



УДК 001.892:001.6

К. Н. Войнов, Т. Наср, А. В. Белили, Я. Гхеллаб, А. Хилдаяти  
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО)

## Результаты метрологического контроля газовыделений и их компьютерная обработка

*Проблема борьбы с загрязнениями среды обитания вредными газами, исходящими из выхлопных труб автомобилей и труб промышленных предприятий, является чрезвычайно важной. Поэтому любые технические решения даже по частичному уменьшению величины или объема канцерогенности выделений в воздух заслуживают внимания и внедрения. Это не только сохраняет природу, но и здоровье человека. Авторами описаны проведенные новые решения, позволяющие в значительной степени предотвращать подобные загрязнения воздуха. Кроме того, появилась возможность полностью предотвратить испаряемость годных к употреблению продуктов (например, бензина, керосина, спирта, лаков, ацетона и др.), которая приводит к бессмысленной потере ценных продуктов [1]–[3]. Одновременно представлен алгоритм обработки статистических данных, с помощью которого случайные резко выделяющиеся нехарактерные значения измерений отбрасываются из рассмотрения, что повышает точность математической аппроксимации результатов наблюдения [4].*

### Газы, среда обитания, технические решения, математический компьютерный анализ

Никакие фильтры, установленные в трубах промышленных предприятий, не могут спасти от опасных химических элементов и их соединений по разным причинам. Например, это происходит в следствие того, что:

- опасные микрочастицы свободно проходят через фильтры в атмосферу под напором потока горячего газа;

- более крупные и маслянистые частицы (типа сажи, копоти) забивают проходные сечения фильтров, препятствуя их нормальной работе;

- универсальных фильтров на все химические элементы или компоненты, которые присутствуют в газах, просто не существует, поэтому всегда какая-то часть канцерогенных веществ будет постоянно попадать в окружающую среду;

- горячие газы, вылетающие из труб заводов, фабрик, котельных и иных предприятий, увеличивают риск образования на Земле общего глобального потепления, что во многом негативно сказывается на изменении климата, активном таянии ледников, исчезновении зон вечной мерзлоты и пр.;

- газы, по мнению ученых, являются причиной образования озоновых дыр;

– наконец, огромный вред приносят также выхлопные газы автотранспорта, авиации, морских судов, специальной строительной и сельскохозяйственной техники.

Кроме того, все перечисленные факторы крайне негативно отражаются на здоровье людей, вызывая у них самые различные заболевания, сокращающие продолжительность жизни. Известно, что 2017 г. был объявлен годом экологии, но сколько-нибудь заметного прогресса по защите окружающей среды не произошло. В мире имеется большое количество городов и регионов, где экологическая ситуация близка к критической из-за попадания в атмосферу ядовитых веществ, содержащихся в газах. Это приводит к мысли, что трубы с фильтрами вообще не нужны [5]–[7]. Поэтому предлагаем следующее техническое решение.

Вместо высоких труб будем использовать насосы, которые будут откачивать выходящие газы и направлять их по трубопроводу в водный резервуар/бассейн. Эта система должна быть обустроена навесной крышей над водной поверхностью, чтобы в случае прорыва из воды испарения конденсировались вверху и в виде струек или ка-

пелек падали обратно в резервуар. Таким образом, замыкаем цикл очистки. Кроме того, в воде и/или на ее поверхности размещаем составы, которые будут вступать в реакцию с наиболее опасными химическими элементами, не растворяющимися в воде и стремящимися попасть в воздух. Химический состав таких нейтрализующих компонентов для газов может быть разным, соответствующим конкретному химическому составу обеззараживаемых газов. В результате происходящих химических реакций могут появляться тонущие или плавающие компоненты, образовываться щелочи или кислоты, но все они остаются в водном бассейне. Последний периодически нужно чистить и обеззараживать. Наконец, водную поверхность резервуара можно покрывать масляной пленкой или составами, которые не выпускают полностью (или в основном) канцерогенные газы в воздух.

Так как все имеет свой ограниченный технический ресурс нормальной эксплуатации, то в случае непрерывности работы предприятия необходимо иметь рядом с основным водным резервуаром другой резервуар, но меньшего объема и размера. Эти параметры следует согласовывать с длительностью очистки и нейтрализации загрязненного содержимого основного бассейна. Таким простым приемом обеспечивается сохранение непрерывности работы промышленного предприятия и защита среды обитания.

