

*В.М. Полонский*

*ОХРАНА  
ВОЗДУШНОГО  
БАССЕЙНА*

**В. М. Полонский**

# **ОХРАНА ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА**

Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ  
по образованию в области строительства в качестве учебника  
для студентов, обучающихся по направлению  
653500 – «Строительство»



Издательство Ассоциации строительных вузов  
Москва 2006

УДК 62.-784.12.433

**Р е ц е н з е н т ы :**

заведующий кафедрой ПСМиК Самарской государственной архитектурно-строительной академии, доктор технических наук, профессор *Комиссаренко Б.С.*;  
заведующий кафедрой БЖД и ООС Самарского государственного технического университета, доктор технических наук, профессор *Яговкин Г.Н.*;  
председатель УМК по специальности 290700 Московского государственного строительного университета, профессор, доктор технических наук *Кувшинов Ю.Я.*

**Полонский В. М.**

Охрана воздушного бассейна: Учебное издание. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 152 с.

**ISBN 5-93093-361-8**

В учебнике описаны основные источники выделения вредных веществ от промпредприятий и транспорта. Дано изложение современных методов инструментального определения количества вредных веществ и приведены формулы для их расчета. Подробно рассмотрены методы снижения выбросов вредных веществ, особенно современными вихревыми пылеулавливающими аппаратами, металлоткаными фильтрами и осаждением в инерционных аэрозолеуловителях. Рассмотрены методы управления качеством воздушного бассейна, вопросы мониторинга, экологического аудита и правовые основы охраны окружающей среды. Изложена методика определения концентраций вредных веществ в выбросах, их распространение и определение концентраций в воздухе. По тексту учебника и в приложении приведен большой справочный материал, который может быть использован при выполнении курсовых и дипломных работ. Даны практические рекомендации по выбору и работе пылеулавливающих аппаратов, металлотканых и аэрозольных фильтров.

Учебник предназначен для студентов, магистрантов и аспирантов, обучающихся по специальности 290700 – «Теплогазоснабжение и вентиляция», а также может использоваться научными сотрудниками и практиками при проектировании объектов строительной индустрии.

**ISBN 5-93093-361-8**

© Полонский В.М., 2006  
© СамГАСУ, 2006  
© Издательство АСВ, 2006

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |    |
|--|----|
| <b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....  | 5  |
| <b>ГЛАВА 1. Современное состояние воздушного бассейна</b> .....                              | 8  |
| <b>ГЛАВА 2. Источники выделения пылей и аэрозолей</b> .....                                  | 13 |
| 2.1. Производство строительных вяжущих.....  | 13 |
| 2.2. Производство асфальта.....  | 19 |
| 2.3. Производство железобетонных изделий .....   | 21 |
| 2.4. Производство изоляционных материалов .....  | 24 |
| 2.5. Камнеобрабатывающее производство.....   | 25 |
| 2.6. Котельные .....   | 26 |
| <b>ГЛАВА 3. Свойства пылей и аэрозолей</b> .....   | 27 |
| <b>ГЛАВА 4. Расчет количества твердых загрязнений</b> .....                                  | 29 |
| 4.1. Предприятия по производству строительных<br>материалов .....                            | 29 |
| 4.2. Котельные .....   | 31 |
| 4.3. Асфальтобетонные заводы .....   | 34 |
| 4.4. Камнедробильные и сортировочные установки.....  | 37 |
| <b>ГЛАВА 5. Источники образования газообразных выбросов<br/>и расчет их количества</b> ..... | 38 |
| 5.1. Образование и расчет выбросов оксидов серы .....  | 38 |
| 5.2. Образование и расчет выбросов оксида углерода.....                                      | 40 |
| 5.3. Образование и расчет выбросов оксидов азота.....  | 42 |
| 5.4. Образование и расчет выбросов оксидов ванадия .....                                     | 46 |
| 5.5. Образование и расчет выбросов бенз(а)пирена.....  | 46 |
| 5.6. Выбросы от автотранспорта .....   | 49 |
| <b>ГЛАВА 6. Источники образования аэрозолей</b> .....  | 51 |
| <b>ГЛАВА 7. Проектирование систем пылегазоочистки</b> .....                                  | 52 |
| <b>ГЛАВА 8. Мероприятия по уменьшению загрязнения<br/>атмосферы</b> .....                    | 54 |
| 8.1. Организационные мероприятия и изменение<br>технологии .....                             | 54 |
| 8.2. Очистка отходящих газов от пыли и золы в пыле-<br>и газоулавливающем оборудовании.....  | 54 |
| 8.3. Установки по очистки газов от окислов азота и серы.....                                 | 89 |
| 8.4. Улавливание аэрозолей.....  | 91 |

