

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕ
ОБРАЗОВАНИЯ БССР**

**Новополоцкий политехнический институт
имени Ленинского комсомола Белоруссии**

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ СБОРНИК

ВЫПУСК 1

Минск, "Вышэйшая школа", 1982

Главный редактор

А.М. Л е в и н, доктор технических наук, профессор

Редакционный совет:

В.А. Агеев, В.А. Астахов, А.А. Гринченко, В.Б. Диденко, Г.К. Дымчук, В.А. Жучкевич, В.К. Киряков, А.Ф. Корж, М.И. Курпан, В.К. Липский, С.И. Луговский, Б.П. Савицкий, Б.М. Смольский, П.П. Строкач, Д.Н. Худокормов

Настоящим изданием начинается выпуск сборника "Охрана окружающей среды". В каждом выпуске будут представлены разделы: "Охрана воздушной среды", "Охрана водной среды", "Новые технологические процессы, уменьшающие загрязнения окружающей среды", "Проблемы экологии и охраны здоровья". В них будут освещаться различные проблемы охраны чистоты воздушной среды, водоемов, разработки новых технологических процессов, обеспечивающих меньшее загрязнение среды обитания, а также вопросы экологии, санитарии и охраны здоровья.

Данный сборник подготовлен коллективом авторов, состоящим в основном из работников вузов, проектных организаций и органов санитарного надзора.

Рассчитан на преподавателей и студентов вузов, а также широкий круг специалистов, работающих в области охраны окружающей среды.

О 1603000000-138 29-82
М304 (05) -82

1. ОХРАНА ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

УДК 628.5

В.М.ВАТЕНМАХИН, инженер
(ВНИПИэнергопром)

ВОПРОСЫ ПЛАНИРОВАНИЯ АТМОСФЕРООХРАННОЙ СТРАТЕГИИ В ПРОМЫШЛЕННОМ УЗЛЕ

Прогрессирующая урбанизация, концентрация промышленного производства на сравнительно небольших территориях увеличивают масштабы техногенного воздействия на окружающую атмосферу. В этих условиях резко возрастает значение правильно выбранной стратегии атмосфероохранных мероприятий, эффективной как в экологическом, так и экономическом отношении.

Современный промышленный узел характеризуется большим количеством разнообразных источников выбросов, к которым относятся энергетические и промышленные предприятия, а также транспортные средства. Эти источники создают устойчивый токсичный фон в воздушном бассейне промышленного узла. Установлено, что доля участия отдельных источников и отраслей в формировании токсичного фона не находится в прямой связи с массой выбросов вредных веществ этими источниками [1]. Поэтому всегда необходима количественная оценка участия последних в фонообразовании, на основе которой становится возможным целесообразное и экологически эффективное распределение атмосфероохранных затрат. Так, рассчитанные с учетом фонообразующих факторов природоохранные затраты в автотранспорте экологически эффективнее, чем в теплоэнергетике, несмотря на гораздо более высокую стоимость пресечения изотоксичной массы в автотранспорте [1].

Как свидетельствуют данные воздушного мониторинга, по некоторым районам при неблагоприятных сочетаниях производственной деятельности и метеословий концентрация токсичных примесей в атмосфере существенно превышает предельно допустимые нормативы — ПДК. Это наносит непоправимый ущерб здоровью населения, а также фауне, флоре и материальным ценностям. Имеют место как первичные (прямые), так и вторичные ущербы, обусловленные снижением качества продукции, которая производится в условиях загрязненной атмосферы.

Безотлагательность очищения атмосферы загрязняемых регионов требует принятия, казалось бы, единственно кардинального решения о бескомпромиссном пресечении токсичных выбросов всех родов хозяйственной деятельности. Следует однако констатировать, что, несмотря на очевидность, подобный план вследствие необходимых затрат неосуществим ни в ближайшем, ни в отдаленном будущем. Расчеты показывают, что очистка дымовых газов на действующих ТЭС Советского Союза лишь от одного токсичного компо-

нента (серы) потребовала бы сооружения газоочистительных установок, стоимость которых примерно равна затратам на сооружение этих ТЭС [2]. Необходимо также учитывать, что смещение приоритетов в пользу скорейшего достижения гигиенических нормативов чистоты среды по сравнению, например, со скорейшим достижением нормативов обеспеченности жильем отнюдь не обязательно означало бы наибольший выигрыш с точки зрения охраны здоровья населения [3].

Очевидно, что оздоровление воздушного бассейна от техногенных выбросов выступает прежде всего как задача выбора наиболее эффективного направления использования ограниченных ресурсов, выделяемых на достижение этой "низкорентабельной" цели, и является, с точки зрения методологии исследования операций, типичной слабоструктурированной проблемой, исследуемой и решаемой с помощью аппарата системного анализа.

Используя методы исследования операций, структурируем рассматриваемую проблему посредством ранжировки удельных приведенных затрат на пресечение токсикантов, общих для выбросов энергетики, промышленности и автотранспорта, и разработаем схему оптимизации планирования атмосферно-охраненных затрат.

