

Ю.Э. Гейнц, А.А. Землянов

Метод эффективного источника для экспресс-оценки суммарной мощности выбросов газовой примеси в атмосферу

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 21.11.2007 г.

Предложена методика экспресс-оценки суммарной мощности выбросов газовой примеси в атмосферу по данным трассовых измерений интегральной концентрации примеси на основе замены реальной группы источников на виртуальный эффективный площадной источник. В основе методики лежит гауссовская модель факела выбросов. Проведена оценка погрешности данной методики в зависимости от дисперсии мощности индивидуальных источников, от конкретной конфигурации источников в пределах эмитирующей области, от класса турбулентного состояния атмосферы, а также от эффективной высоты выбросов.

Введение

Одной из важных задач экологического и промышленного мониторинга химического состава атмосферы является оценка суммарной мощности выбросов загрязняющего вещества от одного или группы локальных источников по данным измерения поля концентрации примеси в пределах исследуемого района. К настоящему времени данная проблема решается различными способами. В основе большинства из них лежит использование модели атмосферной дисперсии газовой или аэрозольной примеси (модели лагранжева или эйлерова типа) при известном пространственном положении источников выбросов и поля значений метеопараметров. Эта так называемая обратная задача атмосферной диффузии примеси, в свою очередь, находит решение либо с помощью методов обратных траекторий [1, 2], либо посредством методики, предложенной Г.И. Марчуком [3] и связанной с решением специального уравнения, сопряженного с уравнением турбулентной диффузии [4, 5].

С другой стороны, уже несколько десятков лет для целей экологического мониторинга применяется аппарат лазерной компьютерной томографии [6, 7], с помощью которого по массиву измеренных трассовых концентраций примеси (интегральных вдоль оптической трассы) по специальному алгоритму восстанавливается двумерное поле реальной концентрации. Дальнейшая обработка полученного массива концентрации предполагает использование конкретной дисперсионной модели атмосферы и дает решение искомой задачи в части определения мощности источников и установления их пространственного местоположения.

Не вдаваясь в технические подробности упомянутых выше методик, отметим лишь то, что все они для обеспечения репрезентативности результатов,

во-первых, требуют проведения большого числа измерений локальной или интегральной концентрации исследуемого вещества в различных точках исследуемого района и, во-вторых, связаны с достаточно интенсивными численными расчетами. В то же время на практике часто достаточно иметь лишь приблизительную оценку суммарного количества примеси, выбрасываемой в единицу времени группой источников, расположенных в пределах выделенной области. При этом данная оценка, по возможности, должна быть получена наименьшим числом натуральных измерений и с наименьшими затратами времени.

Один из возможных путей решения данной проблемы предложен в [8] и заключается в упрощении и удешевлении датчиков концентрации (фиксируют только превышение заданного порога) с одновременным увеличением их числа. При этом производится рассеивание датчиков в случайном порядке в зоне измерений (например, разбрасыванием с самолета), а после получения с них информации по достаточно простой дисперсионной модели гауссовского факела [9, 10] осуществляется ее регрессионный анализ и восстанавливается мощность источника.

В настоящей статье предлагается другой метод определения суммарной мощности выбросов от нескольких источников, конкретное расположение которых может быть неизвестно. Данный метод сочетает в себе элементы, присущие как томографии выбросов, так и методике случайно расположенных датчиков. Идея предлагаемого метода заключается в замене реальной группы точечных источников на виртуальный эффективный площадной источник, имеющий такую же суммарную интенсивность и ограниченный продольным и поперечным масштабами, включающими зону действия реальных источников. Считая закон рассеивания примеси в атмосфере гауссовским и имея данные хотя бы одного измерения трассовой концентрации в поперечном к среднему

ветру направлении, становится возможным с достаточной точностью получить экспресс-оценку общей мощности выброса.

Ограничения данного метода следуют из условий применимости самой модели гауссовского факела выбросов. Обычно считается, что такое моделирование атмосферного переноса дает достоверные результаты для более или менее стабильных атмосферных условий, непрерывных источников выбросов, не очень сложной орографии местности и на расстояниях до нескольких десятков километров от выброса. Точность предлагаемого метода эффективного источника при оценке суммарной мощности выброса распределенных эмиттеров и при соблюдении ряда рекомендаций мы оцениваем не ниже 50%.

