

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ПЫЛЬ И ЕЕ СВОЙСТВА. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ПЫЛИ.....	6
2. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЫЛЕУЛАВЛИВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ	18
3. АППАРАТЫ И СИСТЕМЫ СУХОЙ ОЧИСТКИ. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФИЛЬТРОВАНИЯ ГАЗОВ ЧЕРЕЗ ПЕРЕГОРОДКИ	29
4. АППАРАТЫ И СИСТЕМЫ МОКРОЙ ОЧИСТКИ	42
Библиографический список.....	44

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все более актуальной становится задача защиты окружающей среды, а в частности очистка выбрасываемого воздуха от пыли. В настоящем пособии рассмотрены свойства пыли, методы очистки вентиляционного воздуха, а также рассеивание вредных выбросов от промышленных предприятий, ТЭС, ТЭУ и т.д. Темы и примеры, освещенные в пособии, помогут изучить данные вопросы.

1. ПЫЛЬ И ЕЕ СВОЙСТВА.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ПЫЛИ

Одна из важнейших экологических проблем — загрязнение атмосферы.

Вредные примеси, поступающие в атмосферу, можно разделить на 3 группы:

- 1) твердые частицы пыли;
- 2) аэрозоли активных химических веществ кислотного или щелочного характера;
- 3) органические вещества.

Транспорт и промышленность — основные источники загрязнения. От избыточного количества озона снижается урожайность на 12 %, а источники озона — это транспорт и энергетические установки.

Диоксид серы — источник кислотных дождей, загрязняющий водоемы и разрушающий почву. Сернистый газ разрушает хвойные деревья, нарушает работу дыхательных путей человека, вызывает коррозию металлов и строительных конструкций. Источники диоксида серы — энергетика, черная и цветная металлургия, другие промышленные объекты.

Диоксид азота, получаемый при окислении азота в процессе горения при производстве энергии, влияет на качество почвы, образуя кислотные осадки.

Пыль, образуемая от производства строительных материалов, от производственных процессов, загрязняет воздух, почву, разрушает здоровье.

Диоксид углерода образуется от сжигания углеродсодержащего топлива и приводит к парниковому эффекту.

Нормирование загрязняющих примесей

Примеси в атмосфере нормируются на основе ПДК, мг/м³, [1] и при одновременном присутствии примесей вредных веществ однонаправленного действия они должны удовлетворять условию $\sum(C_i/\text{ПДК}_i) \leq 1$, где C_i — концентрация вредных веществ.

В США имеет место рыночный механизм по охране атмосферы. Нормы выбросов пересматривают каждые 10 лет в сторону уменьшения. Предприятия, которые достигли совершенства в сокращении выбросов, могут продать возникшую разницу в массах выбросов любому предприятию или агентству охраны природы, а предприятие, имеющее худшие показатели, вынуждено покупать право на дополнительный выброс, что вызывает проблему со стоимостью товаров.

Мониторинг — это системы повторных наблюдений, контроля и оценки состояния одного или более элементов природной среды по заранее подготовленной программе. Цель мониторинга — выявление и прогнозирование изменений состояния биосферы, происходящих под влиянием человеческой деятельности. Направление мониторинга: наблюдение за факторами, воздействующими на окружающую природную среду, оценка фактического состояния природной среды, прогноз состояния природной среды.

Приоритеты по мониторингу — диоксид серы, канцерогенные вещества, тяжелые металлы. Искусственные спутники Земли также могут решать вопросы экологического мониторинга.

Классификация методов очистки воздуха

Пассивные методы — устройство труб определенной высоты, рассеивание вредных веществ, которые попадают в воздух, воду, почву.

Активные методы — это концентрирование примесей с последующей переработкой или захоронением, что требует наличия очистных сооружений, совершенствования технологий и оборудования.

Исходные данные для проектирования очистных сооружений:

- а) расход загрязненного воздуха, давление и температура;
- б) состав и свойства частиц;
- в) цель очистки;
- г) уровень потребления воды, реагентов, энергии.

Аппараты для обеспыливания воздуха

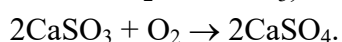
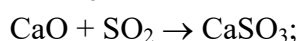
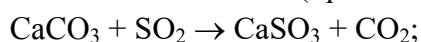
В механических обеспыливающих устройствах очистка происходит под действием сил тяжести, инерции, центробежных сил и сил трения.