Для получения количественных оценок воспользуемся результатами работы [4], в которой обоснованы методики расчета приведенных затрат на каждый килограмм недопущенного в атмосферу токсичного вещества (по трем главным токсичным компонентам — NO_2 , SO_2 и CO). Как показано в [4],

$$Z_{\text{SO}_2} = \frac{g_{\text{SO}_2} \cdot E}{k \tau \eta_{\text{SO}_2}} + \frac{C_{\text{SO}_2} \tau}{\eta_{\text{SO}_2}}; \quad (1)$$

$$Z_{\text{NO}_2} = \frac{g_{\text{NO}_2} \cdot E}{k \tau \eta_{\text{NO}_2}} + \frac{a_{\text{NO}_2} \tau}{b_{\text{NO}_2} \eta_{\text{NO}_2}}; \quad (2)$$

$$Z_{\text{CO}} = \left(\frac{Q_{\text{CO}} \Pi}{R} + B_{\text{CO}} \right) (1000 B_{\text{CO}})^{-1}, \quad (3)$$

где Z_{SO_2} , Z_{NO_2} , Z_{CO} — приведенные затраты на 1 кг пресеченного SO_2 , NO_2 и CO (руб/кг). Приведенные затраты на удаление 1 кг серы на нефтеперерабатывающем заводе не зависят от режима и составляют $Z_{\text{НПЗ}} = 0,3$ руб/кг; E — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, равный 0,12; g_{SO_2} , g_{NO_2} — капитальные затраты, отнесенные на 1 кг/ч производительности газоочистки от SO_2 или NO_2 (руб·ч/кг); η_{SO_2} , η_{NO_2} — КПД подавления SO_2 , NO_2 (доли ед.); τ — число часов

использования установки (η); k — коэффициент использования нагрузки (доли ед.); b — удельный расход топлива, (кг/кВт); i_{NO_2} — генерация NO_2 на 1 кг топлива, (кг/кг); Q_{CO} — стоимость нейтрализаторов выхлопных газов ($Q_{CO} = 400$ руб/шт.); j_{CO} — выбросы окиси углерода автотранспортом ($j_{CO} = 0,4$ кг/кг) на 1 кг бензина; R — ресурс нейтрализатора ($60 \cdot 10^3$ км); P — годовой автопробег ($20 \cdot 10^3$ км/автомобиль); C — цена топлива (50 руб/т); B — годовой расход топлива (2000 т/год); a_{CO} — коэффициент роста расхода горючего вследствие установки нейтрализатора (0,03).

Результаты расчетов по формулам (1) — (3) показывают, что приведенные затраты на пресечение 1 кг токсичной массы составляют (руб/кг): для SO_2 — 0,3 (на ТЭЦ при 1440 ч); 0,1 (на ТЭЦ при 7000 ч); 0,3 (на НПЗ); для NO_2 — 0,04 (на ТЭЦ); для CO — 0,174 (в автотранспорте).

Анализ этих данных приводит к следующим выводам, существенным для оптимизации последовательности атмосфероохранных мероприятий:

- минимальные приведенные затраты на 1 кг токсичной массы имеет пресечение NO_2 ;

- очистка дымовых газов от окислов серы на мазутных ТЭЦ конкурентоспособна с сероочисткой на НПЗ только при высокой степени использования установленной мощности; для сжигающих мазут пиковых районных котельных, а также промышленных и коммунальных котельных малой мощности удаления серы должно производиться только на НПЗ;

- очистка дымовых газов от окислов серы при сжигании любых топлив целесообразна только при высоком их серосодержании.

Следует учитывать, что вредные выбросы каждого источника загрязнения, как правило, многокомпонентны, а затраты на пресечение варьируют в зависимости от рода удаляемого вещества и от возможной степени его пресечения — кпд очистки. Так, при удалении серы на НПЗ затраты растут по мере углубления очистки, а сама степень очистки в экономически приемлемых масштабах имеет кпд $\eta_S = 0,7-0,8$. Удаление окислов серы из продуктов сгорания может быть более глубоким и имеет кпд $\eta_{S^{TЭЦ}} = 0,9$.

Подавление окислов азота путем перестройки процесса горения при сравнительно небольших затратах обеспечивает $\eta_N = 0,5$. Дальнейшее снижение выбросов окислов азота может быть осуществлено только поглощением или каталитическим восстановлением NO_x , однако соответствующие технологии находятся еще в стадии разработки, и стоимость подавления по экспертным оценкам будет на уровне 1 руб. на 1 кг пресеченной массы NO_x [5].

Выразим обезличенную степень пресечения токсичных выбросов, на которые распространяется правило суммации, например SO_2 и NO_2 , через кпд соответствующих технологий:

$$\varphi = \frac{G_S \eta_S + \frac{G_N \eta_N}{\xi_N}}{G_S + \frac{G_N}{\xi_N}}, \quad (4)$$

где G_S, G_N — валовые выбросы SO_2 и NO_2 ; η_S, η_N — кпд очистки SO_2 и NO_2 ; $\xi_N = \frac{\text{ПДК}(NO_2)}{\text{ПДК}(SO_2)} = 0,17$ — масса NO_2 , эквивалентная по токсичному воздействию 1 кг SO_2 .

