процесс – 1,0/1,0, основной процесс – 0,80/0,67, применение кислорода – 1,15/1,10, плавка легированной стали – 0,85, предварительный нагрев шихты до 400 °С – -/1,22.

При плавке чугуна выделяются: пыль, оксид углерода (CO_2), сернистый ангидрид (SO_2), оксиды азота (N_xO_y) и углеводороды (C_xH_y); при плавке алюминия дополнительно выделяются хлор (Cl) и фтористый водород (HF). Удельные выделения загрязняющих веществ можно найти в [47, 51, 54 и др.].

В рабочих зонах производственных помещений со значительными избытками явной теплоты (больше чем 23 Вт/м³) в летний период рекомендуется устройство аэрации, так как за счет аэрации можно осуществить значительные (по сравнению с механической приточной вентиляцией) воздухообмены (от 20 до 150 об/ч) при сравнительно небольших затратах. Например, исследования на натуре и моделях показали, что в кузнечном цехе автозавода расход воздуха может достигать $3 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{ч}$. Подробная информация по расчету аэрации представлена в [47, 52, 65, 135, 140 и др.], см. также [76, 157, 159, 167].

2.3. Термические и кузнечно-прессовые цеха

В кузнечно-прессовых цехах изготавливаются заготовки для деталей и изделий машиностроения. Производственный процесс состоит из резки холодных заготовок металла; нагрева металла под ковку или горячую штамповку в нагревательных печах до температуры 1100 – 1250 °С;ковки металла на молотах; штамповки изделий на горячих прессах. Основные производственные вредности [75, 135]: конвективная и лучистая теплота, оксид углерода, сернистый газ, пыль, окалины металла, пары и аэрозоли кислот, аммиак, окислы азота, цианистый водород и др.

В термических цехах происходит обработка металлов: отжиг, нормализация, закалка, отпуск, цементация, цианирование, азотирование и другие операции. В термических цехах осуществляется обработка металлических слитков и заготовок отштампованных изделий для придания им определенных химических, механических и металлографических свойств [47].

2.4. Цеха механообработки

В них производится обработка металла на строгальных, долбежных, сверлильных, токарных, фрезерных, шлифовальных и других станках. Основные вредные выделения [47]: тепловыделения от электродвигателей, людей и солнечной радиации, аэрозоли масла, металлическая и наждачная пыль. Выделение вредных веществ от станков можно рассчитать по данным [47, 51, 135, 148 и др.].

Объем воздуха $L_{м.о}$, м³/ч, отсасываемый от кожухов сухих абразивных кругов, определяется как больший из следующих величин:

$$L_{м.о} \begin{cases} = 360 F_{кож} v_{вс} \\ = k D_{кр} \end{cases}, \quad (20)$$

где $F_{кож}$ – площадь живого сечения кожуха, м²; $v_{вс} = 0,25v_k$ – при направлении пылевого факела непосредственно в отверстие кожуха, м/с; $v_{вс} = 0,3 - 0,4v_k$ – при направлении пылевого факела вдоль засасываемого отверстия кожуха, м/с; $D_{кр}$ – диаметр круга, мм; k – коэффициент, $k = 2$ – для заточных и шлифовальных станков с абразивными кругами; $k = 4$ – для полировальных станков с войлочными кругами; $k = 6$ – для полировальных станков с матерчатым кругом.

При механической обработке хрупких материалов для удаления стружки и пыли наиболее рациональным считается устройство пневмотранспорта [44, 52, 94, 97, 129, 140 и др.].

2.5. Сборочно-сварочные цеха

В них выполняют операции по сборке и сварке плоских и объемных металлических конструкций. Основной технологический процесс, от которого выделяется наибольшее количество вредных выделений (оксид азота, оксид углерода, оксид марганца, фтористые соединения, озон, пыль и сопутствующая им теплота), – это сварка. Работы по изготовлению сварных изделий выполняют на стационарных и нестационарных местах. К числу наиболее распространенных в промышленности электросварочных процессов относятся ручная сварка покрытыми штучными электродами, полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа, контактная сварка, сварка под флюсом, порошковой проволокой и сварка в среде инертных газов.

Санитарные правила при сварке, наплавке и резке металлов [26] регламентируют выбор принципиальных решений и расчет удельных расходов воздуха на 1 кг расходуемого сварочного материала. В документе отмечается п. 44. «Скорость движения воздуха, создаваемая местными отсосами у источников выделения вредных веществ, должна быть:

- при ручной сварке не менее 0,5 м/с;
- при сварке в углекислом газе не более 0,5 м/с;
- при сварке в инертных газах не более 0,3 м/с;
- при резке титановых сплавов и низколегированных сталей: а – газовой не менее 1,0 м/с, б – плазменной не менее 1,4 м/с;
- при плазменной резке алюминиево-магниевого сплава не менее 1,8 м/с и высоколегированных сталей;
- при плазменном напылении не менее 1,3 м/с;
- при заточке торированных вольфрамовых электродов не менее 1,5 м/с.

(п. 45.) Количество вредностей, локализуемых местными отсосами (с учетом скорости движения воздуха в помещении и других факторов), для вытяжных шкафов составляет не более 90 %, для остальных видов местных отсосов – не более 75 %. Оставшееся количество вредностей (10 – 25 %) должно разбавляться до предельнодопустимой концентрации (ПДК) с помощью общеобменной вентиляции».

Дополнительные сведения см. [47, 82, 95, 122, 135, 146 и др.]. Расчет вредных выделений при сварке [51, 54, 114 и др.].

2.6. Цеха переработки пластмасс

Большое число марок пластмасс (более 3000 к концу 70-х гг. XX века) и постоянно расширяющаяся номенклатура изделий из них обусловили возникновение нескольких десятков способов изготовления этих изделий. Наиболее распространенные из них – прессование, литье под давлением, экструзия и формование. Более подробно см. [48], а также методику расчета удельных выделений [31].

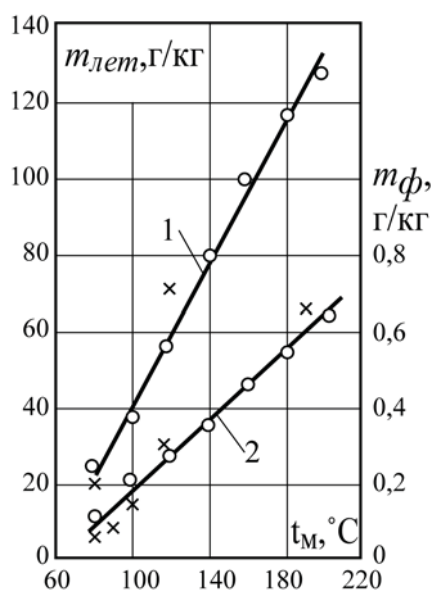


Рис. 11. Зависимость выделения фенола m_{ϕ} и всех летучих веществ $m_{лет}$ от температуры пресс-материала t_M .