К этой группе аппаратов относятся:

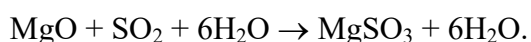
- а) осадительные камеры;
- б) инерционные пылеуловители;
- в) жалюзийные пылеуловители;
- г) циклоны — компактные и высокоэффективные аппараты для очистки воздуха от пыли размером 30–40 мкм, КПД = 98 %. Недостаток — абразивный износ;
- д) мокрые аппараты, в которых частицы улавливаются жидкостью. К этой группе аппаратов относятся скрубберы, где поток запыленного воздуха контактирует со смоченными водой поверхностями, увеличивая эффективность очистки газов. Для плохо смачиваемой пыли применяют поверхностно-активные вещества (ПАВ). Недостатки — возможность щелочной и кислотной коррозии, трудное рассеивание влажного воздуха, необходимость очищать воду от ПАВ;
- е) пористые фильтры. Фильтрующий материал — бумага, войлок, ткань в форме мешков, карманов. Могут применяться жаростойкие синтетические волокна. Эффективность до 99 %;
- ж) электрофильтры, которые улавливают частицы размером менее 5 мкм. Молекулы воздуха ионизируются и прилипают к электродам, воздух находится в электрофильтре не менее 6–8 с, затраты электроэнергии находятся в пределах $P = 0,12–0,2$ кВт · ч/м³. Электрофильтры бывают трубчатые диаметром 200–250 мм, электрод внутри трубы [2].

Очистка газов от диоксида серы (SO₂)

Известковый способ (при концентрации SO₂ более 0,2 %):



Магнетитовый метод:



Защита воздушной среды от выхлопов двигателей внутреннего сгорания (ДВС) выполняется следующими методами:

- 1) пассивным, т.е. ведется свободная застройка в городах для активного проветривания улиц;
- 2) активным — очистка выполняется с помощью нейтрализаторов и катализаторов, совершенствование ДВС, переход на другие виды топлива — H₂ и растительное масло. В транспорте идет постоянная модернизация двигателей с целью повышения их экологичности.

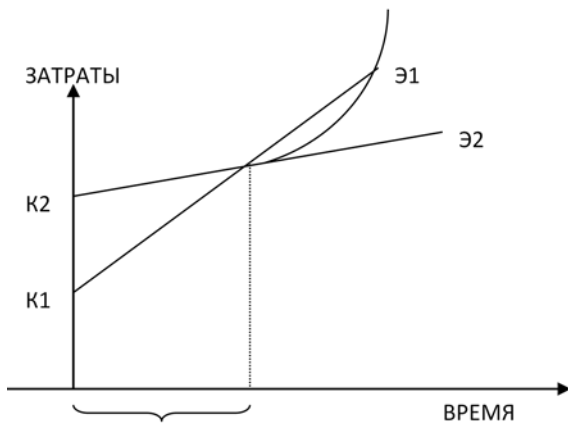


Рис. 1. График окупаемости

нормативный коэффициент; Y — ущерб, для окружающей среды, $Y = \sum U_i$; $K1, K2$ — капитальные затраты соответственно без энергосберегающих мероприятий и с применением энергосберегающих мероприятий; $\mathcal{E}1, \mathcal{E}2$ — эксплуатационные расходы для капитальных затрат соответственно $K1$ и $K2$.

Срок окупаемости энергосберегающих мероприятий — на пересечении линий $\mathcal{E}1$ и $\mathcal{E}2$ на графике рис. 1.

В ФРГ поставлена задача оснастить ТЭС оборудованием, обеспечивающим очистку отходящих газов от диоксида серы. Это позволило к 1996 г. сократить выбросы диоксида серы в 5 раз, снизить стоимость затрат на 20 млрд марок, но вызвало удорожание электроэнергии [3].

Экономически выгодны пассивные методы очистки (рис. 1), так как они более дешевые, но с экологической точки зрения важны активные методы. Для очистки нужны не только деньги, но и редкие материалы. Например, для работы установки по утилизации окислов азота необходимо 350 т нержавеющей стали и 550 кг палладия.