Очевидно, достижение заданной степени пресечения φ с равным гигиеническим эффектом может быть достигнуто воздействием как на NO_2 , так и на SO_2 . Последовательность воздействия видна из графиков затраты — пресечение, на которых по оси абсцисс откладывается обезличенная степень пресечения φ , а по оси ординат — приведенные затраты на пресечение выбросов 1 кг NO_x или SO_2 . На рис. 1 представлены графики для высокосернистого ($S^P = 3\%$) мазута и кузнечного угля ($S^P = 0,5\%$).

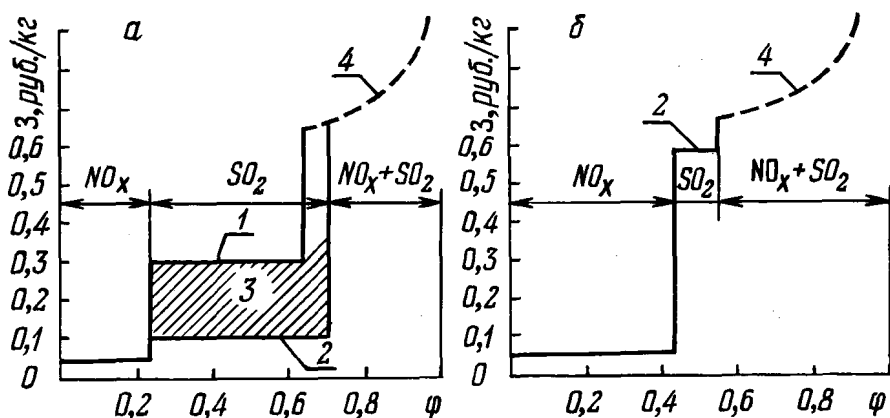


Рис. 1. Затраты на удаление 1 кг выбросов в зависимости от степени пресечения: а — высокосернистый мазут; б — кузнечный уголь; 1 — сероулавливание на НПЗ; 2 — газоочистка на ТЭС при 7000 г использования полной мощности; 3 — то же при сокращении времени использования; 4 — экспертная оценка химической доочистки газов от NO_x .

Из графиков видно, что наиболее доступен первый шаг — подавление генерации NO_2 в топке, дающее степень пресечения 0,25 для мазута и 0,45 для малосернистого угля. Второй шаг — пресечение выбросов SO_2 — дает применительно к мазуту широкий интервал затрат, обусловленный видом использованной технологии (удаление серы на НПЗ или газоочистка на ТЭС), и позволяет достичь для мазута суммарной степени пресечения 0,65–0,70, являющейся верхним пределом. Дальнейшее пресечение токсичных выбросов пока маловероятно, а в будущем вряд ли превысит $\varphi = 0,9–0,95$. Для кузнечного угля положение еще сложнее. Небольшая доля SO_2 делает газоочистку на ТЭС, сжигающих низкосернистый уголь, непомерно дорогой и малорезультативной. Вместе с тем появляется очень дорогая технология химического обезвреживания окислов азота, остаточная доля которых составляет почти половину исходной токсичности. Приведенные графики дают представление о масштабах затрат, возрастающих в следующей последовательности: подавление генерации окислов азота в процессе горения, поглощение соединений се-

ры на тепловой электростанции, удаление серы на тепловой электростанции из топлива, удаление из дымовых газов остаточных количеств окислов азота химическими средствами.

Построим обобщенную схему оптимизации атмосфероохранных мероприятий в промузле с промышленными, отопительными и теплоэнергетическими источниками, каждый из которых выбрасывает в атмосферу m токсичных веществ, обладающих суммацией действия.

Обозначим $C_1, C_2, \dots, C_m$ — концентрации вредных веществ в фиксированной точке городской территории, обусловленные выбросами i -го предприятия, мг/м^3 . Тогда безразмерная суммарная концентрация группы токсикантов, выбрасываемых i -м предприятием,

$$q_i = \sum_{j=1}^m \frac{C_j^i}{\text{ПДК}_j}, \quad (5)$$

где ПДК_j — предельно допустимая концентрация j -го токсиканта, мг/м^3 .

Фоновая концентрация j -го ингредиента C_j может быть рассчитана по формуле [1]

$$C_j = \sum_{i=1}^n a^i G_j^i, \quad (6)$$

где G_j^i — величина выброса j -го ингредиента i -м источником; a^i — функция направления и скорости ветра, высоты выброса и удаленности i -го источника загрязнений от рассматриваемого пункта.

Безразмерная суммарная концентрация группы токсикантов, выбрасываемых n источником Q , являющаяся по существу обобщенным показателем загазованности, равна

$$Q = \sum_{i=1}^n q^i = \sum_{i=1}^n a^i \sum_{j=1}^m \frac{G_j^i}{\text{ПДК}_j}. \quad (7)$$

Если пренебречь слабой зависимостью a^i от G_j^i , то из (7) следует

$$\Delta Q = \sum_{i=1}^n \Delta q^i = \sum_{i=1}^n a^i \sum_{j=1}^m \frac{\Delta G_j^i}{\text{ПДК}_j}, \quad (8)$$

т.е. при равных сокращениях массы выбросов ΔG_j^i снижение суммарной безразмерной концентрации ΔQ линейно зависит от вектора $(a^1, a^2, \dots, a^n)$.

