

## Методика расчета предельно допустимых выбросов газов SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub>, с учетом частичной суммации их вредного действия

А.К. Соколов<sup>1</sup>, С.В. Беляев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», г. Иваново, Российская Федерация

<sup>2</sup>ФГБОУВПО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», г. Иваново, Российская Федерация  
E-mail: sokolov@bjd.ispu.ru

### Авторское резюме

**Состояние вопроса:** Величины предельно допустимых выбросов вредных веществ теплоэнергетических установок используются для нормирования и регулирования воздействий на окружающую среду и определения сумм платежей за ее загрязнение. Известна методика (ОНД-86) определения предельно допустимых выбросов веществ, обладающих суммацией вредного действия, в которой для оценки экологической безопасности используются суммы безразмерных концентраций. Новыми Гигиеническими нормами ГН 2.1.6.2326-08 установлено, что газы SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub> обладают частичной суммацией (однонаправленностью) вредного действия. Методики учета частичной суммации вредного действия газов SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub> в нормативных, методических документах и литературе не описаны. В связи с этим для новых условий учета опасности газов SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub> необходима разработка методики расчета предельно допустимых выбросов, учитывающей требования ГН 2.1.6.2326-08.

**Материалы и методы:** Формулы для расчета предельно допустимых выбросов газов SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub> получены на основе известной методики расчета концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе (ОНД-86). Достоверность предлагаемых формул доказана путем решения «прямой и обратной» задач расчета рассеивания выбросов в приземном слое воздуха.

**Результаты:** Получены формулы для расчета предельно допустимых выбросов газов SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub> с учетом частичной суммации их вредного действия согласно ГН 2.1.6.2326-08. Описана методика расчета предельно допустимых выбросов для каждого газа по приведенной («суммарной») величине предельно допустимых выбросов с учетом концентрации газов в выбросе. Приведен пример расчета предельно допустимых выбросов газов SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub>. Определены концентрации этих газов в приземном слое воздуха при расчетных значениях предельно допустимых выбросов газов SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub>. Проверено условие допустимости воздействия, установленное ГН 2.1.6.2326-08, которое было выполнено на пределе.

**Выводы:** Предложенную методику учета частичной суммации вредного действия газов SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub> при расчете их предельно допустимых выбросов и выполненную численную проверку полученных формул, доказавшую их достоверность, рекомендуется учесть в новых редакциях нормативных и методических документов.

**Ключевые слова:** предельно допустимый выброс, выбросы газов SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub>, частичная суммация вредного действия, допустимость воздействия.

## A method of calculation of maximum admissible SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> emissions accounting for partial summation of their harmful effects

A.K. Sokolov<sup>1</sup>, S.V. Belyayev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation

<sup>2</sup> Ivanovo Academy of Fire-Fighting of the State Fire Service of the Russian Emergency Ministry, Ivanovo, Russian Federation  
E-mail: sokolov@bjd.ispu.ru

### Abstract

**Background:** The values of maximum admissible emissions (MAE) of harmful substances of heat power units are used for regulation and management of environmental impacts and determining pollution payments. The well-known technique (OND-86) determining the MAE of substances with a summation of harmful effects uses sums of dimensionless concentrations for estimation of ecological safety. The new Hygienic Norms GN 2.1.6.2326-08 stipulate that SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> gases are characterized by partial summation (unidirectionality) of harmful effects. There is no description of the methods accounting for partial summation of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> harmful effects in the regulatory and guidance documents or literature. That is why implementation of the Hygienic Norms GN 2.1.6.2326-08 makes it necessary to develop a method of determining the maximum admissible SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> emissions.

**Materials and methods:** The formulas for calculating maximum admissible SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> emissions have been obtained based on the known method of calculating harmful substance concentration in the atmosphere (OND-86). The reliability of the suggested formulas has been proved by solving «direct and inverse» problems: calculation of pollutant dispersion in the surface air.

**Results:** Formulas have been obtained for calculating maximum admissible SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> emissions accounting for partial summation of their harmful action according to GN 2.1.6.2326-08. The paper describes a method of calculating maximum admissible emissions for each of the gases according to the reduced («total») value of such emissions accounting for gas concentration in the emission. The paper also contains an example of such calculations. Concentrations of these gases in the surface air have been determined for the design values of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> maximum admiss-

ible emissions. The authors have checked the condition of effect admissibility stipulated by GN 2.1.6.2326-08. The condition was fulfilled at its limit.