|   |            |
|---|------------|
| <b>ГЛАВА 9. Определение влияния вредных выбросов предприятий строительной индустрии на состояние атмосферы.....</b> | <b>97</b>  |
| 9.1. Определение параметров отходящих дымовых газов (газовоздушной смеси - ГВС).....                                | 99         |
| 9.2. Распространение вредных веществ в воздухе и определение их концентраций.....                                   | 102        |
| <b>ГЛАВА 10. Формирование санитарно-защитной зоны.....</b>  | <b>109</b> |
| <b>ГЛАВА 11. Мониторинг воздушного бассейна и возможность прогноза состояния атмосферы.....</b>                     | <b>115</b> |
| 11.1. Инструментальное определение состояния воздушного бассейна.....   | 116        |
| 11.2. Расчетный мониторинг.....   | 120        |
| <b>ГЛАВА 12. Управление состоянием воздушного бассейна.....</b>   | <b>127</b> |
| 12.1. Административные методы управления.....   | 127        |
| 12.2. Экономические методы управления.....  | 128        |
| 12.3. Рыночные методы управления состоянием воздушного бассейна.....  | 130        |
| 12.4. Определение экологического ущерба от деятельности предприятий строительной индустрии.....                     | 132        |
| 12.5. Эффективность капитальных вложений при проведении воздухоохраных мероприятий.....                             | 134        |
| 12.6. Прогнозирование качества атмосферного воздуха.....  | 136        |
| <b>ГЛАВА 13. Экологический аудит и оформление экологической документации.....</b>                                   | <b>138</b> |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1</b>   |            |
| Определение объема неорганизованных выбросов.....   | 141        |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2</b>   |            |
| Основные параметры работы наиболее часто применяемых установок очистки газа.....                                    | 142        |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ 3</b>   |            |
| Примеры расчет концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе.....  | 143        |
| <b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....</b>  | <b>149</b> |

## ВВЕДЕНИЕ

В системах теплогоснабжения и вентиляции при работе котельных установок и на предприятиях строительной индустрии, особенно на заводах железобетонных изделий, стеновых панелей, асфальтобетонных и многих других при различных технологических процессах, связанных с дроблением, транспортировкой, перемешиванием и другими процессами, образуются аэрозоли и тонкие пыли сырьевых материалов (песка, цемента, извести, асбеста и прочих), которые характеризуются высокой дисперсностью (содержание фракций размером менее 5 мкм до 30-40 %) и большой концентрацией в воздухе рабочей зоны (от 0,5 до 15 г/м<sup>3</sup>).

При производстве строительных материалов некоторая часть используемого сырья переходит в отходы (остатки сырья, материалов, полуфабрикатов), причем большая их часть продолжает рассеиваться в окружающей среде, являясь одной из основных причин возникновения экологических проблем.

Большое содержание тонкой пыли является причиной профессиональных заболеваний, причем, чем мельче пылевые частицы, тем дольше они находятся во взвешенном состоянии в воздухе и тем больше задерживаются в более глубоких отделах легких работающих. Самые распространенные заболевания, вызываемые пылью – пневмокониозы и бронхиты, возникающие при длительном вдыхании кварцевой, цементной, асбестовой и других видов пыли. Эти болезни характеризуются разрастанием соединительной ткани.

Системы теплоснабжения и отопления, а также производство строительных материалов требует большого количества тепла и пара, которые получают сжиганием органического топлива, в результате чего образуются значительные выбросы вредных газообразных веществ. Их воздействие на организм человека представлено в табл. 1.

Причины повышенного загрязнения атмосферы выбросами пыли и газов кроются в недостатках как самой технологии производства, так и способов и техники пылегазоочистки. Так, нарушения режимов работы котельных и обжиговых аппаратов приводят к повышенному пылеуносу и залповым выбросам. Значительно увеличиваются выбросы пыли и газов при эксплуатации устаревшего технологического оборудования, преобладание которого особенно характерно для коммунальных котельных и промышленности строительных материалов.

Затраты на очистное оборудование на крупных заводах достигают 25% от общих капиталовложений, с прогнозированием повышения энергопотребления. При этом общеизвестно, что установка на заводах дешевых, но худших по качеству очистных сооружений, как правило, не оправдывает себя. Кроме того, требования к чистоте воздуха ужесточаются настолько быстро, что уже по истечении небольшого отрезка времени приходится модернизировать существующее очистное оборудование или устанавливать дополнительное.