Основываясь на свойстве линейной зависимости (8), оптимизация планирования атмосфероохранных мероприятий может быть выполнена на двух моделях линейного программирования.

1 — модель оптимизации затрат на снижение приземных концентраций вредных веществ до ПДК :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n G_j^i \sum_{l=1}^{S_j^i} \eta_l^{ij} 3_l^{ij} x_l^{ij} \rightarrow \min; \end{array} \right. \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n a_i G_j^i \left(1 - \sum_{l=1}^{S_j^i} \eta_l^{ij} x_l^{ij} \right) \leq \text{ПДК}_j; \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^m G_j^i \sum_{l=1}^{S_j^i} \eta_l^{ij} 3_l^{ij} x_l^{ij} \leq k_i; \quad (11)$$

$$I \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^m \frac{\sum_{i=1}^n a_i G_j^i \left(1 - \sum_{l=1}^{S_j^i} \eta_l^{ij} x_l^{ij} \right)}{\text{ПДК}_j} \leq 1; \end{array} \right. \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m G_j^i \sum_{l=1}^{S_j^i} \eta_l^{ij} 3_l^{ij} x_l^{ij} \leq k; \quad (13)$$

$$0 \leq x_l^{ij} \leq 1; \quad (14)$$

$$i = 1.2 \dots n;$$

$$j = 1.2 \dots m;$$

$$l = 1.2 \dots S_j^i.$$

II — модель распределения природоохранных затрат для максимального снижения загазованности:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n a_i \sum_{j=1}^m G_j^i \frac{\sum_{l=1}^{S_j^i} \eta_l^{ij} x_l^{ij}}{\text{ПДК}_j} \rightarrow \max; \end{array} \right. \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^m G_j^i \sum_{l=1}^{S_j^i} 3_l^{ij} \eta_l^{ij} x_l^{ij} \leq k_i; \quad (16)$$

$$II \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m G_j^i \sum_{l=1}^{S_j^i} 3_l^{ij} \eta_l^{ij} x_l^{ij} \leq k; \end{array} \right. \quad (17)$$

$$0 \leq x_l^{ij} \leq 1; \quad (18)$$

$$i = 1.2 \dots n;$$

$$j = 1.2 \dots m;$$

$$l = 1.2 \dots S_j^i.$$

Обозначения, общие для обеих моделей: φ_{ij}^{ij} , z_{ij}^{ij} , x_{ij}^{ij} — соответственно кпд газоочистки (доли ед.), удельные приведенные затраты (руб/кг пресеченной массы вещества) коэффициента применения природоохранной технологии i по пресечению токсиканта j на предприятии i (доли ед.); s_j^j — количество природоохранных технологий по пресечению токсиканта j на предприятии i ; k_i — количество природоохранных средств, которые может освоить i -е предприятие; k — общее количество средств, выделенных на оздоровление атмосферы.

В обеих моделях стратегию атмосфероохранной деятельности задает получаемый в результате оптимизации набор коэффициентов x_{ij}^{ij} . Посредством x_{ij}^{ij} определяется, на каких конкретно предприятиях природоохранные технологии следует использовать и с какой степенью применения (глубиной газоочистки, степенью очистки топлива от вредных примесей).

Модели I и II являются взаимодополняющими. Если поставлена задача снижения приземных концентраций до ПДК, то расчеты по модели I позволяют определить перечень подлежащих воздействию источников с наборами оптимальных природоохранных технологий, минимизируя суммарные затраты. Наиболее эффективную стратегию использования имеющихся средств можно рассчитать по модели II, указывающей на подавление каких токсикантов, в какие технологии и на каких предприятиях следует вкладывать средства, чтобы добиться максимального снижения загазованности атмосферы (суммарной безразмерной приземной концентрации).

При большом числе источников оптимальная атмосфероохранная технология может быть рассчитана только на ЭВМ. Для машинной реализации разработанных моделей достаточно использовать стандартные программы симплекс-метода.