Теперь решим вопрос о защите атмосферы от выхлопных газов техники, двигателя которой работают на холостых режимах, т. е. в стационарных условиях (без движения и/или без совершения какой-то полезной работы). Эта ситуация возникает, например, в следующих случаях:

- при настройке/регулировке двигателей транспортных средств в лабораториях, гаражах, на станциях технического обслуживания, в боксах и пр.;
- ремонте моторов, работающих на бензиновом или дизельном топливе;
- обкаточных испытаниях техники на стендах;
- стационарных длительных ресурсных испытаниях.

На сегодняшний день была разработана технология проведения опытов, которая состояла в следующем:

- были приобретены груши для забора газов из выхлопных труб автомобилей;
- закуплены кюветы, заполняемые мерным количеством дистиллированной воды, химиче-

ский состав которой проверялся до попадания в нее выхлопных газов;

– подготовлены измерительные приборы Tensor-37FT-IR фирмы «Bruker Optik GmbH» с детектором DLaTGS и приставка MIRacle™-SingleReflectionHorizontalATRAccessory. Кроме того, был использован вакуумный спектроскан МАКС-GV с рентгеновской трубкой БХВ-17;

– после вдувания в дистиллированную воду выхлопных газов спектр химического состава воды проверялся с помощью указанных приборов.

В физической модели использовался резервуар, внутри которого в верхней части была закреплена газонепроницаемая пленка. При заполнении бензином сосуда, подаваемого под пленку, никаких испарений в воздух продукта не будет. Результаты анализа спектров обнаруженных соединений были в среднем лучше от 8 до 68 %, чем в газах, не пропущенных через воду. Процент качества очистки может быть усилен почти до 100 %, если использовать добавки из химических соединений/элементов, которые, вступая в реакции с химическим составом выхлопных газов, образуют нелетучие соединения.

Необходима обработка накопленных статистических данных, которая по специальной программе не только позволяет на компьютере получить уравнение нелинейной аппроксимации, но и проанализировать вопрос, а допустимо ли оставлять в математической обработке значение, которое кажется резко выделяющимся по отношению к другим, т. е. нехарактерным для всей совокупности. Если такое значение машина обнаруживает, то она, используя соответствующий критерий (например, Романовского, Груббса или Ирвина [8]–[11]), автоматически исключает его из вычислений. Покажем это на следующем условном примере, используя MathCAD (рис. 1–3) [12]–[16].

**Пример 1.** Обработка данных при отсутствии резко выделяющихся данных, где  $i = 1...4$ ;  $n = 4$ ;

$$h = 5; \quad L_1 = 0; \quad L_n = 15; \quad L_0 = \frac{L_1 + L_n}{2} = 7.5; \quad H_2 = n(n^2 - 1) \frac{n^2 - 4}{180} = 4; \quad H_1 = n \frac{n^2 - 1}{12} = 5; \quad T_0 = \sum_i \frac{T_i}{n} = 15; \quad K_i = a \frac{(L_i - L_0)}{h^2} + b \frac{L_i - L_0}{h} + c, \quad a = \frac{1}{12H_2} \left[ 3 \left[ \sum_i [T_i (2i - n - 1)^2] \right] - (n^2 - 1) \left( \sum_i T_i \right) \right] =$$

$$= 6, \quad b = \frac{1}{12H_2} \left[ \sum_i [T_i(2i-n-1)] \right] = -13.2; \quad c =$$

$$T_0 - \frac{H_1 a}{n} = 7.5, \text{ где } i - \text{индексная переменная; } n -$$

число точек наблюдения, например, за объемом выходящего из трубы канцерогенного газа;  $h$  – шаг наблюдения, например, минуты работы объекта;  $T_i$  и  $K_i$  – загрязнения воздуха у выхлопной трубы опытное и теоретически описанное соответственно, %;  $L_i$  – время работы двигателя, мин;  $H_1$  и  $H_2$  – константы.

Итоговые результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

$L_i$ , мин	$T_i$ , %	$K_i$ , %
0	41	40.8
5	15	15.6
10	3	2.4
15	1	1.2

На рис. 1 показана зависимость степени загрязнения среды по оси ординат от времени работы двигателя по оси абсцисс.