Таблица 1.

## Характер воздействия вредных веществ на организм человека

| Содержание      |             | Длительность и характер воздействия                              |
|-----------------|-------------|--|
| %, объемные     | мг/л        |  |
| Оксись углерода |             |  |
| 0,05            | 0,625       | В течение 1 ч нет заметного эффекта                              |
| 0,1             | 1,25        | Через 1 ч наступают головная боль, тошнота, недомогание          |
| 0,5             | 6,25        | Через 20-30 мин – смертельное действие                           |
| 1,0             | 12,50       | Через 1-2 мин – очень сильное или смертельное действие           |
| Сероводород     |             |  |
| 0,01-0,015      | 0,15-0,23   | Через несколько часов происходит легкое отравление               |
| 0,02            | 0,31        | Через 5-8 мин наблюдается сильное раздражение глаз, носа и горла |
| 0,1-0,3         | 1,54-4,62   | Происходит быстрое смертельное отравление                        |
| Сернистый газ   |             |  |
| 0,001-0,002     | 0,029-0,058 | При длительном воздействии отмечается раздражение горла и кашель |
| 0,05            | 1,46        | Кратковременное воздействие опасно для жизни                     |
| Оксиды азота    |             |  |
| 0,006           | 0,29        | При кратковременном воздействии раздражение горла                |
| 0,010           | 0,48        | Продолжительное воздействие опасно для жизни                     |
| 0,025           | 1,20        | При кратковременном воздействии наступает смертельное отравление |

Для обеспыливания технологических выбросов наибольшее распространение получили сухие циклоны, рукавные фильтры и мокрые пылеуловители. Однако технические и эксплуатационные показатели их работы остаются весьма низкими, а эффективность пылеулавливания не отвечает требованиям, предъявляемым к современным системам газоочистки. Это объясняется, прежде всего, несоответствием технических возможностей применяемых аппаратов физико-химическим свойствам улавливаемой пыли.

Одним из эффективных методов очистки воздуха является улавливание пыли и аэрозолей фильтрацией, в вихревых пылеуловителях и в результате осаждения.

Теоретическое обоснование и техническое воплощение в практику различных вариантов очистки газов даны в работах ряда ученых: Э. Я. Тарата, И. П. Мухденова, В. К. Журавлева, В. И. Полушкина, П. А. Ребиндера, В. Н. Ужова, А. Ю. Вальдберга, С. А. Богатых, И. П. Ищука, Д. Н. Мухитдинова, П. А. Познякова, П. А. Коузова, Б. С. Сажина, С. С. Янковского и др.

В последние годы успешно ведутся работы по осуществлению процессов пылеулавливания в режимах развитой свободной турбулентности при больших скоростях газопылевого потока. Установлено возрастание эффективности использования средств пылеулавливания при переходе систем обеспыливания на новые фильтровальные материалы и совершенствовании пылеулавливающего оборудования с учетом гидродинамических условий движения пылевых частиц.

Значительным фактором, влияющим на эффективность пылеулавливания, являются тепломассообменные процессы, протекающие при контакте нагретой пылевой частицы с вихревым потоком.

Для повышения эффективности мероприятий по охране атмосферного воздуха требуется комплексный (системный) подход к проблеме, не ограничивающийся выбором оптимальных конструкций аппарата непосредственно для очистки газов, а учитывающий целый ряд других факторов, таких, как локализацию выбросов, подготовку газов к очистке, отвод уловленной пыли, последующую ее утилизацию и утилизацию теплоты отходящих газов.

Одними из наиболее перспективных аппаратов являются фильтры с фильтровальным материалом из металлической ткани и вихревые пылеуловители (ВПУ), которые относятся к аппаратам центробежного действия и позволяют извлечь из промышленных газов и вентиляционного воздуха до 98-99% и более взвешенного продукта с высоким содержанием тонкой фракции (менее 3-5 мкм), трудно улавливаемых даже самыми высокоэффективными циклонами. Высокая эффективность сепарации тонкой пыли позволяет ВПУ в отдельных случаях конкурировать с тканевыми фильтрами.

## Глава 1

### СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА

Производство тепла и пара, а также системы вентиляции при производстве строительных материалов и изделий сопровождается большим пыле- и газовыделением. Сыпучие материалы в виде сырья, полуфабрикатов и готовых изделий являются источниками загрязнения воздушной среды, причем выделяемая пыль загрязняет не только промплощадку, но и прилегающие территории и переносится на значительные расстояния.