Литература

1. Пути снижения загрязнения атмосферы городов продуктами сжигания топлива/ М.А.С т ы р и к о в и ч, Е.В.М и н а е в, А.А.Т р о и ц к и й, А.К.В н у к о в. — Теплоэнергетика, 1976, № 9, с. 26—32. 2. В н у к о в А.К., К а л ь т м а н И.И., Ш п о р т а И.П. Природоохранная стратегия в энергетике в ближайшие 20—30 лет (воздушный бассейн). — В сб.: Материалы симпозиума системы энергетики — тенденции развития и методы управления. Иркутск, 1980, с. 70—76. 3. Охрана окружающей среды (модели управления чистотой природной среды) /Под ред. К.Г.Гофмана и А.А.Гусева. — М., 1977. — 231 с. 4. В н у к о в А.К., Ш п о р т а И.П. Техничко-экономические оценки затрат на пресечение токсичных выбросов. — Весті АН БССР. Сер. ФЭН, 1979, № 4, с. 37—46. 5. В н у к о в А.К., Ш п о р т а И.П. Системный подход к вопросу оздоровления воздушного бассейна. — Весті АН БССР. Сер. ФЭН, 1980, № 1, с. 62—67.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНТЕНСИФИЦИРОВАННЫХ СПОСОБОВ МОКРОЙ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Обкатка двигателей на испытательных станциях моторостроительных заводов сопровождается выбросом в атмосферу значительных объемов отработавших газов, содержащих ряд токсичных компонентов. Это делает необходимой их предварительную очистку.

К характерным особенностям очистки газовых выбросов дизельных двигателей относятся: многокомпонентность состава, включающего окислы азота, сернистый ангидрид, углекислый газ, альдегиды, мелкодисперсные частицы сажи; изменяющаяся концентрация этих компонентов; краткое время пребывания газа в контактном объеме очистных аппаратов и высокая температура отработавших газов. Доминирующей вредностью являются окислы азота и сажа. Дополнительно необходимо учитывать возможность попадания в отработавшие газы и несгоревших туманообразных частиц дизельного топлива.

Анализ известных методов очистки [1] позволяет считать наиболее рациональным для названных условий мокрый метод с использованием слабоконцентрированных водных растворов различных поглотителей. При этом эффективность очистки пропорционально зависит от интенсивности гидродинамического режима контакта очищаемого газа с поглотительным раствором. Для заданных видов сорбентов и расходных характеристик (коэффициента орошения, объема очищаемого газа и т. д.) гидродинамический режим определяется конструктивными особенностями контактного аппарата. Поэтому на стадии планирования лабораторного и промышленного испытания предлагаемой конструкции аппарата представляют интерес уточнения основных определяющих параметров и граничных условий осуществления процесса очистки: длительности эффективной работы сорбента, динамики изменения его свойств, периодичности замены и возможности непрерывной регенерации свойств сорбента в ходе процесса, пределов оптимальной и допустимой концентрации химического реагента. Предварительные данные, позволяющие оценить названные условия, получены в ходе лабораторного эксперимента, проведенного с использованием 10%-ного раствора гидрооксида кальция — $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Раствор работал пять дней по шесть часов в день. Эффективность поглощения окислов азота составляла: первый день — 98%, второй — 43,6, третий 37%, четвертый и пятый день не дали результатов. Полученные данные показывают, что при использовании в качестве сорбента $\text{Ca}(\text{OH})_2$ высокая эффективность поглощения окислов азота достигается лишь в течение одной рабочей смены. Для восстановления требуемой эффективности раствора $\text{Ca}(\text{OH})_2$ необходимо производить его периодическую (раз в смену) или непрерывную регенерацию.

При проведении натурных экспериментов по оценке режимных условий очистки отработавших газов и эффективности применения для их нейтрализации жидкостных поглотителей в качестве сорбентов были приняты наименее дорогостоящие гидроксид кальция — $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и гидрокарбонат натрия NaHCO_3 , показавшие в ходе лабораторных экспериментов удовлетворительную эффективность очистки — в пределах 90—99%.

Промышленные испытания поглотителей осуществлялись на опытной установке, выполненной согласно принципиальной схеме предлагаемой очистной системы (без первой ступени предварительного дисперсионного орошения) (рис. 1). Контактное устройство представляло инжекционно-пенный аппарат [2], выполненный с упрощением конструкции завихрителя —