Переработка пластмасс сопровождается высвобождением связанных и образованием новых химических веществ. Например, при прессовании фенопластов в воздух цеха выделяется более десятка вредных веществ: фенол, формальдегид, ацетон, ацетальдегид, спирты метиловый, бутиловый, пропиловый, бензол, ксилол, толуол, предельные углеводороды. Среди продуктов деструкции фенопластов наибольшим коэффициентом опасности, как отношением массы выделяющегося вещества к его ПДК, обладает фенол ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$), а деструкции аминопластов – формальдегид (CH_2O). Зависимость выделения фенола от основных параметров процесса прессования и температуры материала в интервале 70 – 220 °С приведена на рис. 11.

2.7. Химическое производство: утечки через неплотности оборудования

По данным В. М. Эльтермана [58], вредные вещества в воздух производственных помещений могут поступать:

- через неплотности в аппаратуре и трубопроводах, в которых имеется повышенное давление;
- через неплотности в аппаратуре и трубопроводах, работающих при атмосферном давлении или некотором разрежении вследствие разности концентрации вредных веществ в оборудовании и помещении;
- через неплотности в сальниках у вращающихся валов насосов, компрессоров, реакторов и др.;

- во время загрузки и выгрузки при прерывистых процессах производства;

- во время ремонта технологического оборудования и при авариях.

Предполагая, что истечение газов через неплотности оборудования подчиняются закону адиабатического истечения струи через небольшие отверстия, Н. Н. Репин [140] предложил формулу для расчета расхода газа, выделяющегося через неплотности, м³/с:

$$G_r = \eta \cdot c \cdot V_{\text{ап}} \sqrt{M/T}, \quad (21)$$

где η – коэффициент запаса, учитывающий ухудшение герметичности оборудования в процессе его эксплуатации в период между испытаниями на герметичность, принимается в пределах 1,5 – 2; c – коэффициент, зависящий от степени герметичности оборудования, принимается по табл. 4; $V_{\text{ап}}$ – внутренний объем аппаратуры и коммуникаций, в которых вредный газ или пар находится под давлением, м³; M – молекулярная масса газа или пара; T – абсолютная температура газа или пара в аппаратуре, К.

Таблица 4. Значение коэффициента c в формуле (21) в зависимости от степени герметичности m и рабочего давления

Наибольшее рабочее давление, ат	До 2	2	7	17	41	161	401
Коэффициент негерметичности оборудования m , ч ⁻¹	0,04	0,03	0,01	0,005	0,002	0,0005	0,0002
Коэффициент c	0,121	0,166	0,182	0,189	0,252	0,298	0,297

Примечание. Значения коэффициентов m и c даны для случая, когда испытания проводятся с воздухом при температуре 25 °С.

Более подробно см. [58, 62, 63, 85, 106, 125, 126, 139, 147, 150 и др.].

2.8. Цеха окраски

В таких цехах наносят защитные покрытия от коррозии и гниения, а также для придания изделиям товарного вида. В них используют окрасочные материалы [103, 152 – 154]: масляные краски, наполнители, пленкообразующие вещества и растворители. В окрасочных цехах выделяются пары растворителей и разбавителей, окрасочная пыль как в жидком, так и в твердом состоянии. При работе с лакокрасочными материалами возможно их пролитие, в результате чего в воздух помещения поступает значительное количество паров растворителя. Как правило, эти пары в смеси с воздухом создают взрывоопасные концентрации.

Расчет выделений растворителей лакокрасочных материалов весьма важен для задач промышленной вентиляции и подробно описан в статье [166], а методы расчета описаны в работе [110]. Зависимость испарения растворителя от времени определяется выражением

$$m = M [1 - \exp(-k\tau)], \quad (22)$$

где m – масса летучих, выделяющихся за время τ с единицы поверхности, г/м²; M – масса растворителя, выделяющегося при полном высыхании материала, нанесенного на единицу поверхности, г/м²; τ – время, характеризующее процесс высыхания (испарения растворителя), мин; k – показатель степени экспоненциального процесса, характеризующего интенсивность испарения растворителя во времени при определенных метеорологических условиях высыхания, мин⁻¹, его численные значения можно найти в [56, 164]. См. также [33, 77, 82, 95, 103, 113, 135, 165 и др.]

2.9. Зарядные и аккумуляторные цеха

Основными производственными вредностями считаются:

- в зарядных отделениях кислотных и щелочных аккумуляторов: водород, пары серной кислоты, пары щелочей;
- в ремонтных отделениях: свинцовая пыль, пары паяльных флюсов и др.;
- в кислотных и щелочных помещениях: пары серной кислоты и щелочи.

Количество наружного воздуха, требуемое для разбавления водорода до ПДК L , м³/ч, следует определять по п. 4.4.40 [36]:

$$L_n = 0,07 \cdot I_{\text{зар}} \cdot n, \quad (23)$$

где $I_{\text{зар}}$ – наибольший зарядный ток, А; n – число элементов в батарее.

Также существует методика расчета объема водорода, выделяющегося при заряде свинцовых аккумуляторов, основанная на рассмотрении химической реакции [36]. «Помещения аккумуляторных батарей, в которых производится заряд аккумуляторов при напряжении более 2,3 В на элемент, должны быть оборудованы стационарной принудительной приточно-вытяжной вентиляцией...

Кроме того, для вентиляции помещений аккумуляторных батарей должна быть выполнена естественная вытяжная вентиляция, которая обеспечивает не менее чем однократный обмен воздуха в час. В тех случаях, когда естественная вентиляция не может обеспечить требу-

мую кратность обмена воздуха, должна применяться принудительная вытяжная вентиляция», п. 4.4.40 [36].

Дополнительные сведения об организации подачи и удаления воздуха см. [36, 89, 95, 127, 157].

2.10. Цеха деревообработки

Деревообрабатывающие цеха машиностроительных заводов, где изготавливают модели для литейных цехов, тару и другие изделия, характеризуются образованием опилок, стружек и древесной пыли, паров клея, растворителей красок и лаков, избыточной теплоты и водяных паров.