Формулы приведенных затрат:

$$Z = \mathcal{E} + K \cdot E_n \text{ (старая);}$$

$$Z = \mathcal{E} + K \cdot E_n + Y \text{ (новая),}$$

где Z — приведенные затраты; \mathcal{E} — эксплуатационные затраты; K — капитальные затраты; E_n —

Таблица 1

Загрязнение от производства энергии без очистки, г/кг

Топливо	$Q_{рн}^*$, кВт · ч/кг	CO ₂	SO ₂	NO _x	CO	ЛОС**	Частицы
		г/кг					
Природный газ	13,6	2,760	0,1	1,0	0,01	0,01	0,001
Пропан	12,9	3,000	0,1	2,3	0,01	0,15	0,001
Керосин	11,9	3,200	1	3,0	0,01	0,4	0,25
Бензин	11,9	3,200	5	3,0	0,02	0,4	0,25
Мазут	1,6	3,160	20	5,0	0,02	0,3	1,3
Уголь	7,9	3,040	16	4,6	0,003	0,8	1,4

* $Q_{рн}$ — затраты энергии;

**ЛОС — летучие органические соединения.

Пример энергоаудита и расчета срока службы проекта

Энергоаудит и реализация проекта стоимостью 193 тыс. долл. приведут к сокращению потребляемой энергии на 50 % и экономии мазута на 140 тыс. кг/год. При использовании таблицы можно посчитать сокращение выбросов вредных веществ, кг/год:

$$CO_2 \rightarrow 442\,400, \quad SO_2 \rightarrow 2800, \quad NO_x \rightarrow 700, \quad \text{частицы} \rightarrow 180.$$

Экономический срок службы проекта 20 лет. Банковская процентная ставка 7 %, ежегодная рента за пользование кредитом 0,0944. Капитальные затраты: $193 \text{ тыс. долл.} \cdot 0,0944 = 18\,220$ (долл./год). Экономия энергии 22 020 (долл./год), чистая экономия: $22\,020 - 18\,220 = 3800$ (долл./год). Эффективность очистки, долл./(кг · год): для NO_x — $3800 / 700 = 5,4$; для CO₂ — $3800 / 442\,400 = 0,0086$; для SO₂ — $3800 / 2800 = 1,36$.

Понятие загрязненности

Загрязнения — это вещества, энергетические выбросы, нарушающие процессы, сложившиеся в биосфере в ходе миллионов лет эволюции Земли. Загрязняющее вещество растворяется в атмосфере, в воде. Вода или воздух, не соответствующие нормам качества, — это не верное определение понятия загрязнения [4].

Классификация загрязнений

Загрязнения делятся на:

- 1) физические — механические, радиоактивные, световые, шумовые, тепловые, электромагнитные и пр.;
- 2) химические;
- 3) биологические — микроорганизмы.

Диоксины — наиболее вредные вещества, побочный продукт пестицидов и гербицидов. Из неорганических веществ наиболее опасны тяжелые металлы — Hg, Cd, Ni, Cu. Вредные вещества могут постепенно накапливаться в почве, а затем негативно проявить себя, циркулируя в экосистеме. При снижении кислотности почвы с 6 до 5,5 может произойти опасный выброс кадмия, который применялся как микроэлемент в удобрениях.

Повторное, обратное, замкнутое использование воды

Повторное использование — это вторичное использование воды в двух и более технологических целях с промежуточной очисткой или без очистки, с последующим сбросом в водоем или с захоронением [4].

Замкнутое использование — системы без сброса воды (минимальный сброс всегда есть).

Повторное использование воды имеет следующие преимущества: использование двойной очистки; использование двойной (тройной) очистки, что позволяет получить экономический эффект, однако этот способ ведет к дополнительным капитальным затратам.