Взвешенная в воздухе пыль приводит к профессиональным заболеваниям работающих, преждевременному износу оборудования, потерям ценного сырья и готовой продукции.

Основным направлением борьбы с пыле- и газовыделениями является переход на безотходные, максимально замкнутые производственные циклы. Однако разработка и особенно внедрение этих технологий требуют больших затрат и инвестиций. Поэтому еще длительное время технологические мероприятия по снижению пыле- и газовыделений будут дополняться устройствами пылегазоочистки.

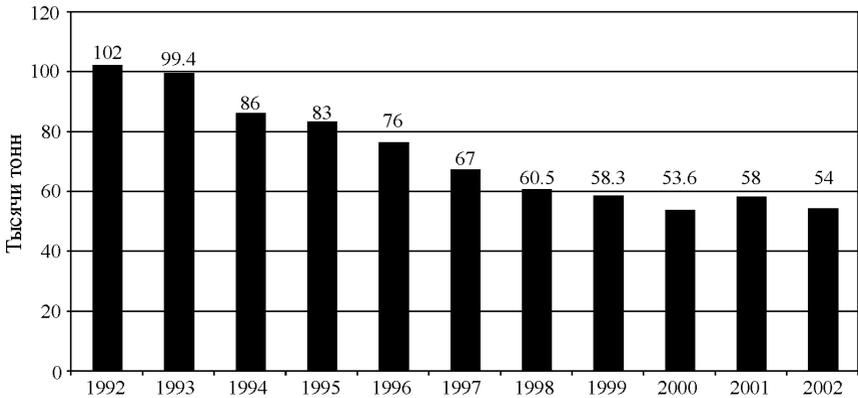
Суммарные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу на всей территории России в год от стационарных источников составляют в среднем 20,8 млн. т, а от передвижных – 13,2 млн. т. Основными загрязнителями атмосферы являются оксид азота и диоксид серы. Вклад окислов азота в общее загрязнение незначительный, однако, они существенно влияют на качество атмосферы из-за участия в фотохимических реакциях. В среднем по территории России выбросы серы и азота с единицы площади составляют соответственно 0,38 и 0,12 т/км<sup>2</sup> год.

Работа жилищно-коммунального хозяйства и промышленность строительных материалов вносит в загрязнение атмосферы сравнительно небольшой вклад, около 5-7 %, но расположение источников выбросов вблизи селитебной зоны увеличивает их влияние на качество атмосферного воздуха и жизнедеятельность людей.

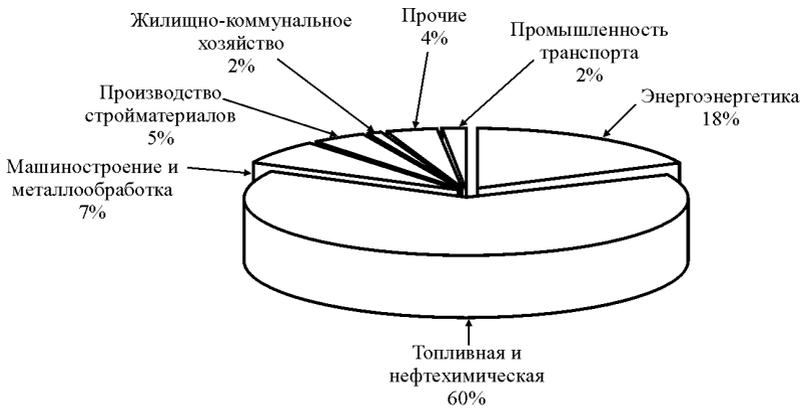
Общая динамика валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу за последние 10 лет и средние вклады отраслей промышленности в загрязнение атмосферы представлены на рис. 1.1 и 1.2.

Наиболее характерно изменение состояния атмосферы одного из промышленно развитых регионов в центре России, усредненные данные по которому можно сравнить с 1,5-миллионным городом (рис. 1.3).

Главной причиной высокого уровня загрязнения воздуха является концентрация промышленных предприятий и автотранспорта при недостаточной эффективности комплекса мер очистки отходящих газов и устаревшие технологии.