Борьба с производственной пылью является сложной задачей и оказывается наиболее эффективной, если ведется комплексно с применением технологических и вентиляционных мероприятий. К технологическим относят все меры, способствующие уменьшению пылеобразования или вовсе сводящие их к нулю. Применение пневмотранспорта [44, 52, 94, 129, 140] или гидротранспорта вместо механического транспорта (шнеки, элеваторы, транспортеры и т.п.) значительно снижает пылеобразование и облегчает борьбу с пылью. Вытяжная вентиляция с местными отсосами пыли носит общее название аспирации. Однако под аспирацией большей частью подразумевают пылеотсасывающую вентиляцию, имеющую специфические особенности и удаляющие воздух, содержащий значительную массу пыли.

Оборудование, требующее аспирационных устройств: щековые и конусные дробилки, трубчатые и шаровые мельницы, грохоты качающиеся (а также вибрационные и барабанные), магнитные сепараторы, автоматические весы, молотковые дробилки и дезинтеграторы, мельницы и мешалки, бункеры, скиповые подъемники и приемники для раздробленного материала [117].

В системах аспирации наиболее опасны (в отношении взрыва и пожара) пылеулавливающие аппараты и бункеры для сбора уловленного продукта. Распространение опасного воздействия взрывов – ударного и огневого – возможно по трубопроводам, связывающим указанное оборудование с производственными помещениями, а также в результате разрушения самого оборудования [59, 107]. См. также [72, 73, 79, 89, 118, 158].

2.11. Предприятия по обслуживанию автомобилей

Проектирование данного вида предприятий необходимо вести в соответствии с [16, 35, 37, 38]. Основными производственными вредностями являются:

- в помещениях для хранения автомобилей – оксид углерода, аэрозоли свинца, оксид азота и альдегиды;
- в помещениях для обслуживания и ремонта автомобилей – оксид углерода, оксид азота и альдегиды;
- в шиноремонтном отделении – пыль резины, тепло, пары бензина.

Для отвода выхлопных газов в атмосферу посты обслуживания оборудуются местным отсосом с гибким шлангом, который одним концом присоединяется к выхлопной трубе автомобиля, а другим – к сборному воздуховоду. Объем газов, прорывающихся в помещение, принимается в размере 10 % от их общего количества [45]. Вредные выделения следует рассчитывать согласно методике, изложенной в прил. 5 [35], в соответствии с [37]. О газовой выделении при работе карбюраторных и дизельных двигателей смотри в [44, 147].

2.12. Производство, связанное с бериллием и его соединениями

Технологический процесс получения бериллия, гигиенические условия труда, средства и методы защиты персонала, рекомендации по устройству системы вентиляции приведены в [134], кратности воздухообменов – в [102].

В производственных помещениях грязной зоны должно поддерживаться разрежение 10 – 20 Па по отношению к чистой. Часто весь приточный воздух подают в чистую зону, а в грязную он поступает через клапаны избыточного давления (КИД) [102]. В оборудовании, требующем герметизации внутреннего объема с поддержанием в нем определенного разрежения (имеются в виду герметичные боксы), величина разрежения должна составлять 50 – 200 Па. Скорость движения воздуха в приточных воздуховодах 3 – 10 м/с, а в вытяжных должна быть не менее 20 м/с на горизонтальных участках и не менее 15 м/с на вертикальных. Приточные и вытяжные воздуховоды не должны проходить по одному помещению (как правило, выполняют отдельное техническое пространство для воздуховодов вытяжной вентиляции). Воздух, удаляемый системами местной, технологической и общеобменной вентиляции, должен быть направлен на газоочистку.

2.13. Производство, связанное с выделением радиоактивных веществ

Проектирование данного вида производства следует проводить в соответствии с нормами радиационной безопасности [25, 30, 34]. По степени возможной опасности внутреннего облучения работы с открытыми радиоактивными веществами в зависимости от активности вещества на рабочем месте и радиотоксичности делятся на три класса [34].

При проведении работ по I классу применяют зональное размещение оборудования, (рис. 12). При работах по II классу устройство трехзональной планировки не требуется, однако необходимо специально оборудованное помещение, расположенное изолированно в отдельном отсеке или крыле здания. Работы, относящиеся к III классу, проводят в общих помещениях, оборудованных в соответствии с требованиями, предъявляемыми к химическим лабораториям.

Расчет воздухообмена по разбавлению вредностей при радиоактивных веществах на практике используют редко. В подавляющем большинстве случаев в дополнение к местной системе вентиляции предусматривают общеобменную вентиляцию со следующей кратностью: а) в помещениях для работ I класса во второй зоне – 10-кратный, в третьей – 5-кратный; б) в помещениях для работ II класса – 5-кратный; в) в помещениях для работ III класса – 3-кратный [102].

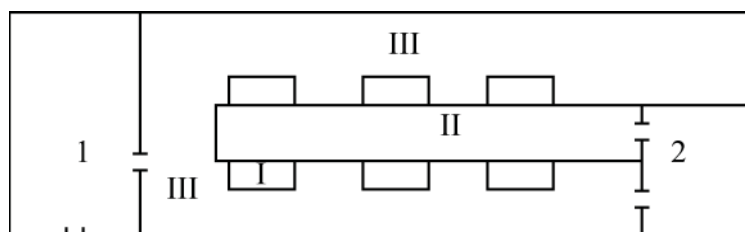


Рис. 12. Пример трехзональной планировки:
I – зона технологического оборудования (боксы, камеры и др.); II – ремонтно-транспортная зона;
III – операторская; 1- санпропускник; 2 – саншлюз

Расчетная скорость движения воздуха в рабочих проемах вытяжных шкафов и укрытий должна приниматься не менее 1,5 м/с. В герметичных камерах и боксах при закрытых проемах должно обеспечиваться расчетное разрежение не менее 200 Па. Камеры и боксы должны оборудоваться приборами контроля степени разрежения [34], [68].

2.14. Помещения для курения как источник вредных выделений

В начале XXI века наметилась известная тенденция к ограничению или запрету курения в административных и многих общественных зданиях ряда стран. Табачный дым, поступающий в помещение, состоит из основной струи, которую курящий выдыхает с каждой затяжкой, и побочной струи дыма, поступающей в воздух с тлеющего конца сигареты, сигары или курительной трубки. Наиболее высокая температура горения табака при вдыхании означает, что основная струя дыма образуется при более полном сгорании, чем побочная струя. Некоторые продукты сгорания не поступают в воздух, а разлагаются в человеческом организме. Поэтому побочная струя содержит более высокий уровень вредных веществ, чем основная [169].