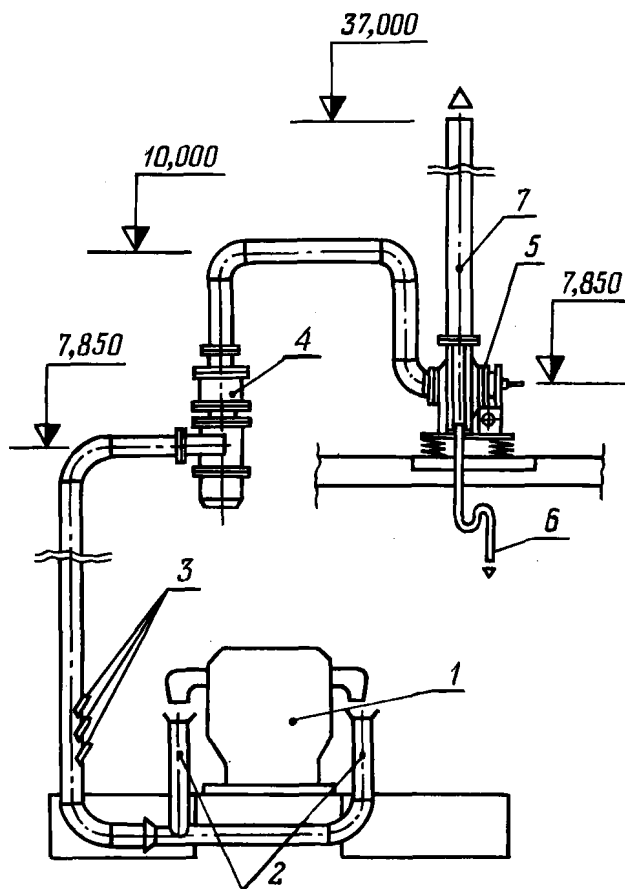


Рис. 1. Схема опытно-промышленной установки по очистке отработавших газов дизельного двигателя:
1 — двигатель; 2 — газоотсос; 3 — водяные форсунки для охлаждения выхлопных газов; 4 — очистной инжекционный аппарат ИПА; 5 — вентилятор; 6 — дренаж; 7 — труба для выброса очищенного воздуха.

с короткоходовыми слабопрофилированными лопатками (модификация пылеуловителя). Для корректировки влияния отклонений от оптимальных конструктивных параметров завихрителя, по данным ранее выполненных экспериментов, вводился поправочный коэффициент, учитывающий изменение гидродинамических условий инжекции рабочей жидкости (рис. 2) и их влияния на показатель эффективности. Для количественного анализа содержания окислов азота в отработавших газах была применена стандартная методика определения разовых концентраций [1]. Уровень жидкости в аппарате в ходе эксперимента поддерживался путем периодической подпитки. Значение уровня рабочей жидкости для каждого анализа принималось как среднеарифметическая величина, соответствующая началу и окончанию периода отбора пробы.

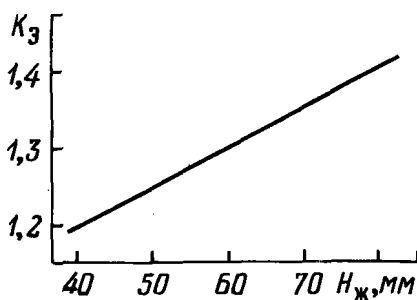


Рис. 2. Зависимость корректировочного коэффициента инжекции от уровня жидкости.

Расход очищаемого газа через аппарат в количестве $870 \text{ м}^3/\text{ч}$ поддерживался ручным регулированием с помощью дроссель-клапана. Расход рабочей жидкости определялся из расчета объема подпитки за весь период каждого эксперимента. Начальный объем рабочей жидкости составлял 22 л.

Результаты испытаний отражены в табл. 1 и 2.

В представленных таблицах использованы следующие условные обозначения.

$H_{\text{ж}}$ — высота отклонения уровня жидкости от входного сечения контактной камеры; $T_{\text{н}}$, $T_{\text{к}}$ — начальная и конечная температура отработавших газов по сухому термометру; $T_{\text{нм}}$, $T_{\text{мк}}$ — начальная и конечная температура отработавших газов по мокрому термометру; $C_{\text{н}}$, $C_{\text{к}}$ — начальная и конечная концентрация анализируемого компонента в отработавших газах; ε — за-

Таблица 1. Эффективность поглощения окислов азота гидроксидом кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$

$H_{\text{ж}}$ мм	$T_{\text{н}}$ °C	$T_{\text{нм}}$ °C	$T_{\text{к}}$ °C	$T_{\text{мк}}$ °C	$C_{\text{н}}$ мг/л	$C_{\text{к}}$ мг/л	ε %	K_z	$\varepsilon_{\text{к}}$ %
55	62	28,9	26,0	25,8	1,23	0,68	44	1,275	57,0
50	65	29,0	26,8	26,0	2,47	1,28	48	1,25	60,0
80	57	—	24,5	—	—	—	—	—	—
65	66	29,0	27,2	27,0	2,0	1,45	27,5	1,32	36,4
50	67	29,2	27,5	27,4	2,38	1,25	47,5	1,25	59,3
40	67,5	29,3	28,0	27,8	4,15	1,15	72,3	1,2	86,7

мерная эффективность поглощения; K_3 — поправочный коэффициент; $\mathcal{E}_K$ — приведенная эффективность поглощения для завихрителя с оптимальными конструктивными параметрами.

Для аппарата с инжекционно-пенным режимом контакта гидродинамические условия осуществления процесса имеют определяющее значение для достижения расчетной эффективности. При заданных конструктивных параметрах и объемах очищаемого газа гидродинамические условия процесса комплексно характеризует высота отклонения уровня жидкости ($H_{ж}$), увеличение которой свыше оптимального предела вызывает пропорциональное снижение эффективности процесса. Это четко прослеживается в полученных результатах. Из представленных в табл. 1 и 2 данных следует, что при ручном регулировании уровня рабочей жидкости с периодической подпиткой неизбежны отклонения от заданного уровня, снижающие эффективность очистки. При изменении уровня от 0 до 50 мм полученная эффективность очистки отвечает условиям, при которых последующее рассеивание через стандартную трубу высотой 20 м обеспечивает достижение в приземном слое допустимых концентраций. Результаты промышленных испытаний сорбентов ниже лабораторных, но значительно превышают (для минимальных значений $H_{ж}$) известные данные [3], полученные в аппаратах с малоинтесифицированным режимом (эффективность очистки 35–40%). Причиной снижения эффективности поглощения оксидов азота в промышленных экспериментах является использование аппарата, предназначенного в основном для пылеулавливания. Показательно практически полное улавливание (99–99,5%) твердых и жидких компонентов отработавших газов, о чем свидетельствует качественный анализ сбрасываемого из аппарата шлама при его промывке. С учетом полученных результатов и данных о колебаниях уровня жидкости можно заключить, что в лабораторных испытаниях модификации газопромывателя инжекционно-пенный аппарат обеспечит эффективность очистки отработавших газов в промышленных условиях в пределах до 90%. При этом эффективность очистки может быть значительно повышена с применением более совершенных сорбентов, проходящих в настоящее время лабораторные испытания.