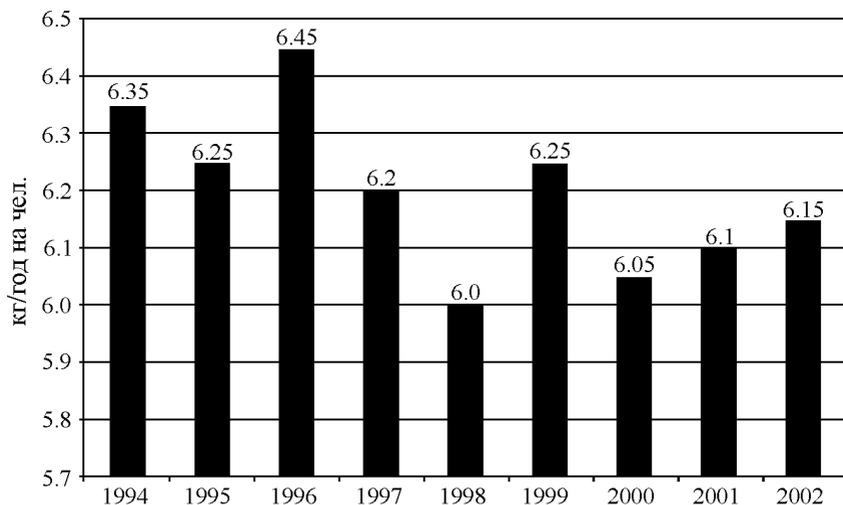
**Рис. 1.1. Динамика валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу за 10 лет (с 1992 по 2002 г.)**



**Рис. 1.2. Средние вклады отраслей промышленности в загрязнение воздушного бассейна**

По объему пылегазовых выбросов жилищно-коммунальное хозяйство и промышленность стройматериалов устойчиво занимает одно из ведущих мест, уступая лишь энергетике, металлургии, нефтепереработке и газовой промышленности. Предприятия этой отрасли расположены во всех регионах РФ, а пылевые и газовые выбросы таких предприятий составляют 54% суммарных выбросов по отрасли. Производство строительных материалов, отличающееся высокой концентрацией, разнообразием и энергоемкостью технологического оборудования, предназначенного для дробления, измельчения, классификации, транспортировки и обжига твердых, гранулированных и порошкообразных материалов, является достаточно серьезным источником пылевых выбросов в производственные помещения и окружающую воздушную среду. На территориях, примыкающих к заводам по производству минераль-

ного сырья, годовой осадок пыли достигает  $7 \text{ кг/м}^2$ , а размеры частиц колеблются от 0,01 до 1,0 мкм, что наиболее опасно для органов дыхания.



**Рис. 1.3.** Средняя динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферу проходящихся на душу населения в промышленно развитом городе

В этих условиях существенный интерес представляет не только всесторонний анализ и оптимизация уже действующих пылеулавливающих комплексов, но и развитие наиболее перспективных технологий процесса пылеулавливания, среди которых особое значение приобретает фильтрация и очистка в инерционных аппаратах.

Основные типы заводов строительной индустрии представлены на рис. 1.4; 1.5; 1.6; 1.7; и 1.8.



**Рис. 1.4.** Завод крупнопанельного домостроения

## Глава 2

### ИСТОЧНИКИ ВЫДЕЛЕНИЯ ПЫЛЕЙ И АЭРОЗОЛЕЙ

Серьезным источником твердых загрязняющих веществ являются котельные, работающие на твердом топливе и производство строительных материалов, а самыми крупными из них – цементные заводы, известковые печи, установки по производству магнезита, меньшие по масштабу – это печи обжига кирпича, карьеры, изготовление изоляционных материалов и керамических изделий, а также установки по получению асфальта.

#### 2.1. Производство строительных вяжущих

При производстве цемента, алебастра и асбестоцемента выделяются в основном твердые загрязняющие вещества. Серьезной проблемой для районов, окружающих цементные заводы, является большое количество выбрасываемой ими пыли. Высокая запыленность характерна как для самого технологического процесса, так и для работ с сыпучими материалами. Для производства 1 т цемента необходимо раздробить, размолоть, обжечь и перевезти почти 3 т исходного кускового или грубо измелченного материала, который в процессе производства полностью превращается в мелкую пыль.

Сырье для производства цемента - это известняк, силикаты, алюминаты кальция, сланец, мергель, доменный шлак, клинкер, зола, гипс, угольная пыль, кокс и руда.