Табачный дым представляет собой сложную смесь из нескольких тысяч компонентов в виде газообразных веществ, капель и микрочастиц, которые обладают в совокупности притягательным, возбуждающим, отравляющим и канцерогенным эффектом. Концентрация никотина в воздухе может быть вычислена в предположении, что он не адсорбируется стенами и другими материалами в помещении, по нижеприводимой формуле [169], $c_{\text{ник}}$, мг/м³:

$$c_{\text{ник}} = \frac{\bar{n}_{\text{кур}} n_{\text{сиг}} g_{\text{ник}} 10^3}{3,6 L_{\text{н.уд}} (F_{\text{пл}} / n_{\text{люд}})}, \quad (24)$$

где $c_{\text{ник}}$ – концентрация никотина в воздухе помещения, где курят, мг/м³; $\bar{n}_{\text{кур}}$ – количество курящих, %; $n_{\text{сиг}}$ – количество сигарет, выкуриваемых в час одним человеком; $g_{\text{ник}}$ – среднее содержание никотина в сигарете, 1 – 2,5 мг/сиг.; $L_{\text{н.уд}}$ – удельный расход наружного воздуха на 1 м² пола, л/(м²·с); $F_{\text{пл}} / n_{\text{люд}}$ – площадь пола помещения, приходящаяся на одного человека, м²/чел.

Определение расхода наружного воздуха при курении см. [56, 170].

Контрольные вопросы

1. Какие основные производственные вредности в гальванических цехах вы можете называть?
2. Каким образом определяется количество вредных выделений, выделяющихся через неплотности оборудования?
3. Какие основные производственные вредности на производстве, связанном с обслуживанием аккумуляторов?
4. Назовите основные производственные вредности, присутствующие на деревообрабатывающем производстве.
5. Назовите основные вредные выделения, присутствующие на предприятиях по обслуживанию автомобилей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог, остановимся на самом главном. Развитие промышленной вентиляции, зависит от состояния многочисленных технологий: с одной стороны, от производственных процессов и состояния научных исследований аэрохимических явлений, с другой – от оборудования для вентиляции, очистки выбросов, местных отсосов и методов их расчета. Многочисленные отсосы с позиции системного анализа исследованы крайне мало, не изучена их эффективность с учетом многих факторов и воздействий. В перспективе назрела и ждёт своего решения проблема оптимизации систем промышленной вентиляции по основным параметрам: производительности систем, давлению вентиляторов, способам очистки выбросов, расходам энергии и другим. Исходя из всего этого, можно сделать вывод, что данное учебное пособие позволит подойти к проблеме совершенствования и оптимизации промышленной вентиляции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

I. Нормативная литература

1. ГОСТ Р ЕН 13779-2007. Вентиляция в нежилых зданиях. Технические требования к системам вентиляции и кондиционирования. – М. : Стандартинформ, 2008. – 45 с.
2. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 133 с.
3. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 130 с.
4. ГОСТ 12.1.010-76*. Взрывобезопасность. Общие требования (переизд. в сент. 1999 г.). – М. : Изд-во стандартов, 1978. – 7 с.
5. ГОСТ Р 51330.19-99 (МЭК 60079-20-96). Электрооборудование взрывозащищенное. Ч. 20. Данные по горючим газам и парам, относящиеся к эксплуатации электрооборудования. – М. : Госстандарт России, 1999. – 15 с.
6. ГОСТ 12.3.008-75. Система стандартов безопасности труда. Производство покрытий металлических и неметаллических неорганических. Общие требования безопасности. – М. : Изд-во стандартов, 2000. – 13 с.

7. ГОСТ Р 21.1101-2009. Основные требования к проектной и рабочей документации. – М. : Стандартинформ, 2009. – 51 с.

8. ГОСТ Р 22.1.12-2005. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования. – М. : Стандартинформ, 2005. – 14 с.

9. ГОСТ 17.2.3.02-78. Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 10 с.

10. ГН 1.1.725-98. Перечень веществ, продуктов, производственных процессов, бытовых и природных факторов, канцерогенных для человека. – М. : Минздрав России, 1998. – 23 с.

11. ГН 2.1.6.1338-2003. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. – М. : Минздрав России, 2003. – 60 с.

12. ГН 2.1.6.1339-2003. Ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест: гигиен. нормативы. М. : Минздрав России, 2003. – 374 с.

13. ГН 2.2.5.1313-2003. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. – М. : Минздрав России, 2003. – 200 с.

14. ГН 2.2.5.1314-03. Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. – М. : Минздрав России, 2003. – 126 с.

15. СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений (с изм. № 1, 2). – М. : Госстрой России, 2002. – 30 с.

16. СНиП 21-02-99*. Стоянки автомобилей. – М.: Госстрой России, 2000. – 20 с.

17. СНиП 23-01-99*. Строительная климатология. – М.: Госстрой России, 2003. – 70 с.

18. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. – М.: Госстрой России, 2004. – 25 с.

19. СНиП 23-03-2003. Защита от шума. – М.: Госстрой России, 2004. – 74 с.

20. СНиП 31-03-2001. Производственные здания. – М.: Госстрой России, 2001. – 10 с.

21. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – М.: Госстрой России, 2004. – 54 с.

22. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М. : Госстрой России, 1996. – 22 с.
23. СанПиН 2.2.4.1294-03. Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений. – М. : Госстрой России, 2003. – 35 с.
24. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. Новая редакция. – М. : Госстрой России, 2003. – 28 с.
25. СанПиН 2.6.1.24-03. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03). – М. : Росстрой России МЧС России, 2003. – 35 с.
26. СП 1009-73. Санитарные правила при сварке, наплавке и резке металлов. – М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 1973. – 15 с.
27. СП 2.2.1.1312-03. Гигиенические требования к проектированию вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий. – М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003. – 16 с.
28. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной опасности. – М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – 33 с.
29. СП 7.13130.2009. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Противопожарные требования. – М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – 33 с.
30. НРБ-99/2009. Нормы радиационной безопасности. – М. : Атомиздат, 2009. – 72 с.
31. РДП-91. Отраслевые нормативы удельных выбросов вредных веществ при переработке пластических масс. – М. : Росстандарт, 1991. – 52 с.
32. СН 2.2.4/2.1.8.562-92. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. – М. : Минздрав России, 1997. – 20 с.
33. ОСТ 10086-39 МИ-17. Методы определения времени высыхания. – М., 1988. – 36 с.
34. ОСП-72/87. Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений. – М. : Минздрав России, 1987. – 84 с.
35. ОНТП 01-91. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта. – М. : РОСАВТОТРАНС, 1991. – 36 с.

36. Правила устройства электроустановок (35), 6-е изд. – М.: Госстрой России, 2000. – 510 с.