**Conclusions:** It is recommended that new editions of regulatory and guidance documents take into account the suggested calculation technique of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> harmful effect partial summation used to determine the maximum admissible emissions and the numerical reliability justification of the obtained formulas.

**Key words:** maximum admissible emission of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> gases, partial summation of harmful effects, admissibility of harmful effects.

**DOI:** 10.17588/2072-2672.2017.2.027-033

**Введение.** Теплоэнергетика входит в тройку отраслей, которые являются в России основными источниками загрязнения атмосферы. На долю ТЭС приходится около 46 % выбросов SO<sub>2</sub> и 70 % NO<sub>2</sub>. Например, выбросы вредных газов SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub> котла БКЗ-320, сжигающего Подмосковский уголь, составляют 1194 и 81,3 г/с соответственно.

В целях обеспечения экологической безопасности атмосферного воздуха параметры выбросов нормируются. Для нормирования выбросов используются следующие показатели: предельно допустимые концентрации (ПДК), предельно допустимые выбросы (ПДВ) и др. Величины ПДК установлены Гигиеническими нормами, утверждаемыми Правительством РФ, а величины ПДВ определяются экологическими службами ТЭС путем расчета, так как ПДВ зависят не только от ПДК, но и от фоновых концентраций веществ в приземном слое воздуха.

Предельно допустимый выброс (ПДВ) – это максимально допустимый расход вредного вещества в выбросе, при котором его приземная концентрация в совокупности с фоновым загрязнением и с учетом перспективы его роста не превысит ПДК для населения, растительного и животного мира.

Величина ПДВ устанавливается для каждого источника загрязнения атмосферы и по каждому вредному веществу.

ПДВ одного вещества определяют из условия допустимости воздействия:

$$c_m(M) + c_{\text{ф}} \leq \text{ПДК}, \quad (1)$$

где  $c_m(M)$  – зависимость максимальной приземной концентрации при неблагоприятных метеоусловиях от массового расхода  $M$  выбрасываемого вещества (выброса) из данного источника загрязнения атмосферы, г/с;  $c_{\text{ф}}$  – фоновая концентрация этого вещества от других источников загрязнения воздуха, мг/м<sup>3</sup>.

Значение  $M$ , при котором уравнение (1) превратится в тождество, будет равно ПДВ, т. е. предельному массовому расходу  $M_{\text{п}} = \text{ПДВ}$ . Таким методом определяются ПДВ (г/с), которые не должны превышать в любой 20-минутный интервал времени.

Кроме того, по каждому веществу устанавливают контрольные значения годовых ПДВ (т/год). Такие ПДВ используются в расчетах платежей за загрязнение окружающей сре-

ды. Значения ПДВ могут контролироваться службами Росприроднадзора в любой 20-минутный интервал времени, а также в среднем за сутки, месяц, год.

Расчет ПДВ производят по методам, описанным в нормативных документах<sup>1</sup>.

При одновременном совместном присутствии в атмосферном воздухе нескольких веществ, обладающих суммацией вредного действия, ПДВ рассчитывается с учетом суммы безразмерных концентраций.

Например, для двух веществ однопольного действия ПДВ рассчитывается по условию вида<sup>2</sup>

$$\frac{c_{m,1} + c_{\text{ф},1}}{\text{ПДК}_1} + \frac{c_{m,2} + c_{\text{ф},2}}{\text{ПДК}_2} \leq 1, \quad (2)$$

где  $c_{m,i}$  – максимальная разовая концентрация  $i$ -го вещества в приземном слое воздуха от оцениваемого источника выбросов;  $c_{\text{ф},i}$  – фоновая концентрация этого вещества;  $\text{ПДК}_i$  – разовая предельно допустимая концентрация вещества. Значения ПДК для загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест приведены в ГН 2.1.6.1338-03<sup>3</sup>.

В 2008 г. было введено в действие Дополнение № 4 к ГН 2.1.6.1338-03<sup>4</sup>. В Постановлении Главного государственного санитарного врача РФ от 4 февраля 2008 г. № 6 «Об утверждении гигиенических нормативов ГН 2.1.6.2326-08» указано: «С введением в действие гигиенических нормативов ГН 2.1.6.2326-08 считать утратившим силу ги-

<sup>1</sup> Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий: ОНД-86 / Госкомгидромет. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 92 с.; Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух (дополненное и переработанное) / ОАО «НИИ Атмосфера». – СПб., 2012. – 224 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.gosthelp.ru/text/Metodicheskoe\\_posobie\\_Metod2.html](http://www.gosthelp.ru/text/Metodicheskoe_posobie_Metod2.html).

<sup>2</sup> Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий: ОНД-86.

<sup>3</sup> ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9D\\_2.1.6.1338-03](http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9D_2.1.6.1338-03).

<sup>4</sup> ГН 2.1.6.2326-08 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест»: дополнение N 4 к ГН 2.1.6.1338-03 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://standartgost.ru/g/ГН\\_2.1.6.2326-08](http://standartgost.ru/g/ГН_2.1.6.2326-08).

гиенический норматив метантиола, установленный в ГН 2.1.6.1983-05\*\*... и коэффициент комбинированного действия, не превышающий 1 (единицу) для азота диоксида, серы диоксида, установленный в ГН 2.1.6.1338-03».

Таким образом, для газов SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub> было установлено, что они обладают лишь частичной суммацией (однонаправленностью) вредного действия, поэтому сумма их относительных концентраций не должна превышать 1,6:

$$\frac{C_{м,1} + C_{ф,1}}{ПДК_1} + \frac{C_{м,2} + C_{ф,2}}{ПДК_2} \leq 1,6. \quad (3)$$

Здесь и далее для упрощения описания принято, что величины с индексом 1 относятся к диоксиду серы SO<sub>2</sub>, а с индексом 2 – к диоксиду азота NO<sub>2</sub>.

Отметим, что ГН 2.1.6.2326-08 повышает уровень безопасного загрязнения атмосферного воздуха и разрешает ТЭС увеличивать выбросы газов SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub> без применения ограничительных мер, например повышенных ставок платежей за выбросы, превышающие ПДВ.

Известная методика расчета ПДВ газов SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub> и других вредных веществ<sup>5</sup> основана на условии допустимости воздействия вида (2). Методика расчета ПДВ для газов SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub> с учетом условия (3) даже в сравнительно новых нормативных документах<sup>6</sup> не приводится. В методиках<sup>7</sup> не указана процедура расчета ПДВ каждого из газов SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub>.

В [1] отмечается, что существуют особенности построения моделей формирования нормативов ПДВ загрязняющих веществ совместного гигиенического действия. Однако не указано, каким образом учесть эти особенности.

В [2] проведен анализ недостатков существующей системы нормирования выброса загрязняющих веществ в воздушный бассейн. Различия в подходах к оценке опасности на основе ПДК и ПДВ и оценке опасности на основе риска рассмотрены в [3].

В [4] отмечается, что для мониторинга состояния окружающей среды необходимы комплексное наблюдение за динамикой накопления данных о рассчитанных выбросах и сопоставление их с ПДВ, позволяющее проектировать возможные сценарии развития территории.

<sup>5</sup> Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий: ОНД-86.

<sup>6</sup> Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух (дополненное и переработанное).

<sup>7</sup> Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий: ОНД-86; Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух (дополненное и переработанное).

В выбросах теплоэнергетических установок, использующих в качестве топлива уголь или мазут, содержатся газы SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub>, поэтому определение для них ПДВ с учетом условия (3) является актуальной задачей.

**Методы исследования.** Аналитический метод расчета ПДВ газов SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub> с учетом частичной суммации их вредного действия (условие (3)) основывается на аналитических формулах нормативной инженерной методики расчета процесса рассеивания выбросов в атмосферном воздухе (ОНД-86).

При установлении ПДВ для одиночного источника выброса смеси постоянного состава веществ с суммирующимся вредным действием сначала определяется вспомогательное значение суммарного ПДВ = ПДВ<sub>с</sub>, приведенного к выбросу одного из веществ. Для этого в формулах используется ПДК данного вещества и суммарный фон с<sub>ф,с</sub>, приведенный к этому же веществу. Затем с учетом состава выбросов определяются ПДВ отдельных вредных веществ (см. п. 8.5.10<sup>8</sup>).

Для вывода формулы расчета суммарного ПДВ = ПДВ<sub>с</sub>, учитывающей условие (3), представим (3) в виде равенства, умножим его на ПДК<sub>1</sub> и получим

$$C_{м,1} + C_{ф,1} + C_{м,2} \frac{ПДК_1}{ПДК_2} + C_{ф,2} \frac{ПДК_1}{ПДК_2} = 1,6 \cdot ПДК_1. \quad (4)$$

С учетом известных выражений для приведенных концентраций<sup>9</sup>: максимальной разовой приземной концентрации вещества от рассматриваемого источника выбросов

$$C_{м,с} = C_{м,1} + C_{м,2} \frac{ПДК_1}{ПДК_2} \quad \text{и фоновой концентра-$$

$$\text{ции } C_{ф,с} = C_{ф,1} + C_{ф,2} \frac{ПДК_1}{ПДК_2}, \quad \text{выражение (4)}$$

преобразуем к виду

$$C_{м,с} + C_{ф,с} = 1,6 \cdot ПДК_1. \quad (5)$$

Величина максимальной приведенной («суммарной») концентрации с<sub>м,с</sub> рассчитывается по формуле<sup>10</sup>

$$C_{м,с} = \frac{A \times M_c \times F \times m \times n \times \eta}{H^2 \times \sqrt[3]{V_r \times \Delta T}}, \quad (6)$$

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации (расслоения) атмосферы; M<sub>с</sub> – суммарный (приведенный) выброс вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с; F – коэффициент, учитывающий скорость оседания веществ

<sup>8</sup> Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий: ОНД-86.

<sup>9</sup> Там же.

<sup>10</sup> Там же.

ва;  $m$  и  $n$  – коэффициенты, учитывающие условия выхода газов из устья источника;  $\eta$  – коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности (при перепаде высот менее 50 м на 1 км длины  $\eta = 1$ );  $H$  – высота источника выброса над уровнем земли, м (для наземных источников  $H = 2$  м);  $V_r$  – расход газов, м<sup>3</sup>/с;  $\Delta T$  – разность температур между температурой выбрасываемых газов  $T_r$  и температурой окружающего воздуха  $T_b$ , °С,  $\Delta T = T_r - T_b$ .

Методика определения параметров формулы (6) описана в нормативных документах<sup>11</sup>.

При подстановке выражения (6) в условие (4) можно получить выражение для определения выброса  $M_c$ , который и будет равен предельному приведенному («суммарному») ПДВ<sub>с</sub>:

$$\text{ПДВ}_c = \frac{(1,6 \times \text{ПДК}_1 - c_{\phi,c}) \times H^2}{A \times F \times m \times n \times \eta} \times \sqrt[3]{V_r \times \Delta T}. \quad (7)$$

(В данном случае использована одна из формул для расчета ПДВ<sub>с</sub> при  $f \leq 100$  и  $\Delta T > 0$ ,  $f$  – параметр процесса рассеивания веществ в атмосферном воздухе, определяемый по известным формулам<sup>12</sup>. При использовании формул для расчета ПДВ<sub>с</sub> при других условиях рассеивания выбросов суть методики не изменится.)

Значение ПДВ<sub>с</sub>, которое определится по формуле (6), – это предельный суммарный выброс (г/с) двух газов SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub>. Методика определения ПДВ каждого газа по ПДВ<sub>с</sub> предложена в [5].

Величины ПДВ каждого газа целесообразно связать с концентрациями веществ  $c_{в,i}$  в выбросах из устья трубы, которые в основном зависят от технологии сжигания топлива в парогенераторах (вида топлива, условий сжигания и т.п.) и сравнительно мало изменяются при увеличении или уменьшении массы выброса (производительности установки). Исходя из этого, можно допустить, что отношение концентраций веществ в выбросе  $c_b$  (в устье трубы) слабо зависит от массы выброса (г/с), поэтому можно принять

$$c_{в,i}(M_i) / c_{в,j}(M_j) = \text{пост.} \quad (8)$$

С учетом взаимосвязи предельных концентрации  $c_{в,n}$ , выброса  $M_n$  и расхода газов  $V_{r,n}$

$$\text{ПДВ}_n = M_n = c_{в,n} \cdot 10^{-3} \cdot V_{r,n} \quad (9)$$

установим зависимость между величинами ПДВ<sub>1</sub> и ПДВ<sub>2</sub>:

$$\text{ПДВ}_1 / \text{ПДВ}_2 = M_{n,1} / M_{n,2} = M_1 / M_2 = c_{в,1} / c_{в,2}, \quad (10)$$

где  $M_1$  и  $M_2$  – выбросы газов SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub> соответственно.

Искомые значения ПДВ<sub>1</sub> и ПДВ<sub>2</sub> по их известному приведенному расходу ПДВ<sub>с</sub> можно найти решением системы из двух уравнений:

- формулы (10) в виде

$$\text{ПДВ}_2 = \text{ПДВ}_1 M_1 / M_2; \quad (11)$$

- соотношения для приведенного выброса<sup>13</sup>

$$\text{ПДВ}_c = \text{ПДВ}_1 + \text{ПДВ}_2 \times \text{ПДК}_1 / \text{ПДК}_2. \quad (12)$$

Решением системы (11) и (12) получим следующие выражения для расчета ПДВ<sub>1</sub> и ПДВ<sub>2</sub>:

$$\text{ПДВ}_1 = \text{ПДВ}_c / (1 + (M_2 \times \text{ПДК}_1 / (M_1 \times \text{ПДК}_2))); \quad (13)$$

$$\text{ПДВ}_2 = (\text{ПДВ}_c - \text{ПДВ}_1) \times \text{ПДК}_2 / \text{ПДК}_1. \quad (14)$$

Формулы для определения ПДВ трех вредных веществ по их приведенному ПДВ можно получить решением системы уравнений (11), (12) и уравнения

$$\text{ПДВ}_3 = \text{ПДВ}_1 M_1 / M_3 \text{ или } \text{ПДВ}_2 = \text{ПДВ}_3 M_3 / M_2.$$

*Обратим внимание, что сумма ПДВ<sub>1</sub> и ПДВ<sub>2</sub> не будет равна ПДВ<sub>с</sub>, который является массовым расходом, приведенным к первому веществу, а не суммарным значением ПДВ<sub>1</sub> и ПДВ<sub>2</sub>.*

**Результаты исследования.** Рассмотрим пример расчета предельно допустимых выбросов для трубы котельной, из которой в атмосферу выбрасываются два вредных газа SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>. Исходные данные для расчета приведены в таблице.

#### Исходные данные для расчета ПДВ

Наименование	Обозначение	Единица измерения	Значение
Высота дымовой трубы	$H$	м	35
Коэффициент стратификации атмосферы	$A$		200
Коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности	$\eta$		1
Расход выбрасываемых продуктов сгорания	$V_r$	м <sup>3</sup> /с	10,8
Масса вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу:			
диоксида серы (SO <sub>2</sub> )	$M_{\text{SO}_2}$	г/с	4,4
диоксида азота (NO <sub>2</sub> )	$M_{\text{NO}_2}$	г/с	1,0
Диаметр устья трубы	$D$	м	1,4
Температура продуктов сгорания	$T_r$	°С	120
Температура окружающего воздуха	$T_b$	°С	20
Фоновые концентрации веществ:			
диоксида серы (SO <sub>2</sub> )	$c_{\phi}$	мг/м <sup>3</sup>	0,1
диоксида азота (NO <sub>2</sub> )	$c_{\phi}$	мг/м <sup>3</sup>	0,04
ПДК <sub>1</sub> диоксида серы (SO <sub>2</sub> )	ПДК <sub>1</sub>	мг/м <sup>3</sup>	0,5
ПДК <sub>2</sub> диоксида азота (NO <sub>2</sub> )	ПДК <sub>2</sub>	мг/м <sup>3</sup>	0,2

<sup>11</sup> Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий: ОНД-86.

<sup>12</sup> Там же.

<sup>13</sup> Там же.

Для газов  $SO_2$   $NO_2$  необходимо рассчитать приведенный суммарный выброс ПДВ<sub>с</sub> газов  $SO_2$ ,  $NO_2$ , так как их воздействие суммируется. Затем по ПДВ<sub>с</sub> определить ПДВ для каждого газа ( $SO_2$  и  $NO_2$ ) по формулам (13) и (14).

Для газов  $SO_2$  и  $NO_2$ , обладающих суммацией вредного действия, в расчете следует использовать суммарное значение фоновой концентрации  $c_{ф,с}$ , которое определим по формуле<sup>14</sup>

$$c_{ф,с} = c_{ф,1} + c_{ф,2} \times \frac{ПДК_1}{ПДК_2} = 0,1 + 0,04 \cdot 0,5/0,2 = 0,2 \text{ мг/м}^3.$$

Для расчета ПДВ<sub>с</sub> по (7) предварительно определим:

- среднюю скорость истечения газов из устья трубы по формуле

$$w_0 = w_0 = V_r / (0,785 \cdot D^2) = 10,8 \text{ (} 0,785 \times 1,4^2 \text{)} = 7,02 \text{ м/с;}$$

- разницу температур выбрасываемых газов  $T_r$  и окружающего воздуха  $T_b$

$$\Delta T = T_r - T_b = 120 - 20 = 100 \text{ К;}$$

- вспомогательные параметры  $f$ ,  $v_m$ ,  $v$ ,  $f_e$ <sup>15</sup>:

$$f = 1000 \times w_0^2 \times D / (H^2 \times 100) = 1000 \times 7,02^2 \times 1,4 / (35^2 \times 100) = 0,563;$$

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_r \cdot \Delta T}{H}} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{10,8 \cdot 100}{35}} = 2,04;$$

$$v = 1,3 \times \frac{w_0 \times D}{H} = 1,3 \cdot 7,02 \cdot 1,4 / 35 = 0,365;$$

$$f_e = 800 \cdot 0,365^3 = 38,8.$$

Коэффициент  $m$  при  $f < 100$  и  $f < f_e$  ( $0,563 < 38,8$ ) рассчитывается по формуле<sup>16</sup>

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} = \frac{1}{(0,67 + 0,1 \times \sqrt{0,563} + 0,34 \times \sqrt[3]{0,563})} = 0,975.$$

Коэффициент  $n$  определится по известной формуле равным  $n = 1,00$ , поскольку  $f < 100$  и  $v_m \geq 2$ .

Вычислим величину ПДВ<sub>с</sub> (г/с) для газов  $SO_2$  и  $NO_2$  по (7):

$$\begin{aligned} ПДВ_{с} &= \frac{(1,6 \cdot ПДК_{SO_2} - c_{ф,с}) \times H^2}{A \times F \times m \times n \times \eta} \times \sqrt[3]{V_r \times \Delta T} = \\ &= \frac{(1,6 \cdot 0,5 - 0,2) \times 35^2}{200 \times 1 \times 0,975 \times 1 \times 1} \times \sqrt[3]{10,8 \times 100} = 38,67. \end{aligned}$$

Рассчитаем ПДВ для газов  $SO_2$  и  $NO_2$  по (13), (14):

$$\begin{aligned} ПДВ_1 = ПДВ_{SO_2} &= ПДВ_{с} / (1 + (M_{NO_2} \times ПДК_{SO_2} / (M_{SO_2} \times \\ &\times ПДК_{NO_2}))) = 38,67 / (1 + (1 \times 0,5 / (14,4 \times 0,2))) = \\ &= 32,9 \text{ г/с,} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ПДВ_2 = ПДВ_{NO_2} &= (ПДВ_{с} - ПДВ_{SO_2}) \times ПДК_{NO_2} / (ПДК_{SO_2}) = \\ &= (38,67 - 32,9) \times 0,2 / (0,5) = 2,29 \text{ г/с.} \end{aligned}$$

При использовании условия (2) величины ПДВ<sub>с</sub>, ПДВ<sub>SO<sub>2</sub></sub> и ПДВ<sub>NO<sub>2</sub></sub> получились бы равными 19,335, 16,45 и 1,145 соответственно. Таким образом, для данного примера использование в ГН<sup>17</sup> условия (3) позволяет котельной в два раза увеличить значения ПДВ<sub>SO<sub>2</sub></sub> и ПДВ<sub>NO<sub>2</sub></sub>.

Для доказательства правильности предложенных формул проверим выполнение условия (3).

Рассчитаем максимальные концентрации  $c_m$  (мг/м<sup>3</sup>) газов  $SO_2$  и  $NO_2$  при  $M_{SO_2} = ПДВ_{SO_2} = 32,9$  и  $M_{NO_2} = ПДВ_{NO_2} = 2,29$  по формуле (6):

$$c_{m,SO_2} = \frac{200 \times 32,9 \times 1 \times 0,975 \times 1 \times 1}{35^2 \times \sqrt[3]{10,8 \times 100}} = 0,511$$

и по соотношению

$$\begin{aligned} c_{m,NO_2} &= c_{m,SO_2} \cdot ПДВ_{NO_2} / ПДВ_{SO_2} = \\ &= 0,511 \cdot 2,29 / 32,9 = 0,036 \text{ мг/м}^3. \end{aligned}$$

Проверим условие допустимости воздействия (3) для газов  $SO_2$  и  $NO_2$ :

$$\frac{c_{m,SO_2} + c_{ф,SO_2}}{ПДК_{SO_2}} + \frac{c_{m,NO_2} + c_{ф,NO_2}}{ПДК_{NO_2}} \leq 1,6,$$

$$\frac{0,511 + 0,1}{0,5} + \frac{0,036 + 0,04}{0,2} \leq 1,6, \text{ или}$$

$$1,22 + 0,38 \leq 1,6, \text{ или } 1,6 = 1,6.$$

Условие выполняется. Причем выполняется оно на пределе ( $1,6 = 1,6$ ). Это указывает на то, что найденные величины выбросов ПДВ<sub>SO<sub>2</sub></sub> = 32,9 и ПДВ<sub>NO<sub>2</sub></sub> = 2,29 г/с являются предельно допустимыми и рассчитаны верно, поскольку даже при небольшом их увеличении повысятся максимальные концентрации газов и условие допустимости воздействия газов выполняться не будет!

**Выводы.** Таким образом, предложенная методика позволяет правильно учесть частичную суммацию вредного действия газов  $SO_2$  и  $NO_2$  при расчете их предельно допустимых выбросов от ТЭС, ТЭЦ, котельных и других теплоэнергетических и промышленных объектов.

<sup>14</sup> Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий: ОНД-86.

<sup>15</sup> Там же.

<sup>16</sup> Там же.

<sup>17</sup> ГН 2.1.6.2326-08 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест»: дополнение N 4 к ГН 2.1.6.1338-03

Формулы можно применять и для других вредных веществ, обладающих частичной суммацией вредного действия. Причем вместо предельного значения суммы относительных концентраций газов 1,6 (см. условие (3)) в (5) и (7) может использоваться другое значение.

Предлагаемую методику рекомендуется включить в нормативные, методические документы и программные комплексы для расчета, нормирования и контроля выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, многочисленный список которых приведен в нормативных документах<sup>18</sup>.

В заключение отметим, что введенное для применения условие (3), по нашему мнению, не всегда достаточно корректно.

Для рассмотренного примера выполняется условие (3), но не выполняется условие экологической безопасности газа  $SO_2$   
 $C_{м,SO_2} + C_{ф,SO_2} \leq ПДК_{SO_2}$ , или  $0,511 + 0,1 \leq 0,5$ , или  $0,611 \leq 0,5$ .

Можно привести пример с другими концентрациями

$$C_{м,SO_2} + C_{ф,SO_2} = 0,1 \text{ мг/м}^3, \text{ ПДК}_{SO_2} = 0,5$$

$$\text{и } C_{м,NO_2} + C_{ф,NO_2} = 0,25 \text{ мг/м}^3, \text{ ПДК}_{NO_2} = 0,2,$$

при которых условие (3) также будет выполняться:

$$\frac{0,1}{0,5} + \frac{0,25}{0,2} \leq 1,6, \text{ или } 1,45 \leq 1,6,$$

но концентрация диоксида азота будет превышать его ПДК и условие экологической безопасности

$$C_{м,2} + C_{ф,2} \leq ПДК_2, \text{ или } 0,25 \leq 0,2,$$

выполняться не будет. Таким образом, условие (3) нуждается в уточнении. Анализ корректности условия (3) – это тема отдельного самостоятельного исследования.