Глобальная всемирная урбанизация не обошла стороной и Россию — образовались мегаполисы. Высокая скученность проживания людей имеет как положительные, так и отрицательные стороны. Люди привыкли жить в многоэтажных зданиях, в квартирах различной площадью и удобствами. Современные элитные многоквартирные дома проектируются с возможностью иметь самую разнообразную планировку квартир по желанию заказчика, но таких зданий пока мало. В большинстве ранее построенных зданий возможностей для перепланировки квартир практически нет, что связано с не приспособленной для перепланировки конструкцией домов. Проживание в многоэтажных домах связано в основном с относительно небольшими площадями квартир, что сокращает территорию ответственности человека. Скученность проживания людей и разнообразие взаимоотношений с соседями, особенности отношения к местам общего пользования (лестничная клетка, лифт), к дворовой территории, где множество машин на газонах и тротуарах, наличие гаражей оказывают мощное психологическое давление на проживающих. Чем плотнее заселен дом, чем меньше квадратных метров площади на человека, тем труднее совместить интересы всех. Существуют трудности совместной эксплуатации группой жильцов инженерных систем — отопления и вентиляции, так как очень часто происходит вмешательство в работу этих систем по тем или иным причинам. Ведь квартиры это не только стены, пол, потолок и проч., а еще и требуемый температурно-влажностный режим, необходимый для человека. Человек строит жилье лишь для того, чтобы, создав искусственный микроклимат в помещении, оградить себя от воздействия неблагоприятных факторов климата (местности проживания). На сегодняшний день непонятно, что делать с наружными стенами зданий, где эффективная теплоизоляция от времени и от контакта с бетонной поверхностью стены разрушилась, просела и превратилась в труху, сделав незащищенными от потерь

тепла большие площади стен, от чего в квартирах стало холоднее. Разрушающаяся тепловая изоляция приводит к образованию сильных ядов с соединениями хлора, диоксинов, что снижает качество воздуха в здании. При перепланировке убирают несущие перегородки и взамен возводят кирпичные стены, нагрузка от которых поступает на межэтажное перекрытие. При изменении размеров несущих стен могут произойти разрушения в здании. При изменении состава слоев пола может измениться звукоизоляция. При установке новых окон может нарушиться работа системы вентиляции. При установке сплит-системы может быть нарушена облицовка наружной поверхности здания, что приведет к увеличению влажности слоев стены в осенне-весенний и зимний периоды и постепенному разрушению стены. При изменении типа отопительных приборов возможна разрегулировка работы системы отопления, т.е. в одних квартирах будет теплее, а в других холоднее. При установке дополнительных кранов и вентилей может быть нарушена работа отдельных стояков системы отопления в здании. Увеличить поступление тепла заменой отопительного прибора на другой, большей мощности, можно лишь за счет соседей, у которых станет из-за этого холоднее. Есть случаи, когда люди меняли назначение комнат, например, большую комнату превращали в кухню и столовую, а кухню — в жилую комнату. Но вытяжная вентиляция специально предусматривается в помещении кухни и тогда ее тоже необходимо переносить. Кроме того, во время ремонта работает мощная строительная техника, а шум является одним из неблагоприятных факторов в современных городах. Допустимый шум в жилых помещениях не должен превышать величину создаваемого звукового давления 40 дБ днем и 30 дБ ночью (именно из этого исходят при проектировании зданий). При шуме 50 дБ нарушается сон, снижается концентрация внимания, при уровне 65 дБ появляются стрессовые реакции, более высокие уровни шума значительно снижают производительность труда и могут приводить к росту артериального давления. Работа строительного оборудования может создавать шум более 90–100 дБ. Шум более 90 дБ вызывает постепенное ослабление слуха и нервно-психический стресс. В многоэтажном здании воздух перемещается по всем его помещениям, включая лестничную клетку, лифтовую шахту, квартиры. Здание, как огромный организм, находится в динамике, вследствие чего в различных частях конструкций образуются микротрещины, через которые проходит воздух. Стыки внутренних панелей могут быть плохо герметизированы, и через них воздух может перетекать из квартиры на одном этаже в квартиру на другом. Многоэтажное здание можно представить как систему каналов различного размера, с различным сопротивлением воздухопроницанию. Воздух кроме свежести несет с собой и неприятные запахи, пыль, сигаретный дым. Воздушный режим зданий — сложное явление, которое трудно рассчитать и на которое трудно повлиять. Проживание в отдельном доме увеличивает ответственность человека, что позволяет достичь высокой степени автономности, при этом у проживающих вырабатывается другая психология, обязывающая грамотно решать массу хозяйственных задач.