37. МГСН 5.01-01*. Стоянки легковых автомобилей. – М. : РОСАВТОТРАНС, 2003. – 21 с.

38. ВСН 01-89. Предприятия по обслуживанию автомобилей. – М. : РОСАВТОТРАНС, 1990. – 3 с.

39. Федеральный Закон РФ № 384. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений. – М., 2010. – 44 с.

40. Федеральный Закон РФ № 28. Об энергосбережении. – М., 1996. – 12 с.

41. Р.2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке фактов рабочей деятельности и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Центр охраны труда, промышленной безопасности, социального партнерства и профессионального образования. – СПб., 2005. – 227 с.

42. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 93 с.

II. Рекомендуемая учебная и научная литература

43. Батулин, В. В. Основы промышленной вентиляции / В. В. Батулин. – М.: Стройиздат, 1948; 2-е изд. – М.: Профиздат, 1956; 3-е изд. – М.: Профиздат, 1965. – 608 с.; 4-е изд. – М.: Профиздат, 1990. – 448 с.

44. Богословский, В. Н. Отопление и вентиляция: учеб. для вузов. В 2 ч. Ч. 2. Вентиляция / В.Н. Богословский [и др.]. – М.: Стройиздат, 1976. – 439 с.

45. Волков, О. Д. Проектирование вентиляции промышленного здания: учеб. пособие / О. Д. Волков. – Харьков: Высш. шк.; изд-во ХГУ, 1989. – 240 с. – ISBN 5-11-000656-3.

46. Примитлин, А. М. Отопление и вентиляция производственных помещений / А. М. Примитлин [и др.]. – СПб. : АВОК-С-3, 2007. – 399 с. – ISBN 5-902146-19-4.

47. Примитлин, М. И. Отопление и вентиляция цехов машиностроительных заводов / М. И. Примитлин [и др.]. – М. : Машиностроение, 1978. – 272 с.

48. Примитлин, М.И. Вентиляция и отопление цехов переработки пластмасс / М. И. Примитлин [и др.]. – Л. : Химия, 1983. – 134 с.

49. Елинский, И. И. Вентиляция и отопление гальванических цехов ма-

шиностроительных предприятий. – 2-е изд., перераб. и доп. / И. И. Елинский. – М.: Машиностроение, 1989. – 152 с.

50. Каменев, П. Н. Вентиляция: учеб. пособие / П. Н. Каменев, Е. И. Тертичник. – М.: АСВ, 2008. – 624 с. – ISBN 978-5-93093-436-6.

51. Квашнин, И. М. Промышленные выбросы в атмосферу: инженерные расчеты и инвентаризация. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2005. – 392 с. – ISBN 5-98267-011-1.

52. Полушкин, В. И. Вентиляция: учеб. пособие / В. И. Полушкин [и др.]. – М.: Академия, 2008. – 146 с. – ISBN 978-5-7695-3951-0.

53. Посохин, В. Н. Аэродинамика вентиляции / В. Н. Посохин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2008. – 209 с. – ISBN: 978-5-98267-044-1.

54. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами / ГГО им. А.И. Воейкова; под общей ред. М. Е. Берлянда. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 183 с.

55. Сотников, А. Г. Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции. Т.1. / А. Г. Сотников. – СПб.: АТ-Publiching, 2005. – 504 с. – ISBN 5-902880-02-5.

56. Сотников, А. Г. Проектирование и расчет систем вентиляции и кондиционирования воздуха: в 2 т. / А.Г. Сотников. – СПб.: 2011. – Т.1 – 450 с.; Т.2 – 450 с. – ISBN 5-7120-7558-5.

57. Титов, В. П. Курсовое и дипломное проектирование по вентиляции гражданских и промышленных зданий: учеб. пособие для вузов / В. П. Титов [и др.]. – М.: Стройиздат, 1985. – 208 с.

58. Эльтерман, В.М. Вентиляция химических производств / В. М. Эльтерман. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Химия, 1971. – 238 с.; изд. 3-е, перераб. – М.: Химия, 1980. – 288 с.

III. Дополнительная учебная и научная литература

59. Александров, А. Н. Пневмотранспорт и пылеулавливающие сооружения на деревообрабатывающих предприятиях: справочник / А. Н. Александров, А. Н. Козориз. – М.: Лесная промышленность, 1988. – 248 с. – ISBN 5-7120-0038-5.

60. Алиев, Г. М. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов: справочник / Г. М. Алиев – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.

61. Артемьев, Л. П. Расчет вентиляции в помещениях с выделениями тепла и влаги и перетеканием воздуха из одного помещения в другое / Л. П. Артемьев // Водоснабжение и санитарная техника. – 1972. – № 4. – С. 27 – 30.

62. Бакрунов, Г. А. Определение величины газовыделений при проектировании вентиляции / Г. А. Бакрунов, Е. В. Щибраев // Водоснабжение и санитарная техника. – 1975. – № 1. – С. 23 – 25.

63. Баркалов, Б. В. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях / Б. В. Баркалов, Е. Е. Карпис. – М.: Стройиздат, 1971. – 268 с; 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1982. – 312 с.

64. Батулин, В. В. Вентиляция машиностроительных заводов / В. В. Батулин, В. В. Кучерук. – М.: Машгиз, 1954. – 483 с.

65. Батулин, В. В. Аэрация промышленных зданий: 2-е изд. испр. и доп. / В. В. Батулин, В. М. Эльтерман. – М.: Госстройиздат, 1963. – 319 с.

66. Безуглов, П. Т. Справочная таблица огнеопасных веществ / П. Т. Безуглов. – М.: Госстройиздат, 1950. – 110 с.

67. Белов, С. В. Безопасность производственных процессов: справочник / С. В. Белов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1985. – 448 с.

68. Битколов, Н. З. Вентиляция предприятий атомной промышленности / Н.З. Битколов. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.

69. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / В. Н. Богословский. – М.: Высш. шк., 1982. – 415 с.

70. Боровицкий, А. А. Исследование закономерностей взаимодействия воздушных потоков в вытяжном зонте / А. А. Боровицкий, С. В. Угорова // Материалы 63-й Международной научно-технической конференции в СПбГАСУ. – СПб, 2010. – С. 55 – 58. – ISBN 978-5-9227-0224-9.

71. Боровицкий, А. А. Сравнение эффективности использования активированного вытяжного зонта с традиционно применяемым / А. А. Боровицкий, С. В. Угорова, В. И. Тарасенко // Инновационные методы в архитектуре и градостроительстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Саратов, 2009. – с. 11 – 14.