Основные соотношения

Рассмотрим следующую ситуацию. Пусть в прямоугольной области ($L_x \times L_y$) расположены N точечных непрерывно действующих источников примеси, каждый из которых находится в произвольной (неизвестной) точке пространства на одной и той же высоте h_c и выбрасывает в единицу времени Q_i ($i = 1 \dots N$) массы вещества. Поместим начало координат декартовой системы в точку ($x = 0$, $y = L_y/2$, $z = 0$), ось Ox направим по ветру. Координаты положения источников выброса обозначим как (x_i, y_i) . Состояние атмосферы характеризуется некоторым заданным вертикальным профилем скорости среднего ветра $u(z)$ и коэффициентами турбулентной диффузии $\sigma_y(x)$, $\sigma_z(x)$. Требуется оценить суммарную мощность выбросов $Q_\Sigma = \sum_{i=1}^N Q_i$ по данным трассового измерения концентрации $C(x, y, z)$. Конкретные координаты положения каждого источника в общем случае произвольны и неизвестны.

Воспользуемся моделью гауссовского факела выбросов. Данная модель базируется на приближенном аналитическом решении уравнения турбулентной диффузии примеси и оперирует среднестатистическими характеристиками струи и атмосферы. Модель гауссовского факела применима для больших времен диффузии и стационарных условий выбросов. Усредненная по достаточно большому интервалу времени концентрация примеси в каждой точке пространства от отдельного источника дается формулой

$$C_i(x, y, z) = \frac{1}{2\pi u(z)} \times \frac{Q_i}{\sigma_y(x - x_i)\sigma_z(x - x_i)} f^y(x - x_i) f^z(x - x_i), \quad (1)$$

где функции продольной и поперечной дисперсии факела имеют вид

$$f^y = \exp\left[-\frac{(y - y_i)^2}{2\sigma_y^2(x - x_i)}\right]$$

$$\text{и } f^z = \left[\exp\left(-\frac{(z - H_e)^2}{2\sigma_z^2(x - x_i)}\right) + \exp\left(-\frac{(z + H_e)^2}{2\sigma_z^2(x - x_i)}\right) \right], \quad (2)$$

а $H_e = h_c + \Delta H$ — эффективная высота источника; ΔH — высота подъема факела за счет момента инерции струи и ее всплывания под действием архимедовых сил [11].

В принципе, при известном пространственном положении источников, т.е. знании их конкретных координат (x_i, y_i) , и наличии массива локальных измерений концентрации примеси C_i в ряде точек, по выражениям (1), (2) можно рассчитать мощность каждого источника и получить оценку Q_Σ . Однако если координаты (x_i, y_i) неизвестны, то сделать это напрямую не представляется возможным.

Сопоставим реальной группе точечных источников некоторый виртуальный эффективный распределенный источник, ограниченный продольным L_x и поперечным L_y масштабами (включающими зону действия реальных источников), со средней по площади плотностью мощности выбросов: $q_e = Q_\Sigma / (L_x L_y)$. Тогда выражение для поля концентрации примеси от такого источника будет следующим:

$$C_e(x, y, z) = \frac{q_e}{2\pi u(z)} \int_0^{L_x} \int_{-L_y/2}^{L_y/2} dx' dy' \frac{f^y(x - x') f^z(x - x')}{\sigma_y(x - x') \sigma_z(x - x')} = \frac{q}{2\sqrt{2}\pi u(z)} \int_0^{L_x} f^z(x - x') \left[\operatorname{erf}\left(\frac{L_y + 2y}{2\sqrt{2}\sigma_y(x - x')}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{-L_y + 2y}{2\sqrt{2}\sigma_y(x - x')}\right) \right] dx'. \quad (3)$$

Пусть в точке с координатами (x_0, z_0) проводится измерение интегральной трассовой концентрации примеси, например, по величине энергетического ослабления оптического сигнала. Трасса измерения проходит в горизонтальной плоскости поперек ветра и охватывает некоторый диапазон значений переменной y : $-Y_0/2 \leq y \leq Y_0/2$. Математически это соответствует интегралу от выражения (3) по переменной y (в соответствующих пределах), который запишется как

$$C_{eY_0}(x, z) = \int_{-Y_0/2}^{Y_0/2} C_e(x, y, z) dy = \frac{q_e}{2\sqrt{2}\pi u(z)} \int_0^{L_x} \frac{f^z(x - x')}{\sigma_z(x - x')} F(L_y, Y_0) dx', \quad (4)$$