Квартиру можно представить как ячейку, куда поступает масса различных сопутствующих жизни человека элементов и откуда выходит уже другая масса элементов с измененными свойствами. При таком подходе можно говорить о необходимости изучения экологии жилища, так как при этом можно найти закономерности и способы решения тех или иных проблем. Работают ученые, проектировщики, строители, которые разрабатывают все инженерные элементы жилища. А как все эти элементы будут работать совместно в течение длительного времени? Долговечно и надежно ли они будут работать в реальных условиях? Практика показывает, что в зданиях появляются различные проблемы при эксплуатации и требуется выделение средств на их изучение и устранение. Жилище является искусственно созданной человеком экосистемой, микроклимат в нем, созданный инженерными системами, отличается от окружающего жилища климата экосистем, так как большую часть времени окружающий климат неблагоприятен для жизнедеятельности человека. От надежности инженерных систем

зависит существование данной экосистемы: например, отключение системы отопления приведет к остыванию жилища в холодный период года, и температура внутреннего воздуха при сильных морозах сравняется с наружной температурой примерно через сутки. Некоторые насекомые, микроорганизмы, животные, птицы, растения, обитающие в жилище у человека, не живут в окружающей жилище экосистеме.

В последнее время обострилась задача защиты помещений от заражения химическими и бактериологическими вредными примесями. Наиболее вероятные вредные вещества, которые могут использоваться в качестве биологического воздействия на людей, — возбудители сибирской язвы, ботулизма, чумы, оспы, туляремии, вирусной геморрагической лихорадки. Бактерии могут иметь размеры от 0,3 до 35 микрон в диаметре, вирусы от 0,01 до 0,3 микрон.

Сибирская язва — болезнь, вызываемая спорообразующими бактериями *Bacillus anthracis*. Бактерии в форме палочек имеют диаметр 1 микрон и длину 3–5 микрон. Споры сибирской язвы имеют размер 2–6 микрон в диаметре. Заражение людей происходит через кожный контакт, через пищу и воздух. В жидкой форме бактерии сибирской язвы трудно подвергаются аэрозольному разбрызгиванию.

Ботулизм — болезнь, вызывающая паралич органов дыхания; ее возбудители — бактерии *Clostridium botulinum*. Заболевание обычно возникает при приеме загрязненной пищи и не распространяется от человека к человеку. Существующие антитоксичные средства эффективно устраняют тяжелые симптомы и приводят к полному выздоровлению через несколько месяцев. Вирус распространяется аэрозольным путем.

Чума вызывается бактериями *Yersinia pestis*, поражает лимфатическую, кровеносную системы и легкие. В качестве средства террористической атаки может распространяться разбрызгиванием аэрозоля. Перенос от человека к человеку возможен воздушно-капельным путем при тесном контакте. Имеются средства вторичной профилактики.

Оспа вызывается оспенным вирусом, передается воздушно-капельным путем. Может рассматриваться как средство биологического терроризма по причине высокой вероятности летального исхода для не имеющих прививку людей, легко переносится по воздуху.

Туляремия вызывается действием бактерии *Francisella tularensis* диаметром 0,2 и длиной 0,2–0,7 микрон. При террористической атаке высока вероятность аэрозольного разбрызгивания.

Вирусная геморрагическая лихорадка вызывается несколькими семействами вирусов, которые могут распространяться через аэрозольное разбрызгивание, однако выводить эти вирусы затруднительно.

Если бактериальные или вирусные агенты разбрызгиваются в воздухе в виде аэрозоля, то аэрозольные частицы должны иметь размеры, позволяющие им переноситься в воздухе как туман. Аэрозольные частицы диаметром 0,5–5 микрон обычно осаждаются в легких, меньшие частицы тоже попадают в легкие, но большинство из них затем удаляются с выдохом. Частицы более 5–15 микрон оседают в носоглотке и не достигают легких. Частицы более 15–20 микрон часто оседают на землю.

Другой формой биологического оружия являются *токсины*, представляющие собой любые токсичные вещества, вырабатываемые животными, растениями или микробами. Токсины в отличие от бактерий не репродуцируются. Только один класс легко вырабатываемых токсинов — *трихоцетиновый микотоксин* — активен на коже, может легко попадать в организм в виде аэрозолей, с зараженной пищей или водой, однако если вода хлорируется, то активность этого токсина исчезает [4; 6].

При попадании вредностей в атмосферу очень важны методы их выброса и зона рассеивания. Различные способы рассеивания представлены на рис. 2–6.

Особенности действия ветровых потоков представлены на рис. 7–9.