72. Бошняков, Е. Н. Аспирационно-технологические установки предприятий цветной металлургии. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Е. Н. Бошняков. – М.: Металлургия, 1987. – 160 с.

73. Бошняков, Е. Н. Метод расчета аспирационных воздухообменов / Е. Н. Бошняков // Водоснабжение и санитарная техника. – 1965. – № 11. – С. 14 – 15.

74. Бромлей, М. Ф. Проектирование отопления и вентиляции произ-

водственных зданий: учеб. пособие для вузов / М. Ф. Бромлей, В. П. Щеглов. – М.: Стройиздат, 1965. – 260 с.

75. Бутаков, С. Е. Основы вентиляции горячих цехов / С. Е. Бутаков. – Свердловск: Metallurgiz, 1962. – 288 с.

76. Бухдингер, М. М. Системы отопления и вентиляции объектов черной металлургии: справочник / М. М. Бухдингер, М. М. Елин, М. И. Эльянов. – М.: Металлургия, 1987. – 160 с.

77. Варнашева, В. А. К расчету общеобменной вентиляции малярных цехов / В. А. Варнашева // Водоснабжение и санитарная техника. – 1965. – № 3. – С. 17 – 18.

78. Выховская, М. С. Методы определения вредных веществ в воздухе / М. С. Выховская, С. Л. Гинзбург, О. Д. Хализова. – М.: Медицина, 1966. – 600 с.

79. Гервасьев, А. М. Пути повышения эффективности обеспыливающей вентиляции / А. М. Гервасьев // Водоснабжение и санитарная техника. – 1965. – № 10. – С. 6 – 7.

80. Гордон, Г. М. Пылеулавливание и очистка газов в цветной металлургии / Г. М. Гордон, В. И. Пейсахов. – М.: Металлургия, 1977. – 456 с.

81. Грачев, Ю. Г. Очистка воздуха зданий от вредных веществ: учеб. пособие / Ю. Г. Грачев. – Пермь: ПГТУ, 1996. – 280 с.

82. Гримитлин, М. И. Вентиляция и отопление цехов судостроительных заводов / М. И. Гримитлин [и др.]. – Л.: 1981. – 105 с.

83. Гримитлин, М. И. Распределение воздуха в помещении / М. И. Гримитлин. – СПб.: Авок С-3, 2004. – 320 с. – ISBN 5-902146-06-2.

84. Грин, Х. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы / Х. Грин; под ред. Н. А. Фукова; пер. с англ. – Л.: Химия, 1971. – 428 с.

85. Данюшевский, Б. Ю. Вентиляция газовых компрессорных станций на нефтегазоперерабатывающих заводах / Б. Ю. Данюшевский – М.: Гостоптехиздат, 1959. – 50 с.

86. Дерябин, В. А. Очистка запыленного воздуха и рассеивание примесей промышленных выбросов: учеб. электронное текстовое изд. / В. А. Дерябин, С. Г. Власова, Е. П. Фарафонтова. – М.: УГТУ, 2006. – 45 с.

87. Дитерихс, Д. Д. Вентиляция заводов основной химической промышленности / Д. Д. Дитерихс. – М.: Стройиздат, 1951. – 171 с.

88. Евсеенко, А. Л. Практическое пособие по расчету и использованию оборудования для систем противодымной защиты зданий / А. Л. Ев-

сеенко, В. С. Пономаренко, О. А. Стельмах. – Харьков: Укрполиграфресурсы, 2004. – 95 с.

89. Занин, Е. Н. Проектирование санитарно-технического оборудования предприятий строительной индустрии / Е. Н. Занин. – Л. : Строительство, 1973. – 192 с.

90. Зиганшин, М. В. Проектирование аппаратов пылегазоочистки: учеб. пособие / М. В. Зиганшин, А. А. Колесник, В. Н. Посохин. – М. : Экопрес – ЗМ, 1998. – 505 с. – ISBN 5-8177-0004-2.

91. Инструкция по нормированию расхода материалов для гальванических покрытий металлов для предприятий станкостроительной и инструментальной промышленности. – М.: НИИМАШ, 1977. – 119 с.

92. Инструкция по определению экономической эффективности нового оборудования для кондиционирования воздуха и вентиляции. – М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1978. – 166 с.

93. Календарев, А. А. Вентиляция гальванических цехов / А. А. Календарев. – М.: ПКК Главсантехмонтаж; ЦБТИ, 1963. – 60 с.

94. Каменев, П. Н. Отопление и вентиляция: учеб. для вузов. Ч. 2. Вентиляция: / П. Н. Каменев. – М.: Госстройиздат, 1959. – 424 с.

95. Карпас, А. А. Вентиляция и отопление сварочных, гальванических, окрасочных цехов и зарядных станций / А. А. Карпас, Ю. М. Мейлихов, Ф. Б. Резник. – М.: Машиностроение, 1977. – 70 с.

96. Карпис, Е. Е. Основные направления совершенствования вентиляции предприятий химической промышленности / Е. Е. Карпис, И. Н. Лейкин // Водоснабжение и санитарная техника. – 1975. – № 7. – С. 2 – 8.

97. Клячко, Л. С. Пневматический транспорт сыпучих материалов / Л. С. Клячко [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1983. – 216 с.

98. Коптев, Д. В. К вопросу о рециркуляции воздуха при использовании обеспыливающих устройств / Д. В. Коптев // Научные работы ВНИИ Охраны труда ВЦСПС. – 1971. – № 72. – С. 23 – 27.

99. Коптев, Д. В. Обеспыливание на электродных и электроугольных заводах / Д. В. Коптев. – М.: Металлургия, 1980. – 128 с.

100. Коузов, П. А. Очистка от пыли газов и воздуха в химической промышленности / П. А. Коузов, А. Д. Мальгин, Г. М. Скрябин. – Л. : Химия, 1982. – 256 с.

101. Кошмаров, Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учеб. пособие / Ю. А. Кошмаров. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с. – ISBN 59229-0011-0.

102. Крупчатников, В. М. Вентиляция при работе с радиоактивными веществами: учеб. пособие для вузов / В. М. Крупчатников. – 2-е изд. – М.: Атомиздат, 1973. – 368 с.

103. Кузьмина, Л. В. Эффективность внедрения вентиляционных устройств при окраске изделий / Л. В. Кузьмина, Т. А. Фиалковская // Водоснабжение и санитарная техника. – 1977. – № 9. – С. 15.

104. Кучерук, В. В. Очистка вентиляционного воздуха от пыли / В. В. Кучерук. – М., 1963. – 146 с.