где

$$F = \operatorname{erf}\left(\frac{L_y + Y_0}{2\sigma_y}\right)(L_y + Y_0) + \operatorname{erf}\left(-\frac{Y_0 - L_y}{2\sigma_y}\right)(Y_0 - L_y) + 2\sqrt{\frac{2}{\pi}}\sigma_y \left[\exp\left[-\frac{(L_y + Y_0)^2}{8\sigma_y^2}\right] - \exp\left[-\frac{(L_y - Y_0)^2}{8\sigma_y^2}\right] \right].$$

Искомую величину суммарной мощности выброса Q_Σ получим из следующего соотношения:

$$Q_\Sigma = C_{eY_0}(x_0, z_0) \frac{u(z_0)}{K(x_0, z_0)}. \quad (5)$$

Здесь

$$K(x_0, z_0) = \frac{1}{2\sqrt{2\pi}(L_x L_y)} \int_0^{L_x} \frac{f^z(x_0 - x', z_0)}{\sigma_z(x_0 - x')} F(L_y, Y_0) dx'.$$

В большинстве случаев данный интеграл необходимо рассчитать численно. Однако в ряде ситуаций, когда пределы измерения трассовой концентрации Y_0 можно считать достаточно большими по сравнению с линейным размером выброса, т.е. $Y_0 \gg L_y$, интеграл заметно упрощается:

$$K(x_0, z_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}L_x} \int_0^{L_x} \frac{f^z(x_0 - x', z_0)}{\sigma_z(x_0 - x')} dx'.$$

Если к тому же выполняется условие $x_0 \gg L_x$, т.е. измерения осуществляются вдали от грани источника, то приходим к следующему выражению для Q_Σ :

$$Q_\Sigma = C_{eY_0}(x_0, z_0) \frac{\sqrt{2\pi}u(z_0)f^z(x_0, z_0)}{\sigma_z(x_0)}. \quad (6)$$

В предельном случае одного точечного источника из (1)–(3) получим

$$C_{eY_0}^1(x, z_0) = \int_{-Y_0/2}^{Y_0/2} C(x, y, z_0) dy = \frac{Q_1}{\sqrt{2\pi}u(z_0)\sigma_z(x)} f^z(x)$$

и, следовательно,

$$Q_1 = C_{eY_0}^1(x_0, z_0) \frac{u(z_0)}{K^1(x_0, z_0)}; \quad K^1(x_0, z_0) = \frac{f^z(x_0)}{\sqrt{2\pi}\sigma_z(x)},$$

что полностью аналогично выражению (6).

Правомерность замены группы точечных источников различной мощности одним распределенным источником в общем случае неочевидна. Точность определения суммарной мощности выброса по формуле (5) зависит от конкретной конфигурации источников и величины их парциальных мощностей Q_i . И только в пределе локализованной группы эмиттеров, когда можно считать справедливыми выполнение следующих неравенств: $y_i \gg Y_0$, $x_i \gg x_0$, $\forall x_i, y_i$, мы приходим в точности к выражению (6).

Оценка погрешности метода

Оценим ошибку, вносимую в Q_Σ при использовании метода эффективного источника. Для этого сначала получим точное выражение для погонной трассовой концентрации примеси от группы точечных источников. Интегрируя (1) по переменной y и проводя суммирование, получим

$$C_{Y_0}(x, z) = \int_{-Y_0/2}^{Y_0/2} C(x, y, z) dy = \frac{1}{2\sqrt{2\pi}u(z)} \times \sum_{i=1}^N \frac{Q_i f^z(x - x_i)}{\sigma_z(x - x_i)} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{Y_0 + 2y_i}{2\sqrt{2}\sigma_y}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{-Y_0 + 2y_i}{2\sqrt{2}\sigma_y}\right) \right].$$

Будем считать, что выполнено условие $y_i \ll Y_0$, которое в большинстве случаев несложно реализовать на практике. Тогда

$$C_{Y_0}(x, z) \approx \frac{Q_\Sigma}{\sqrt{2\pi}u(z)} \sum_{i=1}^N \frac{\bar{Q}_i f^z(x - x_i)}{\sigma_z(x - x_i)} \operatorname{erf}\left(\frac{Y_0}{2\sqrt{2}\sigma_y(x - x_i)}\right),$$

$$\bar{Q}_i = \frac{Q_i}{Q_\Sigma}$$

и оценка суммарной мощности выбросов запишется следующим образом:

$$Q_\Sigma = \frac{C_{Y_0}(x_0, z_0)u(z_0)}{R_N(x_0, z_0)}, \quad (7)$$

где

$$R_N(x_0, z_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sum_{i=1}^N \frac{\bar{Q}_i f^z(x_0 - x_i, z_0)}{\sigma_z(x_0 - x_i)} \operatorname{erf}\left(\frac{Y_0}{2\sqrt{2}\sigma_y(x_0 - x_i)}\right).$$