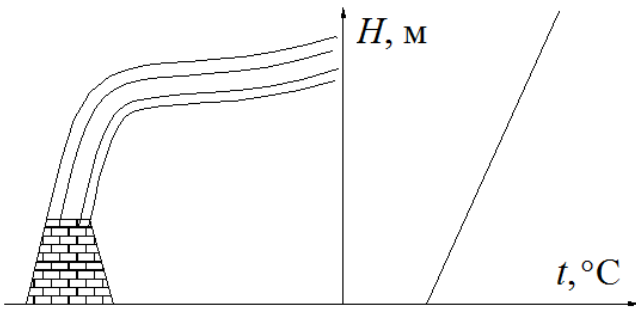


Рис. 2. Рассеивание вредных выбросов в атмосфере в устойчивых условиях

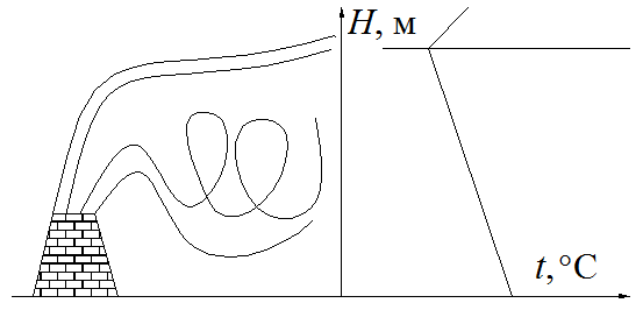


Рис. 3. Рассеивание вредных выбросов в атмосфере при надымленной струе (нейтральные условия внизу и устойчивые наверху, при этом имеет место надымляющая струя)

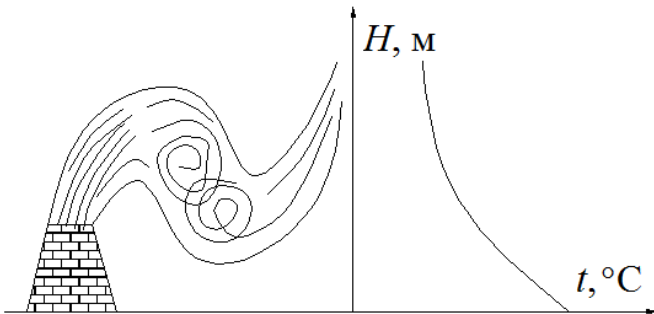


Рис. 4. Рассеивание вредных выбросов в атмосфере при неустойчивых условиях (волнообразующая струя)

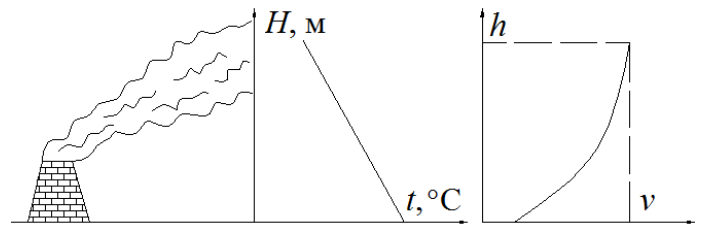


Рис. 5. Рассеивание вредных выбросов в атмосфере при нейтральных условиях (нейтральные условия внизу и вверху. Конусообразующая струя)

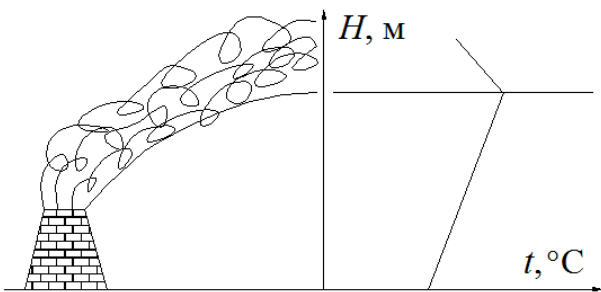


Рис. 6. Рассеивание вредных выбросов в атмосфере при устойчивых условиях (устойчивые условия внизу и нейтральные наверху. Приподнятая струя)