105. Серебряный, Л. А. Определение количества вредных выделений от гальванических цианистых ванн / Л. А. Серебряный, А. А. Гринберг // Водоснабжение и санитарная техника. – 1968. – № 1. – С. 25 – 27.

106. Лейкин, И. Н. Вентиляция химических предприятий / И. Н. Лейкин, В. М. Эльтерман // Водоснабжение и санитарная техника. – 1970. – № 9. – С. 21 – 23.

107. Логачев, И. Н. Аэродинамические основы аспирации / И. Н. Логачев, К. И. Логачев. – СПб.: Химиздат, 2005. – 659 с. – ISBN 5-93808-051-9.

108. Луговский, С. И. Эффективная очистка паропылевых выбросов / С. И. Луговский, В. Г. Стеценко // Водоснабжение и санитарная техника. – 1973. – № 8. – С. 28.

109. Максимов, Г. А. Отопление и вентиляция: Ч.2. Вентиляция / Г. А. Максимов. – М.: Стройиздат, 1949; – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Госстройиздат, 1955. – 343 с.

110. Мацак, В. Г. Гигиеническое значение скорости испарения и давления пара токсичных веществ, применяемых в производстве / В. Г. Мацак, Л. К. Хоцянов. – М.: Медгиз, 1959. – 231 с.

111. Тимофеева, О. Н. Местные вытяжные устройства для сварки и резки металлов: методические указания по проектированию / О. Н. Тимофеева, Г. С. Векслер, Г. М. Позин // ВНИИ охраны труда ВЦСПС. – 1980. – № 3 – 51 с.

112. Меклер, В. Я. Промышленная вентиляция и кондиционирование воздуха / В. Я. Меклер, П. А. Овчинников. – М.: Стройиздат, 1978. – 312 с.

113. Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при нанесении лакокрасочных материалов (по величинам удельных выделений). – СПб.: НИИ Атмосфера, 1997. – 14 с.

114. Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ при сварочных работах (по величинам удельных выделений). – СПб.: НИИ Атмосфера, 2000. – 40 с.

115. Методические рекомендации. Расчетное определение основных параметров противодымной вентиляции зданий (со списком опечаток). – М.: ФГУ ВНИИПО, 2008. – 56 с.
116. Методические рекомендации по проведению экспертизы проектной документации объектов производственного назначения. – М.: ФГУ Главгосэкспертиза России, 2007. – 90 с.
117. Молчанов, Б. С. Проектирование промышленной вентиляции: пособие для проектировщиков / Б.С. Молчанов, В.А. Четков. – Л.; М.: Стройиздат, 1964. – 279 с.; 2-е изд., перераб. – Л. : Стройиздат, 1970. – 240 с.
118. Недин, В. В. Очистка аспирационного воздуха на предприятиях горнорудной и металлургической промышленности / В. В. Недин [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 1967. – № 3. – С. 17 – 18.
119. Нестеренко, А. В. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха: учеб. пособие. – 3-е изд., доп. / А. В. Нестеренко. – М.: Высш. шк., 1971. – 460 с.
120. Полушкин, В. Н. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Теоретические основы создания микроклимата здания: учеб. пособие / В. Н. Полушкин [и др.]. – СПб.: Профессия, 2002. – 176 с. – ISBN 5-93913-031-3.
121. Пирумов, А. И. Обеспыливание воздуха / А. И. Пирумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1981. – 296 с.
122. Писаренко, В. Л. Вентиляция рабочих мест в сварочном производстве / В. Л. Писаренко, М. Л. Рогинский. – М.: Машиностроение, 1981. – 120 с.
123. Баратов, А. Н. Пожарная безопасность строительных материалов / А. Н. Баратов [и др.]. – М.: Стройиздат, 1988. – 380 с. – ISBN 5-274-00114-9.
124. Позин, Г. М. Основные типы местных отсосов и особенности их работы / Г. М. Позин // Инженерные системы. – 2007. – № 3. – С. 26 – 35.
125. Полосин, И.И. Воздухообмен в химических цехах / И. И. Полосин // Водоснабжение и санитарная техника. – 1975. – № 3. – С. 15 – 17.
126. Поляков, Е. И. Определение газовых выделений вредных веществ через прокладки фланцевых соединений / Е. И. Поляков, А. Н. Субботин, Ф.Ф. Сороковенко // Водоснабжение и санитарная техника. – 1972. – № 10. – С. 20 – 21.
127. Пособие по проектированию электротехнической части зарядных

станций тяговых щелочных и кислотных аккумуляторных батарей. – М.: Тяжпромэлектропроект, 1993. – 39 с.

128. Промышленная и санитарная очистка газов. Атлас промышленных пылей. В 3 ч. Ч. 1. Летучая зола тепловых электростанций. Ч. 2. Пыли предприятий металлургии, машиностроения и строительной промышленности. Ч. 3. Пыли предприятий химической и пищевой промышленности / сост. Л. Я. Скрябина. – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1982. – 136 с.

129. Разумов, И. М. Псевдооживление и пневмотранспорт сыпучих материалов / И. М. Разумов. – М.: Химия, 1972. – 240 с.

130. Р НП АВОК 7.3-2007. Вентиляция горячих цехов предприятий общественного питания. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. – 18 с. – ISBN 978-5-98267-034-2.

131. Рекомендации по расчету вентиляционных выбросов от ванн хромирования и цианистых ванн гальванических цехов: Н-8010/1. – М.: Проектпромвентиляция, 1971. – 7 с.

132. Рекомендации по проектированию очистки воздуха от пыли в системах вытяжной вентиляции / ЦНИИПромзданий. – М.: Стройиздат, 1985. – 36 с.

133. Родионов, А. И. Оборудование, сооружения, основы проектирования химико-технологических процессов защиты биосферы от промышленных выбросов / А. И. Родионов. – М.: Химия, 1985. – 352 с.

134. Крупкин, А. Б. Руководство по медико-гигиеническому обеспечению безопасных условий труда и охраны окружающей среды при работе с бериллием и его соединениями / А. Б. Крупкин [и др.]. – М.: ФГУП ГСПИ, 2002. – 162 с.

135. Рысин, С. А. Вентиляционные установки машиностроительных заводов: справочник / С. А. Рысин. – М.: Машгиз, 1960. – 704 с.

136. Сатарин, В. И. Движение и обеспыливание газов в цементе производстве / В. И. Сатарин, С. Б. Перли. – М.: Гостстройиздат, 1960. – 305 с.

137. Селиверстов, А. Н. Вентиляция заводов химической промышленности / А. Н. Селиверстов. – М.: Госстройиздат, 1934. – 144 с.