По условиям задачи считается, что реально измеренное значение трассовой концентрации $C_{Y_0}(x_0, z_0)$ от группы точечных источников совпадает со значением, которое получалось бы в результате действия виртуального площадного источника $C_{eY_0}(x_0, z_0)$, т.е. справедливо равенство $C_{Y_0}(x_0, z_0) = C_{eY_0}(x_0, z_0)$. Тогда, записывая отношение (7) к (5), введем следующий параметр ошибки метода:

$$\eta = 1 - \frac{K(x_0, z_0)}{R_N(x_0, z_0)}. \quad (8)$$

Отклонение данного параметра от нуля отражает точность метода эффективного источника, причем положительные значения η соответствуют завышению восстановленной суммарной мощности выбросов, а отрицательные, наоборот, говорят о занижении Q_Σ .

Для выяснения диапазона изменения η было проведено численное моделирование атмосферной дисперсии условной примеси от группы точечных источников различной мощности при вариации координат трассового измерения концентрации и при различных классах турбулентной устойчивости атмосферы [9], влияющих на вид зависимости коэффициентов турбулентной диффузии $\sigma_y(x)$, $\sigma_z(x)$ от продольной координаты.

В качестве иллюстрации компьютерной модели на рис. 1 приведены 2D-поля концентрации условной примеси от группы точечных источников различной мощности. Вверху – распределение относительной концентрации $\bar{C} = C(x, y)/C_m$, где C_m – максимальная концентрация в области рассмотрения, для двух различных классов устойчивости атмосферы А и Б. Внизу приведены нормированные профили концентрации поперек ветра $\bar{C}(x_0)$, рассчитанные вдоль трассы с центром в точке (x_0, z_0) . Показана также прямоугольная область размером $L_x \times L_y$, внутри которой находятся источники. Эффективная высота выбросов $H_e = 10$ м, а поле концентрации

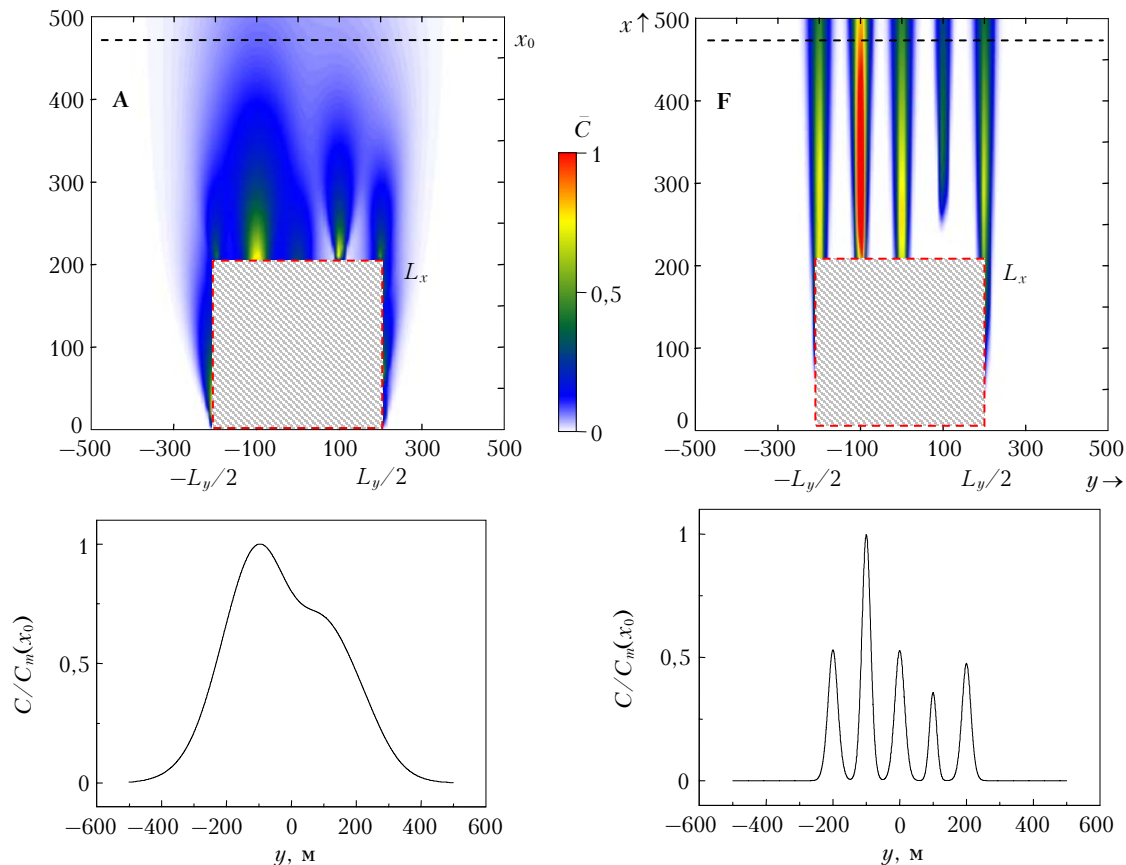


Рис. 1. Численное моделирование распределения концентрации примеси от группы точечных источников различной мощности в условиях неустойчивой и устойчивой атмосферы

рассчитывалось на высоте $z_0 = 2$ м. Здесь же показан поперечный профиль суммарной концентрации, представляющий собой сечение поверхности $C(x, y, z = z_0)$ плоскостью, параллельной оси OY в точке x_0 . Видно, что высокая степень турбулентности атмосферы (класс устойчивости **A** по международной классификации) приводит к активному перемешиванию примеси с воздухом, в результате чего отдельные факелы достаточно быстро сливаются в один. А в устойчивой атмосфере (класс устойчивости **F**) этот процесс долго не происходит.

На рис. 2 приведены две реализации значений параметра ошибки метода η при различных значениях стандартного отклонения σ_Q уровня мощности индивидуальных источников.

Данный параметр определялся по следующей формуле:

$$\sigma_Q = \frac{1}{Q} \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2 \right]^{1/2},$$

где $\bar{Q} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i$ — среднее значение мощности вы-

броса по массиву источников. Само положение источников внутри области $L_x \times L_y$ и их парциальная мощность случайны (нормальное распределение плотности вероятности) и некоррелированы друг с другом.

Были рассмотрены два предельных случая: неустойчивая атмосфера (класс устойчивости **A**) и стабильно устойчивая (класс устойчивости **F**), характеризующиеся различной зависимостью коэффициентов турбулентной дисперсии факела σ_y и σ_z от расстояния вдоль ветрового сноса. Кроме того, изучалось поведение η в зависимости от координаты проведения трассового измерения концентрации примеси x_0 .

Из рис. 2 видно, что увеличение разброса значений мощности источников σ_Q в целом приводит к росту ошибки восстановления, причем удаление трассы измерения концентрации (увеличение x_0) от источников выбросов сопровождается уменьшением данной ошибки. Влияние класса турбулентной устойчивости атмосферы на величину η проявляется незначительно.

Более детальное изучение поведения параметра η выявило его функциональную зависимость не только от дисперсии мощности источников, но и от конкретной их конфигурации в пределах эмитирующей области. Оказалось, что наибольшие по модулю отклонения η от нуля наблюдаются при сгущении источников у ближней и дальней границ зоны выброса: $x = 0; L_x$. Формально это соответствует тому, что эффективный источник, которым заменяется группа реальных эмиттеров, из площадного вырождается в линейный, для которого коэффициент $K(x_0, z_0)$ должен рассчитываться уже по-другому:

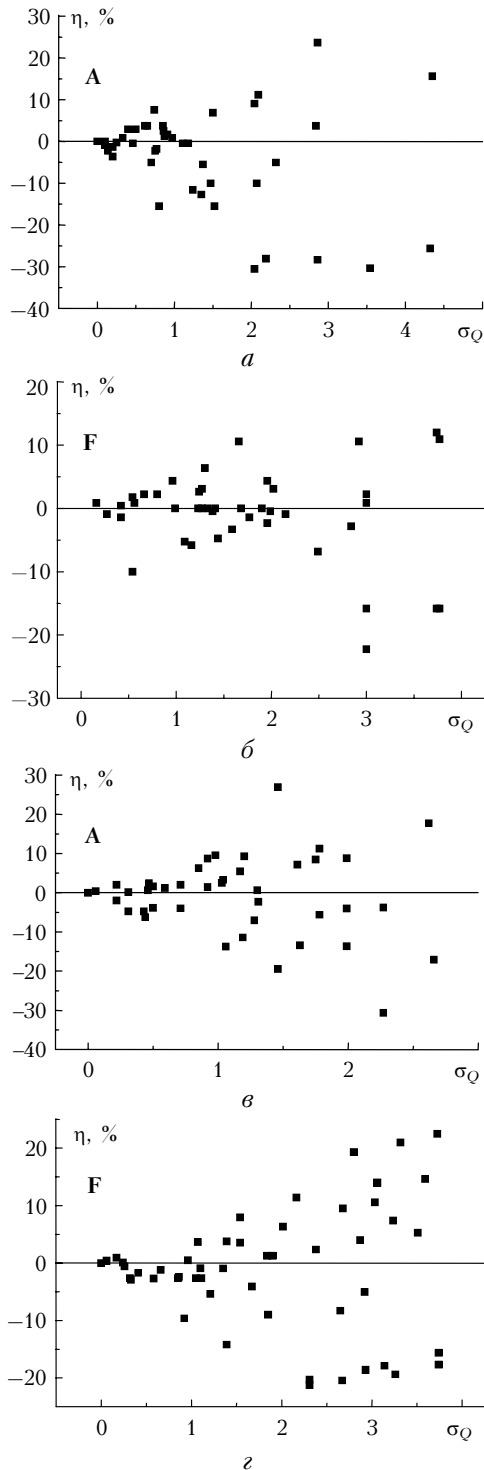


Рис. 2. Тенденция изменения η при различном стандартном отклонении мощностей индивидуальных источников σ_Q (нормальное распределение) и различном положении x -координаты трассы измерения: $x_0 = 500$ (а, б) и 250 м (в, г); $L_x \times L_y = 200 \times 200$ м; $z_0 = 2$ м; $H_e = 10$ м; $N = 15$

$$K_\delta(x_0, z_0) = \lim_{L_x \rightarrow 0} K(x_0, z_0) = \frac{1}{2\sqrt{2\pi}L_y} \frac{f^z(x_0, z_0)}{\sigma_z(x_0)} F(L_y, Y_0). \quad (9)$$

Метод эффективного источника для экспресс-оценки суммарной мощности выбросов газовой примеси... 349

Взаимное расположение источников внутри эффективной площади выброса будем характеризовать параметром центра тяжести X_c дискретного распределения $Q(x_i)$, который определяется как первый момент по x от данной функции:

$$X_c = \frac{1}{Q_\Sigma} \sum_{i=1}^N Q_i x_i.$$

Результаты расчета функции $\eta(X_c)$ при достаточно большом стандартном отклонении мощностей $\sigma_Q = 4,2$ приведены на рис. 3 и наглядно показывают, что ошибка восстановления суммарной концентрации будет минимальна при сбалансированном размещении парциальных источников по площади выброса ($X_c \approx L_x/2$). При этом увеличение дистанции проведения измерений x_0 по сравнению с линейным размером зоны L_x снижает эту ошибку, поскольку при условии $x_0 \gg L_x$ следует переход к приближению линейного источника (9) и обе формулы — (5) и (7) — дают один и тот же результат.

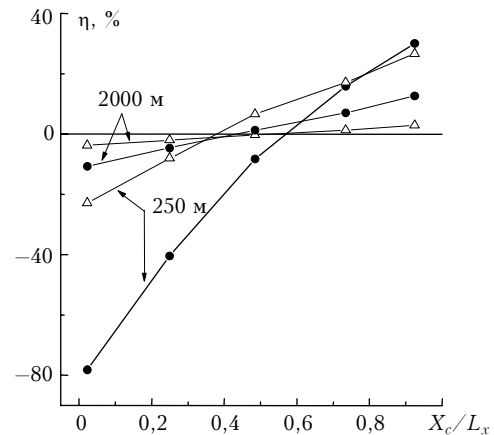


Рис. 3. Зависимость η от x -координаты центра тяжести распределения мощностей локальных источников X_c при $\sigma_Q = 4,2$ и различном удалении точки измерения трассовой концентрации x_0 (показано цифрами) и для классов устойчивости А (•) и F (Δ) при тех же параметрах (см. подпись к рис. 2)