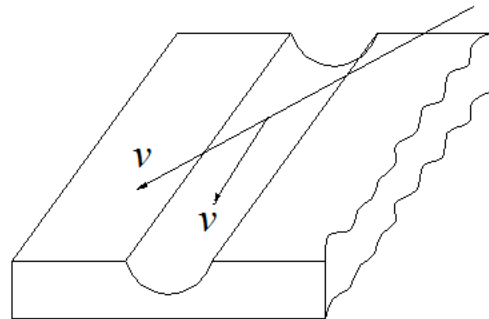


Рис. 7. Ветер по руслу или каналированный ветер

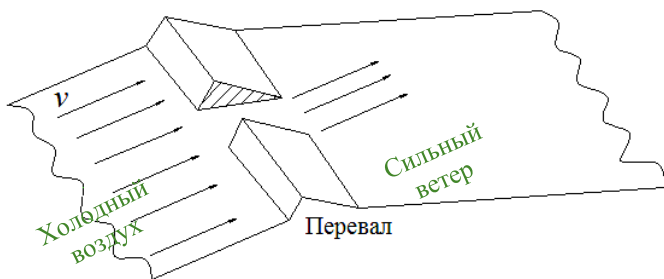


Рис. 8. Ветер по руслу или каналированный ветер (влияние горного перевала)

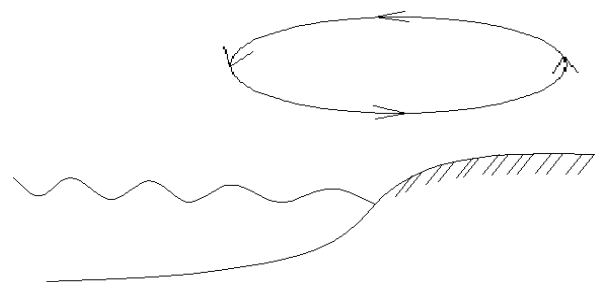


Рис. 9. Морской бриз в полуденное время

На рис. 9 показано, как действует морской бриз, перемещая песчаную пыль на берегу, при температуре воздуха над водой меньшей, чем над сушей. Город — это остров тепла зимой и летом, что способствует переносу вредных примесей внутрь города. Воздух поднимается в центре и опускается на окраине [5].

Представим силу ветра по шкале Бофорта. Ветер влияет на интенсивность рассеивания вредных примесей в атмосфере.

Шкала Бофорта включает 17 пунктов:

0 — полный штиль, 1 м/с;

1 — тихий ветер, 1 м/с;

3 — легкий ветер, 2,4 м/с;

5 — ветер, 9,3 м/с;

7 — крепкий ветер, 15,6 м/с;

8 — очень крепкий ветер, 18,9 м/с;

9 — шторм, 22,6 м/с;

10–11 — сильный шторм, 26 м/с;

12–17 — ураганы (опустошение земной поверхности), 48–50 м/с.

Газовый и воздушный режимы здания

Ветер, набегающий на здание, создает аэродинамический след, состоящий из двух вихревых зон: наветренной (+) и заветренной (–) (рис. 10). Заветренная вихревая зона может накапливать вредную примесь, которая может поступать от источников различного происхождения. Здание, оборудованное естественной системой вентиляции, находится под пониженным давлением, забирая воздух для вентиляции из наветренной и заветренной вихревых зон аэродинамического следа.

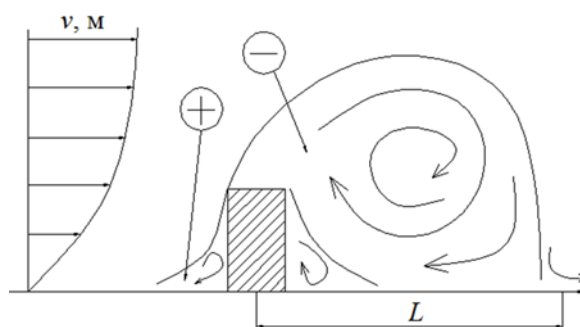


Рис. 10. Внешний воздушный режим здания

Теория рассеивания вредных примесей и теория градиентного переноса

Пространство представляется в виде системы координат, где в каждой точке проводится расчет изменения концентрации вредной примеси.

Теория рассеивания вредных примесей построена на основе теории тепло- и электропроводности:

без учета действия ветра:

$$A \sim \text{grad}(c); \quad \frac{\partial c}{\partial t} = A \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}; \quad \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial(A \frac{\partial c}{\partial x})}{\partial x}; \quad \frac{c}{Q} = (at^2)^{-1} \exp(-\frac{bx^2}{t}); \quad a = (4A\pi)^{1/2}; \quad b = (4A)^{-1};$$

с учетом действия ветра:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial(Uc)}{\partial x} + \frac{\partial(A \frac{\partial c}{\partial x})}{\partial x},$$

где U — скорость ветра, м/с; A — коэффициент турбулентной диффузии, м²/с; c — концентрация вредных примесей, г/кг.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru