

## **АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ОРГАНИЗОВАННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ВЫБРОСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Н. В. Гуторова, О. И. Седяров**

*ФГБОУ ВО «Российский государственный университет  
им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»,  
г. Москва, Россия*

*Рецензент д-р техн. наук, профессор М. П. Тюрин*

**Ключевые слова:** алгоритм расчета; загрязнение атмосферы; интегральная оценка; научно-техническое нормирование; организованные источники выбросов; программный продукт; промышленные выбросы в атмосферу.

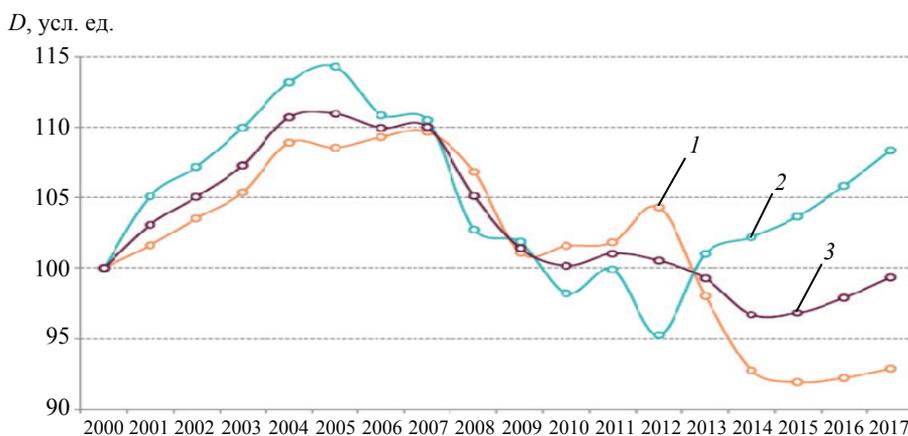
**Аннотация:** Обоснована необходимость разработки нового подхода к оценке негативного воздействия выбросов загрязняющих веществ промышленных предприятий на атмосферу. Предложен алгоритм расчета интегральной оценки степени загрязнения атмосферы организованными источниками выбросов промышленных предприятий. На базе предложенного алгоритма разработан специализированный программный продукт, усовершенствованный с учетом изменений в нормативно-правовой базе. Предложенный алгоритм и разработанный на его основе программный продукт могут стать действенными инструментами для лиц, принимающих решение при выборе оптимальных путей внедрения новых технологических приемов в уже существующую систему организации производственного процесса на промышленных предприятиях.

### **Введение**

Согласно [1], несмотря на общую динамику снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в Российской Федерации, с 2015 г. наблюдается увеличение объема выбросов загрязняющих веществ. Объем загрязняющих атмосферу веществ в 2017 г. увеличился на 1,5 %, что стало максимальным годовым приростом за последние 13 лет (рис. 1). В этой

---

Гуторова Наталья Васильевна – кандидат технических наук, доцент кафедры энергоресурсоэффективных технологий, промышленной экологии и безопасности, e-mail: natofromoz@gmail.com; Седяров Олег Иванович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой энергоресурсоэффективных технологий, промышленной экологии и безопасности, ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», г. Москва, Россия.



**Рис. 1. Динамика выбросов загрязняющих веществ  $D$  в атмосферу за 2000 – 2017 гг.:**  
 1 – от стационарных источников; 2 – от передвижных; 3 – всего

связи не теряет актуальности вопрос объективной оценки негативного воздействия выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в целях дальнейшего сравнения промышленных предприятий по степени их влияния на воздушную среду.

Известно, что для оценки воздействия промышленности на воздушную среду предлагается большое количество различных российских и зарубежных методик, которые имеют ряд достоинств и недостатков. Однако в Российской Федерации официально используется научно-техническое (экологическое) нормирование негативного влияния промышленных предприятий на атмосферу. Рассмотрев основные принципы научно-технического нормирования, можно установить, что система научно-технического нормирования не позволяет получать сопоставимые оценки воздействия деятельности промышленных предприятий на атмосферный воздух, не отличается гибкостью и не дает рекомендаций по организации технологического процесса, обеспечивающих благоприятную экологическую обстановку.

Данное утверждение послужило причиной необходимости разработки алгоритма расчета интегральной оценки степени загрязнения атмосферы организованными источниками промышленных предприятий, который бы позволил получать сопоставимую количественную оценку негативного воздействия конкретного промышленного предприятия на атмосферный воздух.

### Методы и материалы

В работе [2] для интегральной оценки загрязнения атмосферы  $i$ -м загрязняющим веществом предложен критерий  $G_i$  (1), который пропорционален суммарному уровню загрязнения  $i$ -м веществом, выбрасываемым из организованного источника.

$$G_i = \int_{x=-x_k}^{x=x_k} C_i(x) dx, \quad (1)$$

где  $x_k$  – конечное расстояние от источника выброса;  $C_i(x)$  – приземные концентрации загрязняющего вещества  $i$  в атмосфере на расстоянии  $x$  от источника выброса.