Рассмотрим зависимость коэффициента $K(x_0, z_0)$ от основных параметров задачи. Влияние отношения L_x/x_0 и эффективной высоты выбросов источника H_e на величину данного коэффициента при вариации x_0 показано рис. 4, 5, из которых следует, что наибольшие отклонения коэффициента K от его предельного ($L_x \rightarrow 0$) значения K_δ наблюдаются при близком расположении трассы измерения концентрации от внешней границы эффективного источника (большие значения L_x/x_0). При этом рост протяженности зоны выбросов в абсолютных единицах (см. кривые 1, 2, 4, 5 на рис. 3) приводит к увеличению K .

В устойчивой атмосфере значения K мало отличаются от K_δ в выбранном диапазоне изменения параметров расчета. Рост эффективной высоты выбросов H_e (см. рис. 4), а точнее увеличение параметра $|H_e - z_0|$, снижает отношение K/K_δ , поскольку

при большой разности высот оси факела и точки измерения концентрации вклады от каждого локального источника в пределах зоны выбросов успевают перемешаться и образовать один гауссовский факел с характеристиками, близкими к линейному источнику.

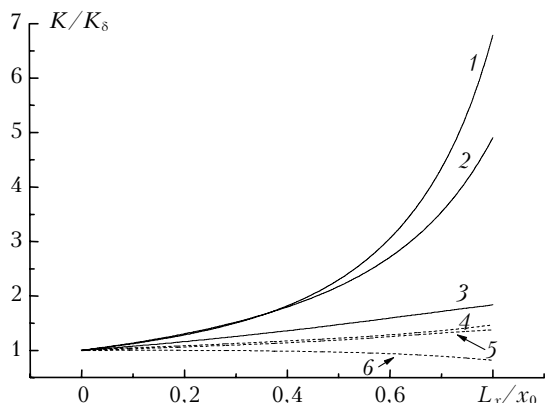


Рис. 4. Значение K/K_δ в зависимости от нормированного размера эффективного источника при $x_0 = 2$ (1, 4); 1 (2, 5); 0,25 км (3, 6). Класс устойчивости А – сплошные линии; В – штриховые. $z_0 = 2$ м, $H_e = 10$ м

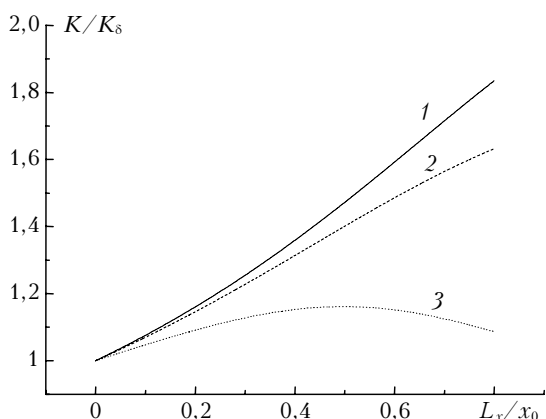


Рис. 5. Значение K/K_δ в зависимости от эффективной высоты выбросов $H_e = 5$ (1); 10 (2) и 20 м (3). $z_0 = 2$ м, $L_x/x_0 = 0,25$ км, класс устойчивости А

Заклучение

Итак, проведенные исследования показали, что метод эффективного виртуального источника при оценке суммарной мощности выброса распределенных эмиттеров имеет точность не хуже 50% при выполнении следующих условий:

- 1) Статистически обеспеченные измерения трассовой интегральной концентрации необходимо производить поперек ветра на расстояниях $x_0 \gg L_x$; высота измерений z_0 особой роли не играет.
- 2) Линейные размеры зоны эффективного источника необходимо выбирать так, чтобы не допускать сгущения реальных локальных источников вблизи передней $x = L_x$ или задней $x = 0$ границ зоны.
- 3) Желательно (но не обязательно, см. рис. 3), чтобы величины мощности реальных источников внутри выбранной области $L_x \times L_y$ оказались примерно

равными. Величина стандартного отклонения мощностей источников, найденная в результате предварительной оценки конкретной ситуации, при этом должна иметь значение, не превышающее среднюю мощность по ансамблю источников.

В заключение сформулируем примерный порядок действий при расчете суммарной мощности выброса по методике эффективного источника.