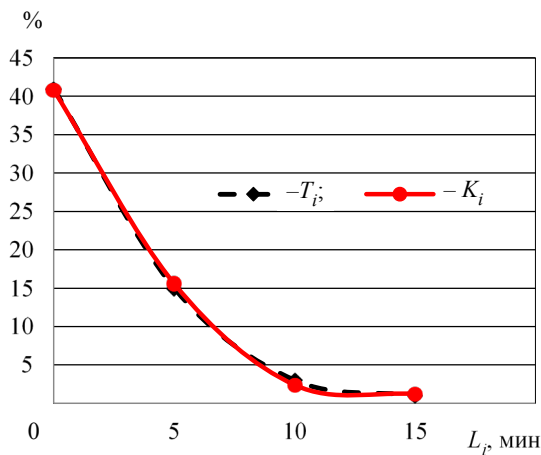


Рис. 1

**Пример 2.** Результаты обработки данных с наличием случайного выброса с концентрацией 95 %; обозначения по оси ординат аналогичны рис. 1, где  $i=1...4$ ;  $n=4$ ;  $h=5$ ;  $L_1=0$ ;  $L_n=15$ ;

$$L_0 = \frac{L_1 + L_n}{2} = 7.5; \quad H_2 = n(n^2 - 1) \frac{n^2 - 4}{180} = 4; \quad H_1 = 5;$$

$$T_0 = 28.5; \quad K_i = a \frac{L_i - L_0}{h^2} + b \frac{L_i - L_0}{h} + c; \quad a = 36.375; \quad b = -29.4; \quad c = 21.$$

Итоговые результаты приведены в табл. 2 и на рис. 2.

Таблица 2

$L_i$ , мин	$T_i$ , %	$K_i$ , %
0	95	146.944
5	15	44.794
10	3	15.394
15	1	58.744

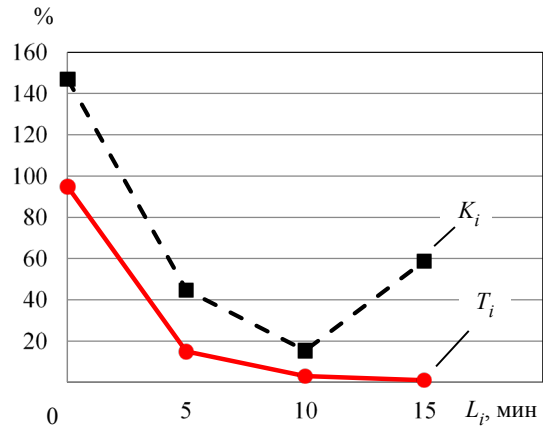


Рис. 2

На рис. 3 и в табл. 3 показана допустимая погрешность 3 % – выполняется, если первое значение статистики будет равно 41.704, а не 95 %.

Таблица 3

$L_i$ , мин	$T_i$ , %	$K_i$ , %
0	41	41.704
5	15	15.849
10	3	2.511
15	1	1.69

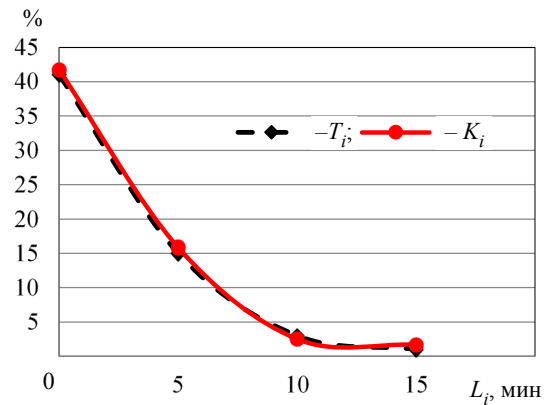


Рис. 3

Компьютерный расчет по написанной программе показывает, что только при значении  $T_i = 41.704$  вместо 95 отклонение этого значения не превысит расхождение в 3 % (рис. 3, где по оси абсцисс отложено время работы двигателя [мин]). При пуске загрязнение/загазованность значительно выше, что показывают как визуальные наблюдения, так и газовые спектры. Этот факт подтверждается в полной мере при начале работы

моторов как на бензине, так и на дизельном топливе. Причем загазованность и загрязненность среды обитания при работе двигателей на дизельном топливе значительно выше, чем на бензине (практика показывает превышение до 10 раз). Следовательно, в перспективе для защиты экологии, в частности воздушного бассейна, необходимо максимально быстро переходить либо на работу моторов на очищенном высокооктановом бензиновом топливе, либо разрабатывать и внедрять альтернативные источники (например, солнечные батареи или газ).

Предложена схема защиты среды обитания с использованием специального оборудования в виде водного резервуара с крышей над поверхностью воды и применением необходимых компонентов в качестве добавок в воду для нейтрализации или препятствия испарению канцерогенных составов газов. Это выгодно отличает новый метод от известных методов защиты среды обитания от раз-

личных газов. Спектральный анализ воздуха при пропускании газов через воду подтвердил эффективность метода для его практического внедрения.

Рационален также подход к полному предотвращению испарений продуктов (годных к использованию или вредных к вдыханию) с их открытых поверхностей, т. е. не находящихся в герметичной таре.

Изложен алгоритм анализа статистических данных в оболочке MathCAD, для выяснения того, что какое-то измерение случайной величины может оказаться нехарактерным, т. е. случайным выбросом, что позволяет исключать его из общей сводки наблюдений, повышая точность расчета. Это весьма важный момент в обработке статистических данных, так как случайные и нехарактерные для работы объекта/системы величины могут весьма существенно исказить данные наблюдений и привести к неверным выводам о надежности работы изделия в эксплуатации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. № 2604816. Способ комплексной очистки воздушного бассейна от производственных отходов/выбросов из труб / К. Н. Войнов; зарег. в Гос. реестре изобретений РФ 22 нояб. 2016 г.; патент обл. К. Н. Войнов. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/260/2604816.htm>.
2. Войнов К. Н., Гхеллаб Я., Васильев В. А. Методика технической диагностики окружающей среды в условиях ее загрязнения автомобильными газами // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер. Естественные и технические науки. 2018. № 1. С. 11–14.
3. Войнов К. Н., Хилдаяти А., Гхеллаб Я. Обеспечение надежной комплексной защиты среды обитания от канцерогенных газов // Надежность. 2018. Т. 18, № 2. С. 46–49.
4. Нелинейные варианты анализа статистических данных / К. Н. Войнов, Т. А. Наср, А. Хилдаяти, Я. Гхеллаб // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2018. № 2. С. 67–72.
5. Трибология: Международная энциклопедия. Т. XII: Особенности работы трибосопряжений в специфических условиях / под общ. ред. д. т. н., проф., акад. К. Н. Войнова. СПб.: Нестор-История, 2017.
6. Носков А. С., Пай З. П. Технологические методы защиты атмосферы от вредных выбросов на предприятиях энергетики: аналитический обзор / СО РАН ГПНТБ, Ин-т катализа им. К. Г. Борескова; отв. ред. чл.-кор. РАН В. Н. Пармон. Новосибирск, 1996. 156 с.
7. Новый подход к уменьшению загрязнения воздушного пространства / К. Н. Войнов, В. А. Васи-

- льев, А. Hildayati, Y. Ghellab // Трибология: Международная энциклопедия по трибологии. Т. XII: Особенности работы трибосопряжений в специфических условиях / под общ. ред. д. т. н., проф., акад. К. Н. Войнова. СПб.: Нестор-История, 2017. С. 130–133.
8. Румшицкий Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента. М.: Наука, 1971. 192 с.
9. Длин А. М. Математическая статистика в технике. М.: Сов. наука, 1958. 466 с.
10. Романовский В. И. Применения математической статистики в опытном деле. М.–Л.: ОГИЗ Гостехиздат, 1947. 248 с.
11. Гмурман В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. М.: Высш. шк., 1979. 400 с.
12. Дьяконов В. MathCad 8/2000. Специальный справ. СПб., М., Харьков, Минск: ПИТЕР, 2001. 592.
13. Плис А. И., Сливина Н. А. MATHCAD 2000 Математический практикум для экономистов и инженеров. М.: Финансы и статистика, 2000. 656 с.
14. Кирьянов Д. Самоучитель MathCAD 2001. СПб.: БХВ-Петербург, 2001. 544 с.
15. Очков В. Ф. Mathcad PLUS 6.0 для студентов и инженеров. М.: КомпьютерПресс, 1996. 238 с.
16. Ивановский Р. И. Компьютерные технологии в науке: практика применения систем MathCAD 7.0, MathCAD 8.0 Pro и MathCAD 2000 Pro: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. 200 с.

K. N. Voinov, T. Nasr, A. W. Belili, Ya. Ghellab, A. Hildayati  
*Saint Petersburg National Research University of Information Technologies,  
Mechanics and Optics (ITMO University)*

## THE METROLOGICAL CONTROL OF GAS EMISSION AND ITS COMPUTER ANALYSIS

*Control of air pollution by harmful gases emitted from transport and industrial factories is very important for the environment. Hence, any technical solutions on decreasing the amount of carcinogenic emissions in the air are in a very high demand. That saves both nature and human health. The article describes new solutions, which allow to prevent significantly such air pollutions. Moreover, there are some new methods of preventing the valid products (such as fuel or petrol) from evaporating. In addition a new algorithm of processing the statistical data is introduced, which helps to delete random uncharacteristic measurement results from the obtained data. This helps to increase the accuracy of mathematical approximation of the observation results.*

**Gases, habitat, technical solutions, mathematical computer analysis**

---