

Прогнозирование загрязнения воздуха отработавшими газами двигателей судов и автотранспорта



В. Н. Ложкин,
д.т.н., профессор кафедры
пожарной, аварийно-
спасательной техники
и автомобильного
хозяйства Санкт-
Петербургского
университета
ГПС МЧС России



О. В. Ложкина,
к.х.н., доцент кафедры
физико-химических
основ процессов
горения и тушения
Санкт-Петербургского
университета
ГПС МЧС России

В статье впервые представлены результаты экспериментально-расчетного исследования опасного загрязнения атмосферного воздуха на уровне дыхания человека выбросами с отработавшими газами вредных (загрязняющих) веществ CO, NO_x и PM двигателей автомобилей и речных судов в зоне их совместной эксплуатации в акватории Большого Обуховского моста Санкт-Петербурга при неблагоприятных транспортных и метеорологических условиях.

Согласно Федеральному закону РФ № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» от 4 мая 1999 г. и директиве 96/62/ЕС в Санкт-Петербурге осуществляется контроль качественного состояния воздушной среды на основе экспериментальных и расчетных методов [1, 2].

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России» совместно с АО «НИИ „Атмосфера“», ГГО им. А. И. Воейкова [3], ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова» [4, 5] при поддержке Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности правительства Санкт-Петербурга проводят экспериментально-расчетные исследования прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха на границах санитарно-защитных зон, в районах морских и речных портов, в окрестностях судоходных путей, а также в зонах совместного влияния автомобильного транспорта и речных судов [1–7].

Одна из таких потенциально критических зон – акватория Большого Обуховского моста, по которому прохо-

дит КАД Санкт-Петербурга, самая оживленная автомагистраль города. Вблизи моста расположены Невский грузовой причал и пассажирский терминал речного порта (рис. 1).

В часы пик при неблагоприятных метеорологических условиях в окрестности вантового перехода через реку Нева вероятно ожидать сверхнормативное загрязнение пограничной атмосферно-водной акватории опасными для здоровья химическими веществами: частицами ПМ₁₀, ПМ_{2,5}, NO₂, SO₂, бензо(α)пиреном, формальдегидом и др., отработавших газов двигателей автомобильного и речного транспорта [1–3, 6, 7].

В климатологии и метеорологии к неблагоприятным относят такие погодные условия, при которых затрудняется рассеивание загрязняющих газообразных веществ в атмосфере при слабом ветре (штиле) и температурных инверсиях [3]. Ранее сотрудники ГГО им. А. И. Воейкова и АО «НИИ „Атмосфера“» установили, что частота закономерно повторяемых в течение года неблагоприятных метеорологических условий в Санкт-Петербурге имеет тенденцию роста. Географы, метеорологи и климатологи связывают учащение аномальных состояний атмосферы с общими изменениями климата на планете в результате активной антропогенной деятельности [2].

Методология, объекты исследования и расчетные сценарии

Методология исследования разработана нами в рамках химических транспортных моделей, представляющих сегодня один из наиболее бурно разви-



Рис. 1. Загрязнение воздуха речными судами и автотранспортом в акватории Большого Обуховского моста Санкт-Петербурга, август 2016 г.

Таблица 1. Удельные выбросы судовых дизельных двигателей

Проект судна	Тип двигателя	Мощность двигателя, кВт	Дымность ОГ, %	Удельные выбросы, г/с, при режиме работы Ре/Рен							
				25 %		50 %		75 %		100 %	
				NO _x	CO	NO _x	CO	NO _x	CO	NO _x	CO
588	6NVD48	294	6,0–18,0	11,11	2,61	2,07	0,46	1,27	0,22	–	–
301, 302	6ЧРН36/45 (ЭГ70-5)	742		–	–	3,00	0	2,66	0	2,10	1,22
92-016	6ЧРН 36/45 (ЭГ70-5)	742	0–13	–	–	2,93	0	2,37	0,14	2,04	0,60
342Э	12ЧНС18/20	992	20–30	6,92	0,80	6,59	0,41	5,51	0,88	4,57	1,40

вающихся разделов современной метеорологии, физики и химии атмосферы. Достигнутый прорыв в моделировании процессов переноса и физико-химической трансформации атмосферных примесей обусловлен, прежде всего, интенсивным развитием таких наук, как физика и химия атмосферы, прогрессом вычислительной математики, бурным ростом производительности и мощности современных вычислительных платформ, а также успехами в создании и внедрении мезомасштабных, региональных и глобальных моделей численного прогнозирования чрезвычайных ситуаций антропогенной природы [1–4].

В основу модели положено численное решение системы уравнений атмосферной диффузии; каждое уравнение записывается для концентрации одной из анализируемых опасных примесей. С целью сокращения и упрощения формул здесь приведено уравнение для концентрации только одной примеси. Для упрощения уравнения записываются в декартовой системе координат с осью *z*, направленной по вертикали, и компоненты скорости ветра удовлетворяют уравнению неразрывности, в котором пренебрегается зависимостью плотности от координат. Эти упрощения, а также ряд других, не оговариваемых в настоящей статье [2, 4–7], относятся только к способу представления информации, поскольку в использованной нами математической модели не все из них реализованы. Приведем уравнение

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \sum_{i=1}^3 (u_i + w_g k_{ji}) \frac{\partial q}{\partial x_i} = \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} K_i \frac{\partial q}{\partial x_i} - aq + S, \quad (1)$$

где *q* – концентрация;

u_i и *K_i* – соответственно, компоненты средней скорости ветра и коэффициента турбулентной диффузии вдоль декартовых координатных осей *x_i*;

w_g – скорость гравитационного оседания примеси (отлична от нуля в случае переноса частиц); *k_{ji}* – символ Кронекера, равный 1 при совпадении индексов и нулю при их несовпадении;

α – коэффициент для учета метаболизма веществ;

S – член, с помощью которого учитываются влияние источников и стоков примесей, их химическая (в том числе фотохимическая) трансформация и др. [1, 3, 4].

Используя такой подход математического моделирования турбулентной диффузии, который сегодня называют *K*-теорией [3], совместно с обоснованными упрощениями [2, 5–7] стилизации и эмпирическими уточнениями, можно оценить значения наибольшей суммарной концентрации вредной примеси из состава отработавших газов *C_M* (мг/м³):

$$C_M = \frac{AMFm'}{H^{7/3}}, \quad (2)$$

где *A* – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы;

M – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени (г/с), в случае транспортного потока – масса вещества, выбрасываемого группой судов или автомобилей;

F – безразмерный коэффициент для учета скорости гравитационного оседания твердых и смолистых частиц ПМ₁₀, ПМ_{2,5} (сажи, пыли и другого аэрозоля) в атмосферном воздухе на волную поверхность, в случае расчета рассеивания в атмосфере частиц при работе двигателей передвижных транспортных средств рекомендуется принимать *F* = 1;

m' – безразмерный коэффициент, равный 0,9;

h – безразмерный коэффициент для учета влияния рельефа местности, в случае ровной водной или слабопересеченной местности береговой полосы с перепадом высот, не превышающим 50 м на 1 км, *h* = 1;

H – высота дымовых труб судов (фальш-труб) или автомагистралей как неорганизованных источников выбросов отработавших газов над уровнем воды или береговой полосы земли, м.

Отметим, что указанные значения устанавливаются на определенном расстоянии (*X_{нi}*) от транспортных источников загрязнения воздушной среды в исследуемой акватории вантового моста.

Таким образом, транспортные потоки судов и автомобилей произвольных геометрической конфигурации и распределения по интенсивности движения могут быть представлены (стилизованы) в виде совокупности точечных (отдельное судно или автомобиль), пло-

щадных (порт, морской или речной вокзал, причал и т. п.), линейных (судовой поток, автомагистраль) источников выбросов отработавших газов двигателей.

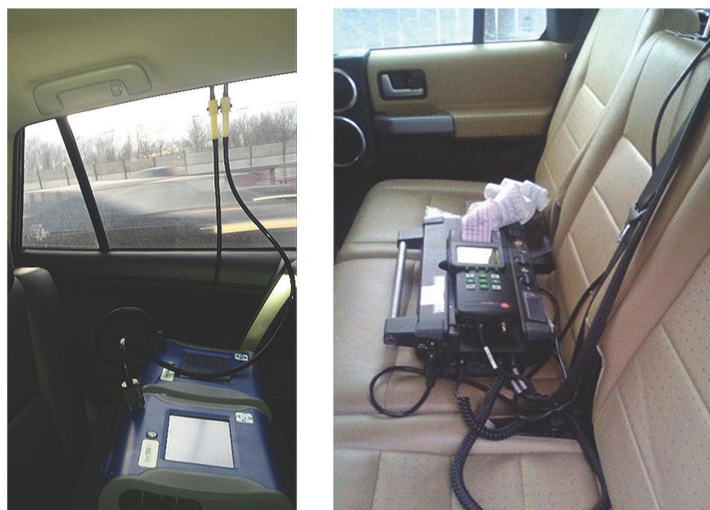
В численных исследованиях загрязнения воздуха применены «Методика для определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов» (Санкт-Петербург, АО «НИИ „Атмосфера“», 2010), разработанная с нашим участием и впервые актуализированная нами в 2016 г. в рамках указанной в статье задачи [6, 7], а также «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86». Расчеты были выполнены с помощью программного обеспечения «Магистраль» и «Эколог» НПФ «Интеграл».

В качестве исходных условий для моделирования рассматривали два сценария с учетом реального движения судов в акватории Большого Обуховского моста и интенсивности движения автотранспорта на мосту. По первому сценарию на причале пассажирского порта в Уткиной заводи на стоянке одновременно находились три теплохода (проектов 588, 92-016 и 301) с работающими вспомогательными двигателями и котлами. По второму сценарию эти же теплоходы готовились к отправке в рейс с работающими вспомогательными и основными двигателями, а по реке Неве двигался теплоход «Метеор», оснащенный дизельным двигателем типа 342Э.

Значения удельных выбросов дизельных судовых установок, приведенные в работе [2], были переведены из единицы измерения г/кВтч в единицу измерения г/с по формуле, предложенной в ГОСТ Р 56163-2014 (табл. 1). Современный российский речной флот, в отличие от автомобильного транспорта, отличается значительный возраст эксплуатируемых судов. Трехпалубные пассажирские теплоходы

Таблица 2. Удельные выбросы автомобилей (г/с)

Категория АТС	Удельные выбросы, г/с				
	CO	NO _x	CH	Сажа	SO ₂
Легковые	0,10	0,025	0,022	5,2·10 ⁻⁶	4,2·10 ⁻⁴
ЛКТ < 3,5 т	0,23	0,058	0,067	2,8·10 ⁻⁵	7,8·10 ⁻⁴
Грузовые 3,5–12 т	0,19	0,19	0,14	3,0·10 ⁻⁴	1,4·10 ⁻⁵
Грузовые > 12 т	0,20	0,24	0,18	3,9·10 ⁻⁴	2,0·10 ⁻⁵
Автобусы > 3,5	0,14	0,17	0,13	2,2·10 ⁻⁴	1,2·10 ⁻⁵



а) б)
 Рис. 2. Измерение на КАД Санкт-Петербурга в окрестности вантового моста через реку Нева (август 2016 г.): а) концентраций в воздухе автомагистрали частиц PM₁₀, PM₄, PM_{2,5} и PM₁ одновременно двумя приборами DUSTTRAK 8530; б) концентраций в отработавших газах O₂, CO, NO, NO₂, CO₂ многофункциональным газоанализатором Testo 300 (регистрационный модуль размещался в салоне, а пробоотборный зонд – в выхлопной трубе транспортного средства)

проекта 588 выпускались с 1951 по 1961 г.; четырехпалубные теплоходы проекта 301 – с 1974 по 1983 г.; проекта 92-016 – с 1976 по 1983 г., проекта 302 – с 1984 по 1992 г.; теплоходы типа «Метеор» проекта 342Э – с 1961 по 1991 г. В связи с этим значения показателей дымности и токсичности отработавших газов традиционных дизельных силовых установок (табл. 2) значительно уступают значениям показателей современных зарубежных аналогов, которыми сегодня начинают оснащаться названные суда вследствие вступления в силу экологических требований IMO (Tier-3).

Интенсивность движения автотранспорта (авт./ч) на участке КАД, проходящем по вантовому мосту, в часы пик составляет: 7900 легковых автомобилей, 1600 единиц легкого коммерческого транспорта, 330 грузовых автомобилей массой от 3,5 до 12 т, 1850 грузовых автомобилей массой больше 12 т. Скорость движения варьируется в диапазоне 70–110 км/ч.

Для уточнения значений удельных показателей выбросов вредных веществ, загрязняющих атмосферный воздух на участке КАД вантового перехода, нами были непосредственно измерены концентрации газообразных веществ в отработавших газах транспортных средств и взвешенных частиц в воздухе автомагистрали при движении вместе с транспортным потоком (рис. 2).

Результаты и обсуждение

В качестве примера представим карту загрязнения воздуха диоксидом азота (NO₂) речными судами и автотранспортом вблизи Большого Обуховского моста при реализации первого расчетного сценария (рис. 3).

Как видно из рисунка, при реализации первого сценария энергетические установки судов могут создавать устойчивое воздействие на качество атмосферного воздуха в районе порта во

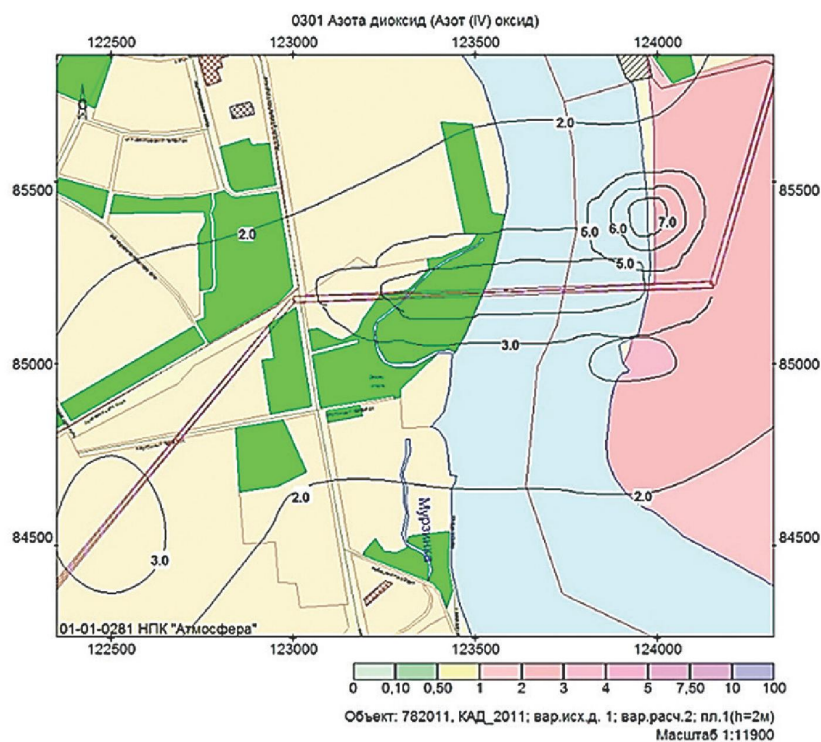


Рис. 3. Карта загрязнения воздуха NO₂ (доли ПДК_{мр}) судами и автомобилями в акватории Большого Обуховского моста в Санкт-Петербурге при реализации первого расчетного сценария

время стоянки. При этом загрязнения по NO_x могут составлять до 7 ПДК, по канцерогенным частицам сажи – до 1,5 ПДК, по CH – 0,5 ПДК.