Таким образом результаты испытаний в целом можно рассматривать как положительные.

Таблица 2. Эффективность поглощения оксидов азота гидрокарбонатом натрия NaHCO_3

$H_{ж}'$ мм	$T_{н}'$ °C	$T_{нм}'$ °C	$T_{к}'$ °C	$T_{мк}'$ °C	$C_{н}'$ мг/л	$C_{к}'$ мг/л	$\mathcal{E}$ %	K_3	$\mathcal{E}_{к'}$ %
70	35	—	20,8	—	62,5	53,6	14,2	1,35	19,2
65	60	28,5	25,8	25,7	70,76	48,6	31,3	1,325	41,5
60	60	28,6	25,8	25,6	68,7	41,8	39	1,3	50,7
70	56	27,0	23,6	23,4	80,85	70,69	12,6	1,35	17,0
45	56	27,0	23,0	23,0	77,63	32,94	57,6	1,225	70,5
40	60	28,7	25	24,9	95,08	37,26	60	1,2	72,0
40	70	29,1	26,4	26,2	82,97	33,34	60	1,2	72,0

Литература

1. Очистка уходящих газов от окислов азота: Обзор загрязнения атмосферы окислами азота продуктов сгорания топлива. — М., 1974. — 98 с. 2. А. с. 570382 (СССР). Пылеуловитель/ В.Г.Диденко, С.Е.Лёнин, В.М.Мариниченко. — Оpubл. в Б.И., 1977, № 32. 3. Руководство по контролю загрязненности атмосферы Министерства здравоохранения СССР, Госкомитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды. — Л., 1979. — 40 с.

УДК 697.94

В.Н.ДЬЯЧЕНКО, ст. преп.
(Новополоцкий политехнический институт)

ОЧИСТКА ВЫБРОСОВ ПРОИЗВОДСТВА АСФАЛЬТОБЕТОНА

Асфальтобетонные заводы как мелкие (полевого типа), так и крупные стационарные служат значительными источниками загрязнения атмосферного воздуха пылью, сажей, окисью углерода и сернистым газом. Концентрации вредных ингредиентов в районе расположения этих предприятий превышают ПДК в 13—15 раз.

Источниками выделения этих ингредиентов в производстве асфальтобетона являются узлы подачи, пересыпки и дозировки минеральных наполнителей, а также место разгерметизации средств транспортировки материалов, смесителя и сушильные барабаны, относящиеся к 3-й группе источников загрязнения атмосферного воздуха [1]. По валовому объему и составу пылегазовых вредных ингредиентов основное место среди названных источников занимают организованные выбросы сушильных барабанов. Однако основным видом вредных ингредиентов следует считать пыль фиброгенного действия, класс опасности — 4, выброс которой из сушильных барабанов составляет 2—3,5% от общего количества просушенного материала, а ее дисперсный состав зависит в каждом отдельном случае от условий работы технологического оборудования асфальтобетонного завода. Более 58% (по массе) частиц пыли имеют размеры менее 25 мкм.

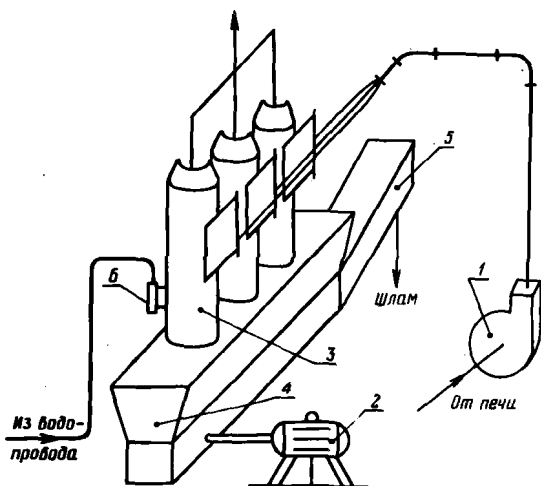
Улавливание пыли становится неотъемлемой частью технологического процесса и требует применения высокоэффективных способов пылеулавливания. Высокая начальная запыленность 5—40 г/м³ с широким диапазоном размеров частиц создала необходимость применения двухступенчатой схемы очистки. Для улавливания крупнодисперсной пыли широкое применение нашли батарейные установки циклонов НИИОГаз ЦН-11, ЦН-15, обеспечивающие высокую эффективность пылеулавливания порядка 74—82% [2] для частиц размером свыше 25 мкм. Эти циклоны обладают высокой надежностью и малым гидравлическим сопротивлением. В качестве второй ступени используются тканевые фильтры и электрофильтры, обеспечивающие степень очистки до 98—99,8%. Однако такие специфические свойства пылегазовых выбросов, как высокая температура (200—400°С), большое влагосодержание (190—250 г/Нм³) и превалирующая по массе мелкодисперсная фракция пылевых частиц с высоким удельным электрическим сопротивлением более

10^{10} Ом-см, обусловили низкую эффективность и недостаточную эксплуатационную надежность тканевых фильтров и электрофильтров [3].