Данный критерий  $G_i$  зависит от величины расстояния от источника выброса  $x_k$ . Поэтому в выражении (1)  $x = x_k$  выбирали для каждого  $i$ -го вещества таким образом, чтобы  $C_i(x_k) \geq 0,1C_{i \max}(x)$ . При такой постановке задачи значение  $x_k$  для разных загрязняющих веществ, выбрасываемых из одного и того же источника, будет различным.

Таким образом, задача снижения степени загрязнения окружающей среды выбросами загрязняющих веществ в атмосферу из организованных источников сводится к снижению интегральной оценки загрязнения атмосферы  $G_i$ .

По физическому смыслу предложенный критерий  $G_i$  характеризует плотность загрязнения воздушного пространства в границах от  $-x_k$  до  $+x_k$ , то есть в зоне влияния промышленного предприятия. Можно предположить, что чем меньше  $G_i$ , тем меньше негативное воздействие выбросов в этих границах.

На предложенный алгоритм получено свидетельство о депонировании произведения за № 011-001076 от 29 июля 2011 г. «Алгоритм расчета интегральной оценки степени загрязнения атмосферы» [3]. С помощью разработанного алгоритма можно на стадии выбора площадки под строительство, а также при реконструкции и модернизации промышленных предприятий давать оценку экологической обстановке на предприятии, а также предлагать рекомендации по организации технологического процесса.

Необходимо отметить, что предложенный алгоритм оценивает воздействие одного или нескольких организованных источников предприятия, расположенных по одной оси, на загрязнение атмосферы, при этом не учитывая распределение концентраций загрязняющих веществ по осям  $y$  и  $z$ . Однако из существующей практики известно, что при проектировании промышленных предприятий обычно предусматривается большее количество источников выбросов, распределенных по производственной площади. Поэтому для оценки степени загрязнения атмосферы организованными источниками предприятий с учетом распределения концентраций в пространстве и расположения источников выбросов на базе предложенного алгоритма в работе [2] разработан специализированный программный продукт, реализованный с помощью современного объектно-ориентированного языка программирования Action-Script3. Данный программный продукт апробирован на ряде предприятий легкой промышленности – проведены расчеты обобщенной интегральной оценки степени загрязнения атмосферы организованными источниками выбросов обувного и мехового производства. Результаты расчетов подробно представлены в работе [2]. По результатам расчетов предложены рекомендации по организации технологического процесса, а также установлено, что объединение ряда близкорасположенных источников с одинаковой номенклатурой загрязняющих веществ может обеспечивать снижение нагрузки на атмосферный воздух на 5 – 20 %. При объединении ряда близко расположенных источников выбросов с одинаковой номенклатурой выбрасываемых

загрязняющих веществ значение интегральной оценки загрязнения атмосферы уменьшилось более чем на 20 % только за счет оптимизации организации системы воздухоудаления (без изменения параметров источников выбросов, таких как высота, диаметр, расход и т.д.).

Предложенный программный продукт включал два последовательных расчетных блока. Первый расчетный блок программного продукта основан на методике расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86), утвержденной Госкомгидрометом СССР 4 августа 1986 г. № 192 [4]. Однако приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 6 июня 2017 г. № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух» [5] методика ОНД-86 [4] признана неподлежащей к применению на территории Российской Федерации с 1 января 2018 г. Приказом [5] установлен новый механизм расчета концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Следует отметить, что данный нормативно-правовой документ внес несущественные изменения в методы расчета рассеивания загрязняющих веществ. Например, приказом предусмотрена возможность учета источников, температура которых составляет более 3000 °С, добавлена возможность учета загрязняющих веществ при скорости более скорости звука, изменен подход к расчету границ максимально разовых концентраций на разных высотах. Изменены расчеты рассеивания по коэффициенту стратификации атмосферы  $A$  и коэффициенту  $F$ , учитывающему гравитационное осаждение частиц и т.д., а также расчет, связанный с учетом рельефа местности.

## Результаты

Исходя из изменений в нормативно-правовой базе, скорректирован первый расчетный блок программного продукта. Отметим, что существенных различий в результатах расчетов концентраций загрязняющих веществ на расстоянии  $x_k$  по ранее действующей методике ОНД-86 [4] и вступившими в силу методами расчетов рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [5] не установлено.

Второй блок программного продукта по результатам расчетов скорректированного первого блока вычисляет критерий  $G_i$  по формуле (2)

$$G_i = \int_{x=-x_k}^{x=+x_k} \int_{y=-y_k}^{y=+y_k} \int_{z=-z_k}^{z=+z_k} C_i(x, y, z) dx dy dz. \quad (2)$$

Концентрации загрязняющих веществ рассчитываются до  $C_i(x, y, z) \geq 0,1 C_{i \max}$ . Зависимость  $G_i = \varphi(C_i(x, y, z))$  получается численным интегрированием зависимости  $C_i = C_i(x, y, z)$  при разных значениях  $x = \pm x_k$ ,  $y = \pm y_k$ ,  $z = \pm z_k$  методом  $n$ -мерных параллелепипедов.

На основе результатов расчетов критерия  $G_i$  (2) программный продукт вычисляет обобщенную интегральную оценку загрязнения атмосферы

$$G = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n G_{ij}, \quad (3)$$

где  $m$  – число организованных источников выбросов;  $n$  – число загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу через  $j$ -й источник выбросов.

В дальнейшем предполагается апробация данного алгоритма и разработанного на его базе программного продукта на ряде промышленных предприятий в целях их сравнения по степени негативного воздействия на атмосферный воздух и подготовки рекомендаций по его уменьшению.

### Заключение

Доработанный в связи с вступлением в силу приказа об отмене методики ОНД-86 алгоритм расчета интегральной оценки загрязнения атмосферы организованными источниками выбросов промышленных предприятий позволяет проводить оценку эффективности как природоохранных мероприятий, так и мероприятий, связанных с изменениями технологического процесса производства. Предложенный алгоритм и разработанный на его основе программный продукт могут стать действенными инструментами для лиц, принимающих решение, при выборе оптимальных путей внедрения новых технологических приемов в уже существующую систему организации производственного процесса на промышленных предприятиях.

#### Список литературы

1. Экология и экономика: рост загрязнения атмосферы страны. – Текст : электронный / Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики // Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. – Июль 2018. – Выпуск № 39. – 19 с. – URL : <http://ac.gov.ru/files/publication/a/17409.pdf/> (дата обращения: 09.01.2020).
2. Гуторова, Н. В. Оценка и моделирование экологической обстановки на предприятиях легкой промышленности : дис. ... канд. техн. наук : 05.19.05 / Наталья Васильевна Гуторова. – М., 2011. – 169 с.
3. Алгоритм расчета интегральной оценки степени загрязнения атмосферы / Н. В. Гуторова, А. В. Артемов, О. И. Седляров, О. Г. Любская, А. А. Григорьев. – Зарег. в базе данных (реестре) РАО КОПИРУС 29.07.2011, № 011-001076.
4. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ содержащихся в выбросах предприятий. – Взамен СН 369-74 ; введ. 1987-01-01. – Л. : Гидрометеиздат, 1987. – 92 с. (Не подлежит применению).
5. Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух : приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 06.06.2017 г. № 273. – Текст : электронный // Гарант. – URL : <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71642906/> (дата обращения: 09.01.2020).

#### References

1. <http://ac.gov.ru/files/publication/a/17409.pdf/> (accessed 09 January 2020).
2. Gutorova N.V. *PhD Dissertation (Technical)*, Moscow, 2011, 169 p. (In Russ.)
3. Gutorova N.V., Artemov A.V., Sedlyarov O.I., Lyubskaya O.G., Grigor'yev A.A. *Algorithm rascheta integral'noy otsenki stepeni zagryazneniya atmosfery* [Algorithm for calculating the integral assessment of the degree of air pollution], Russian Federation, 2011, Database (registry) of RAO KOPIRUS, № 011-001076 (In Russ.)

4. OND-86. *Metodika rascheta kontsentratsiy v atmosfernom vozdukh vrednykh veshchestv soderzhashchikhsya v vybrosakh predpriyatij* [OND-86. Methodology for calculating atmospheric concentrations of harmful substances contained in enterprise emissions], Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987, 92 p. (In Russ.)

5. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71642906/> (accessed 09 January 2020).

---

### **An Algorithm for the Integral Assessment of Air Pollution by Emissions from Industrial Enterprises**

**N. V. Gutorova, O. I. Sedlyarov**

*A. N. Kosygin Russian State University (Technology. Design. Art),  
Moscow, Russia*

**Keywords:** calculation algorithm; air pollution; integral assessment; scientific and technical rationing; organized sources of emissions; software; industrial emissions into the atmosphere.

**Abstract:** The necessity of developing a new approach to assessing the negative impact of emissions of polluting substances of industrial enterprises on the atmosphere is substantiated. An algorithm is proposed for the integral assessment of the degree of air pollution by organized sources of industrial emissions. On the basis of the proposed algorithm, a specialized software product has been developed, improved taking into account changes in the regulatory framework. The proposed algorithm and the software product developed on its basis can become effective tools for decision makers when choosing the best ways to introduce new technological methods into the existing system of organizing the production process at industrial enterprises.

---

© Н. В. Гуторова, О. И. Седляров, 2020