138. Скипетров, В. П. Аэроионы и жизнь / В. П. Скипетров. – Саранск: Красный Октябрь, 1997. – 116 с.

139. Соловьев, Н. В. Охрана труда в химической промышленности / Н. В. Соловьев [и др.]. – М.: Химия, 1969. – 527 с.

140. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Вентиляция и кондиционирование воз-

духа (внутренние санитарно-технические устройства): В 3 ч. Ч. 2 / под ред. И. Г. Староверова. – М.: Стройиздат, 1969. – 536 с.; 3-е изд., перераб. и доп. – 1978. – 509 с.; 4-е изд., перераб. и доп, Ч. 3 / под ред. Н. Н. Павлова и Ю. И. Шиллера. – М.: Стройиздат, 1992. – 319 с.

141. Справочник по огнестойкости и пожарной опасности строительных конструкций, пожарной опасности строительных материалов и огнестойкости инженерного оборудования зданий. – М.: ВНИИПО МВД России, 1999. – 33 с.

142. Русланов, А.А. Справочник по пыле- и золоулавливанию / А. А. Русланов. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.

143. Степанов, Г. Ю. Инерционные воздухоочистители / Г.Ю. Степанов, И. М. Зицер. – М.: Машиностроение, 1986. – 184 с.

144. Страус, В. Промышленная очистка газов / В. Страус. – М.: Химия, 1981. – 616 с.

145. Астапенко, В. М. Термогазодинамика пожаров в помещениях / В. М. Астапенко [и др.]. – М.: Стройиздат, 1988. – 448 с. – ISBN 5-274-00703-1.

146. Тимофеева, О. Н. Вентиляция сборочно-сварочных цехов / О. Н. Тимофеева [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 1985. – № 2. – С. 22 – 24.

147. Тищенко, Н. Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе: справочник / Н. Ф. Тищенко. – М.: Химия, 1991. – 368 с. – ISBN 5-7245-0425-1.

148. Торговников, Б. М. Проектирование промышленной вентиляции: справочник / Б. М. Торговников, В. Е. Табачник, Е. М. Ефанов. – Киев: Будивельник, 1983. – 256 с.

149. Ужов, В. Н. Очистка промышленных газов от пыли / В. Н. Ужов. – М.: Химия, 1981.– 392 с.

150. Указания о порядке проведения пневматических испытаний на плотность (герметичность) сосудов, работающих под давлением. – М.: Минхимпром, 1966.

151. Уфимцев, Г. Н. Проектирование отопления и вентиляции машиностроительных заводов: справочник Т. 14. / Г. Н. Уфимцев. – М.: Машиностроение, 1946. – 140 с.

152. Фиалковская, Т.А. Вытяжные зонты и шкафы / Т. А. Фиалковская. – М.: Стройиздат, 1947. – 65 с.

153. Фиалковская, Т.А. Вентиляция окрасочных цехов / Т. А. Фиалковская, Г.М. Шифман. – М.: Профиздат, 1956. – 168 с.
154. Фиалковская, Т. А. Вентиляция при окраске изделий / Т. А. Фиалковская. – М.: Машиностроение, 1977. – 182 с.
155. Фильней, М. И. Расчет производительности аварийной вентиляции / М. И. Фильней, И. А. Фрухт // Водоснабжение и санитарная техника. – 1969. – № 3. – С. 20 – 21.
156. Халецкий, И. М. Отопление, вентиляция и холодоснабжение предприятий черной металлургии / И. М. Халецкий. – М.: Металлургия, 1973. – 238 с.
157. Хрюкин, Н. С. Вентиляция и отопление аккумуляторных батарей / Н. С. Хрюкин. – М.: Энергия, 1979. – 120 с.
158. Четков, В. А. Вентиляция главных корпусов агломерационных фабрик / В. А. Четков, В. Ф. Ляпина // Водоснабжение и санитарная техника. – 1965. – № 6. – С. 24 – 26.
159. Четков, В. А. Локализация газовыделений в местах их образования в плавильных цехах цветной металлургии / В. А. Четков, В. Ф. Ляпина // Водоснабжение и санитарная техника. – 1965. – № 10. – С. 12 – 13.
160. Шароглазов, В. С. Повышение эффективности аварийной вентиляции / В. С. Шароглазов // Водоснабжение и санитарная техника. – 1976. – № 6. – С. 16 – 18.
161. Штокман, Е. А. Очистка воздуха / Е. А. Штокман. – М. : АСВ, 2007. – 318 с. – ISBN 978-5-93093-513-4.
162. Щибраев, Е. В. О методике определения количества газа, вытекающего через неплотности в аппаратуре и трубопроводах / Е. В. Щибраев // Отопление и вентиляция предприятий химической и нефтеперерабатывающей промышленности. – М.: Стройиздат, 1969. – 50 с.
163. Эльтерман, В. М. О величине концентрации паров ртути, насыщающих воздух при разных температурах / В. М. Эльтерман // Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. – 1961. – № 3. – С. 15 – 17.
164. Эльтерман, Е. М. Изучение скорости выделения растворителя из лакокрасочных покрытий / Е. М. Эльтерман // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1973. – № 3. – С. 28 – 29.
165. Эльтерман, Е. М. Динамика испарения растворителей с окрашенных поверхностей / Е. М. Эльтерман // Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. – 1971. – № 70. – С. 25 – 27.
166. Эльтерман, Е. М. Влияние толщины слоя на испарение раство-

рителя лакокрасочных материалов / Е.М. Эльтерман // Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. –1976. – № 98. – С. 50 – 54.

167. Энгель, Л. К. Вентиляция на заводах цветной металлургии / Л. К. Энгель, Б. М. Рудман. – М.: Металлургия, 1974. – 200 с.

168. Industrial Ventilation. Design Guidebook. – London: Academic Press, 2001. – 1520 с.– ISBN: 0-12-289676-9.

169. Bronsema, В. Вентиляция и курение: контроль за качеством воздуха / В. Bronsema // АВОК. – 2006. – № 4. – С. 60 – 69.

170. Vergani, С. Зоны для курения. Проектирование систем вентиляции. Опыт Италии / С. Vergani // АВОК. – 2004. – № 1. – С. 42 – 46.

Учебное издание

Боровицкий Андрей Александрович

Угорова Светлана Вениаминовна

Тарасенко Владимир Иванович

СОВРЕМЕННАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

Учебное пособие

Подписано в печать 13.06.11.

Формат 16x84/16. Усл. печ. л. 3,49. Тираж 125 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета

600000, Владимир, ул. Горького, 87.