В настоящее время для очистки отходящих газов от сушильных барабанов производства асфальтобетона все большее применение находят высокоэффективные аппараты мокрой очистки, обеспечивающие селективную эффективность в отношении преобладающих компонентов выброса. К таковым относятся инжекционно-пенные аппараты (ИПА) с комбинированной схемой очистки [4]. Они представляют собой контактное устройство, работающее в интенсифицируемом режиме образования ценного слоя, с высокоразвитой поверхностью взаимодействия газа и жидкости (основная ступень очистки). В них осуществляется предварительное улавливание крупнодисперсных фракций на основе циклонного эффекта.

Положительные результаты дала более чем двухлетняя эксплуатация установки на базе инжекционно-пенных аппаратов в системе очистки выбросов от сушильных барабанов Д-597 асфальтобетонного завода Волжского производственного объединения "Стройиндустрия" (рис. 1).

Рис. 1. Принципиальная аксонометрическая схема очистки выбросов от сушильных барабанов АБЗ: 1 — дымосос; 2 — электродвигатель; 3 — инжекционно-пенный аппарат; 4 — бункер-накопитель; 5 — система шламоудаления; 6 — регулятор уровня.



Установка содержит три параллельно включенных ИПА, смонтированных на общем бункере-накопителе и оснащенных системой шламоудаления, приводимой в движение электродвигателем. Частицы уловленной пыли оседают на дно бункера-накопителя, откуда удаляются лопаточным транспортером, после чего складываются. Применение такой системы сбора и удаления шлама позволило уменьшить расход воды до величины, равной количеству испарившейся жидкости и заменить дорогостоящую систему очистных сооружений, сложную в эксплуатации и занимающую большие производственные площади.

Подпитка рабочей жидкости осуществляется из водопровода через регулятор уровня жидкости в бункере-накопителе.

Пылеулавливание при ИПА контакта воздуха с рабочей жидкостью характеризуется конструкцией ИПА и его техническими параметрами, к которым относятся: производительность по газу, гидравлическое сопротивление

Таблица 1. Результаты испытания ИПА

Производительность установки, м ³ /ч	Вид аэрозоля	Начальная концентрация, мг/м	Конечная концентрация, мг/м ³	Коэффициент очистки, %
12000	Пыль доломит	6648	19,9	99,7
12000	Пыль известняковая	7014	14,1	99,8

ИПА при пенном режиме, высота пены, коэффициент полезного действия улавливания. Производительность аппарата определяется из условия скоростного режима в контактной камере, верхний предел которого обусловлен эффективностью процессов сепарации капельной влаги и лежит в пределах $v_{\text{газа}} \leq 10$ м/с.

Гидравлическое сопротивление ИПА зависит от скоростного режима газового потока и параметров пены. При достижении требуемой эффективности пылеулавливания в рабочем режиме скоростей газового потока 7–10 м/с гидравлическое сопротивление ИПА при оптимальном пенном режиме находится в пределах 660–780 Па.

Определение производительности по газу и запыленности газового потока производились по стандартным методикам [5], разработанным НИИОГаз.

Эффективность пылеулавливания ИПА определяется по формуле

$$\eta = \frac{k - k_1}{k_1} \cdot 100\%,$$

где k_1 , k_2 — концентрации пыли соответственно до и после аппарата, г/м³.

Результаты испытания показали удовлетворяющую степень очистки газов в инжекционно-пенной установке (табл. 1).

Эффективность улавливания известняковой пыли выше, чем доломитовой, что обусловлено их адгезионными свойствами (способность к коагуляции). Потребление воды инжекционно-пенной установкой составило 0,003 л/м³ при начальной температуре газового потока 208°C и влажности 230 г/Нм³.

Концентрация пыли после ИПА не превышает допустимое содержание пыли в газах, выбрасываемых в атмосферу (ПДВ-29,6 мг/м³).

Годовой экономический эффект от внедрения газоочистной установки составляет 15245 руб.

Выводы

Данная схема аппарата позволила соединить в одном устройстве принцип и достоинства двухступенчатой очистки при значительном упрощении конструкции установки пылеочистки и условий ее эксплуатации, а также снижении расхода рабочей жидкости — воды.

Инжекционно-пенные аппараты двухступенчатой очистки следует рекомендовать для обработки газов, уходящих из сушильных барабанов и печей обжига предприятий строительной индустрии.