1. Предварительная оценка на местности пространственной конфигурации и мощности индивидуальных источников выбросов; определение эффективной площадки выбросов (L_x, L_y), выбор высоты z_0 и дистанции x_0 проведения трассовых измерений концентрации.

2. Проведение метеоизмерений; определение скорости ветра на нужном уровне с помощью измерений на этом уровне или путем расчета по измерениям на других уровнях с использованием формул для вертикального профиля скорости ветра [9, 12].

3. Определение турбулентного состояния атмосферы (классов устойчивости) для конкретных условий с помощью соответствующих измеренных или визуально полученных параметров (скорость ветра, инсоляция, облачность) [9].

4. Определение эффективной высоты выброса H_e с помощью выражений для подъема шлейфа с учетом скорости истечения, плотности и температуры выбросов [11, 13].

5. Определение коэффициентов турбулентной диффузии $\sigma_y(x), \sigma_z(x)$ на заданном расстоянии из графиков или формул (сигма-кривые Пэксвилла–Гиффорда) в соответствии с выбранной моделью атмосферной диффузии [11, 14].

6. Проведение статистически усредненных трассовых измерений интегральной концентрации примеси $C_{Y_0}(x_0, z_0)$; расчет коэффициента $K(x_0, z_0)$ и определение суммарной мощности выбросов по выражению (5).

1. *Seibert P.* Inverse modeling with a Lagrangian particle dispersion model: application to point releases over limited time intervals // Gryning S.E., Schiermeier O. (Eds.). Air Pollution Modeling and Its Application. XIV Plenum. New York, 2001. P. 381–389.
2. *Enting I.G.* Inverse problems in atmospheric constituent transport. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2002. 224 p.
3. *Марчук Г.И.* Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1982. 320 с.
4. *Сарманов С.Р., Десятков Б.М., Бородулин А.И., Котлярова С.С.* Определение параметров многоточечного источника аэрозольных примесей путем решения обратной задачи // Оптика атмосфер. и океана. 2000. Т. 13. № 9. С. 875–878.
5. *Penenko V., Baklanov A., Tsvetova E.* Methods of sensitivity theory and inverse modeling for estimation of source parameters // Future Generat. Comput. Syst. 2002. V. 18. N 5. P. 661–671.
6. *Byer R.L., Shepp L.A.* Two dimensional remote air-pollution via tomography // Opt. Lett. 1979. V. 4. N 3. P. 75–77.
7. *Todd L.A., Bhattacharyya R.* Tomographic reconstruction of air pollutants: evaluation of measurement geometries // Appl. Opt. 1997. V. 36. N 30. P. 7678–7688.

8. *Khemka A., Bouman C.A., Bell M.R.* Inverse problem in atmospheric dispersion with randomly scattered sensors // *Digital Signal Proc.* 2006. V. 16. P. 638–651.
9. *Атмосфера: Справочник.* Л.: Гидрометеониздат, 1991. 509 с.
10. *Берлянд М.Е.* Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеониздат, 1985. 272 с.
11. *Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей* / Под ред. Ф.Т.М. Ньюстада и Х. Ван Допа. Л.: Гидрометеониздат, 1985. 352 с.
12. *Irwin J.S.* A theoretical variation of the wind profile power-law exponent as a function of surface roughness and stability // *Atmos. Environ.* 1979. V. 13. N 1. P. 191–194.
13. *Израэль Ю.А., Петров В.Н., Северов Д.А.* Региональная модель переноса и выпадения радионуклеидов от аварии Чернобыльской АЭС // *Метеорол. и гидрол.* 1989. № 6. С. 5–13.
14. *Pasquill F.* The estimation of the dispersion of wind-borne material // *Meteorol. Mag.* 1961. V. 90. N 1. P. 33–49.

Yu.E. Geints, A.A. Zemlyanov. **Effective source technique for express-estimation of total power of a gas impurity emission in the atmosphere.**

The method of express estimation of total power of a gas impurity emitted in the atmosphere by a group of continuous point sources is presented. The method is based on the trace measurements of integral pollutant concentration and corresponding replacement of real group of sources by a virtual effective surface source that encompasses whole emission area. The Gaussian plume model is used to describe atmospheric dispersion of each independent source. The estimation of the relative error of the method depending on the dispersion between emission power of individual sources, the spatial configuration of sources within emitting area, the turbulent condition of atmosphere, and effective height of emissions is carried out.