В случае реализации второго сценария энергетические установки судов при неблагоприятных метеорологических условиях также могут создавать устойчивое воздействие на прилегающую водную акваторию во время отправки в рейс судов с рейда. При этом, как показывают результаты расчета, следует ожидать значительно более опасного для горожан загрязнения воздушной среды токсичными веществами. Загрязнения по NO_x могут составлять до 14 ПДК_{МР}, по канцерогенным частицам сажи – до 1,8 ПДК_{МР}, по SO_2 – до 1,2 ПДК_{МР}, по CH – 0,7 ПДК_{МР}, по CO – 0,5 ПДК_{МР}.

Цель настоящей статьи – обратить внимание ученых и заинтересованных организаций на необходимость исследований указанной проблемы – вероятного сверхнормативного локального загрязнения пограничной атмосферно-водной акватории, обусловленного одновременным комплексным воздей-

ствием отработавших газов судовых и автомобильных двигателей при неблагоприятных метеорологических и транспортных условиях. **□**

Литература

1. Lozhkin V. N., Lozhkina O. V. Results of Harmonization of Russian vehicle emission Standards with EU Directives at the Example of St. Petersburg // Int. Symp. „Environmental and engineering aspects for sustainable living“. Gannover, 2014. S. 101–103.
2. Lozhkina O. V., Lozhkin V. N. Estimation of road transport related air pollution in Saint Petersburg using European and Russian calculation models // J. Contents lists available at ScienceDirect «Transportation Research Part D». 2015. № 36. P. 178–189. URL: www.elsevier.com/locate/t.
3. Sofiev M., Genikhovich E., Keronen P. et al. Diagnosing the surface layer parameters for dispersion models within the meteorological-to-dispersion modeling interface // J. Appl. Meteor. Climatol. 2010. Vol. 49, Is. 2. P. 221–233. Doi: 10.1175/2009JAMC2210.

4. Иванченко А. А. Комплексное снижение вредных выбросов дизельными установками речных судов: дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: СПбГУВК, 1998.
5. Иванченко А. А., Петров А. П., Живлюк Г. Е. Энергетическая эффективность судов и регламентация выбросов парниковых газов // Вестн. гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. 2015. № 3 (31). С. 103–112.
6. Lozhkina O., Lozhkin V., Nevmerzhitsky N. et al. Motor transport related harmful $\text{PM}_{2,5}$ and PM_{10} : from on-road measurements to the modelling of air pollution by neural network approach on street and urban level // J. Phys.: Conf. Series 772 (2016) 012031 / Symp.: Metrology Across the Sci.: Wishful Thinking? 3–5 August 2016, Berkeley, USA. S. 1–7.
7. Lozhkina O. V., Lozhkin V. N. Estimation of nitrogen oxides emissions from petrol and diesel passenger cars by means of on-board monitoring: effect of vehicle speed, vehicle technology, engine type on emission rates // Transp. Res. Part D: Transp. and Envir. 2016. Vol. 47. P. 251–264.



ПАССАЖИРСКИЙ ФОРУМ

ЕДИНСТВЕННЫЙ В РОССИИ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ФОРУМ
ПО ПАССАЖИРСКОЙ
ПРОБЛЕМАТИКЕ

19 апреля 2017 г.
Казанский вокзал,
Москва



Стратегический партнер



ОАО «РЖД»

Генеральные информационные партнеры




Организатор



+7 (495) 988 18 00
info@bd-event.ru

www.passenger-forum.ru реклама