#### Список литературы

1. Кобцева Н.Ю. Подход к решению задачи оптимизации нормативов ПДВ для группы природопользователей // Успехи в химии и химической технологии / Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева. – М., 2012. – Т. XXVI, № 10(139). – С. 82–86. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/podhod-k-resheniyu-zadachi-optimizatsii-normativov-pdv-dlya-gruppy-prirodopolzovateley>
2. Богатырев М.Ф., Богатырев А.М. Направления совершенствования нормирования выброса загрязняющих веществ в атмосферу // Экология и промышленность России. – 2012. – № 3. – С. 37–39.

3. Харченко С.Г., Дорохина Е.Ю. Экологическая безопасность: кризис продолжается // Экология и промышленность России. – 2016. – № 3. – С. 52–57.

4. Несговорова Н.П., Левашова А.А., Савельев В.Г. Оценка воздействия выбросов котельной №32 ЗАО «ГЛИНКИ» на окружающую среду // Вестник Курганского Государственного университета. Сер.: Естественные науки. – 2015. – № 4(38). – С. 63–68.

5. Соколов А.К. Экологическая экспертиза проектов: учеб. пособие / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2005. – 108 с.

#### References

1. Kobtseva, N.Yu. Podkhod k resheniyu zadachi optimizatsii normativov PDV dlya gruppy prirodopolzovateley [An approach to solving the problem of maximum admissible emission standards for a group of users of natural resources]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii*, 2012, vol. XXVI, no. 10(139), pp. 82–86. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/podhod-k-resheniyu-zadachi-optimizatsii-normativov-pdv-dlya-gruppy-prirodopolzovateley>.
2. Bogatyrev, M.F., Bogatyrev, A.M. Napravleniya sovershenstvovaniya normirovaniya vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosferu [Directions of improving regulations of pollutant emission into the atmosphere]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2012, No. 3, pp. 37–39.
3. Kharchenko, S.G., Dorokhina, E.Yu. Ekologicheskaya bezopasnost': krizis prodolzhaetsya [Environmental safety: the crisis is going on]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2016, no. 3, pp. 52–57.
4. Nesgovorova, N.P., Levashova, A.A., Savelyev, V.G. Otsenka vozdeystviya vybrosov kotel'noy No.32 ZAO «GLINKI» na okruzhayushchuyu sredu [Estimation of the emission effects of boiler plant No. 32 of ZAO «GLINKI» on the environment]. *Vestnik Kurganskogo Gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Estestvennyye nauki*, 2015. No. 4(38), pp. 63–68.
5. Sokolov, A.K. *Ekologicheskaya ekspertiza proektov* [Environmental expert evaluation of projects]. Ivanovo, 2005. 108 p.

<sup>18</sup> Перечень методик, используемых в 2014 году для расчета, нормирования и контроля выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Режим доступа: <http://www.aik-kr.ru/content/perechen-metodik-ispolzuemyh-v-2014-godu-dlya-rascheta-normirovaniya-i-kontrolya-vybrosov>.

*Соколов Анатолий Константинович*,  
ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
доктор технических наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности,  
телефон (4932) 26-99-37,  
e-mail: sokolov@bjd.ispu.ru  
*Sokolov Anatoly Konstantinovich*,  
Ivanovo State Power Engineering University,  
Doctor of Engineering Sciences (Postdoctoral degree), Professor of the Safety Engineering Department,  
telephone: (4932) 26-99-37,  
e-mail: sokolov@bjd.ispu.ru

Беляев Сергей Валерьевич,  
ФГБОУВПО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России»,  
кандидат химических наук, доцент, зав. кафедрой естественнонаучных дисциплин,  
телефон (4932) 93-08-00 доб. 408,  
e-mail: sergej\_belyaev@mail.ru  
Belyayev Sergei Valeryevich  
Ivanovo Academy of Fire-Fighting of the State Fire Service of the Russian Emergency Ministry,  
Candidate of Chemical Sciences (PhD), Associate Professor, Head of the Department of Sciences,  
telephone: (4932) 93-08-00, extension 408,  
e-mail: sergej\_belyaev@mail.ru