При обжиге (как правило, во вращающихся печах) размолотых кальциевых мергелей и известняка, грунта, карбоната кальция и других добавок (угольной пыли, кокса и т. д.) получают цементный клинкер, причем либо сухим методом, либо мокрым после флотации в воде. На старых предприятиях клинкер обжигают в шахтных печах, а затем охлаждают, размалывают и смешивают с различным количеством добавок (доменный шлак, алебастр и прочее) для получения цемента различных марок.

Твердые загрязнения от цементных заводов и известковых печей по химическому составу большей частью представляют собой смесь карбоната кальция ( $CaCO_3$ ), оксида кальция (известки –  $CaO$ ) и ряда других соединений.

Химический состав выбросов примерно соответствует составу сырьевых материалов или из их смеси. В табл. 2.1 приведены среднестатистические химические составы этих материалов.

Источники пыли на цементных предприятиях можно разделить на две группы. Первая, более значимая, включает в себя технологические процессы, куда входят вращающиеся и шахтные печи, охладители клинкера, сырьевые и цементные мельницы, сушилки шлака. Вторая группа состоит из узлов хранения и транспорта, источники которых оказывают вредное воздействие в основном на атмосферу предприятия и его ближайших окрестностей. Это хранилища сухих материалов – клинкера и шлака, а также связанные с ними обработка, транспортировка и их складирование. Следует

отметить, что особо серьезные проблемы вызывают транспортировка, погрузочные бункеры, элеваторы и ленточные конвейеры, хотя выбросы от них и малы из-за близости этих источников к земле.

Таблица 2.1

**Среднестатистические химические составы цемента, клинкера и некоторых сырьевых материалов, применяемых в производстве цемента**

| Материал          | Потери при прокаливании, % | Содержание, % |       |                  |                                |                                |                 |
|-------------------|----------------------------|---------------|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|
|                   |                            | CaO           | MgO   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SO <sub>3</sub> |
| Цемент            | 0,95                       | 63,15         | 2,74  | 20,81            | 5,64                           | 2,46                           | 2,71            |
| Цемент 350        | 0,63                       | 55,53         | 5,38  | 26,45            | 6,81                           | 2,02                           | 1,77            |
| Клинкер           | 0,09                       | 66,15         | 2,01  | 21,61            | 4,80                           | 2,87                           | 1,24            |
| Сырье             | 33,45                      | 43,40         | 1,26  | 13,98            | 3,05                           | 1,85                           | 0,19            |
| Известняк         | 40,88                      | 51,80         | 0,76  | 4,82             | 0,53                           | 0,34                           | -               |
| Доменный шлак     | 0,10                       | 38,15         | 10,83 | 40,43            | 8,46                           | 1,41                           | -               |
| Прокаленный пирит | -                          | 0,3           | 0,2   | 6,6              | 3,3                            | 87,0                           | 0,8             |
| Железная руда     | 3,0                        | 0,2           | 0,2   | 7,8              | 4,5                            | 84,0                           | -               |
| Рыхлый песчаник   | 13,85                      | 15,86         | 0,76  | 62,29            | 3,05                           | 1,45                           | 0,09            |

На цементных предприятиях имеются следующие источники загрязнения воздуха (по стадиям производства):

1. При подготовке сырья:
  - дробилки;
  - барабанные сушилки;
  - мельницы;
  - система транспортировки;
  - хранилища;
  - стадия грануляции.
2. При обжиге клинкера:
  - сушка угля;
  - его размол;
  - вращающиеся и шахтные печи;
  - охладители клинкера;
  - система его транспортировки;
  - хранилища клинкера.
3. При производстве цемента:
  - подготовка гипса;
  - цементные мельницы;
  - система транспортировки цемента.
4. При отгрузке:
  - хранилища цемента;
  - фасовочные машины;
  - склады;
  - система транспортировки мешков;

Учебное издание

**Вилен Маримович Полонский**

# **ОХРАНА ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА**

Компьютерная верстка: *А.А. Шмаев, Е.В. Орлов*  
Дизайн обложки: *Н.С. Кузнецова*  
Редактор: *Л. И. Глезерова*  
Технический редактор: *А. И. Непогодина*  
Корректор: *Е. М. Фоменкова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Сдано в набор 20.10.04.  
Подписано к печати 20.10.05. Формат 60х90/16.  
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Бумага офсетная.  
Усл. 9,5 п. л. Заказ № . Тираж 1000 экз.

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)  
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, оф. 706 (отдел реализации к. 511)  
тел., факс: (495)183-56-83; e-mail: [iasv@mgsu.ru](mailto:iasv@mgsu.ru), <http://www.iasv.ru/>