

© Н. А. ЛИТВИНОВА

*Тюменский государственный
архитектурно-строительный университет
litvinova2010-litvinova2010@yandex.ru*

УДК 504.75.05:504.3.054

**ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ОКСИДА УГЛЕРОДА (II)
В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ
ПО ВЫСОТЕ ОТ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ**

**THE ASSESSMENT OF THE CONTENT
OF CARBON OXIDE (II) IN THE ATMOSPHERIC AIR
IN HEIGHT FROM THE EARTH'S SURFACE**

В статье представлены результаты натурных исследований содержания окиси углерода в атмосфере по высоте от поверхности земли от точечных и передвижных источников загрязнения. Точечные источники — котельные малой и средней мощности. Исследования по высоте зданий концентрации окиси углерода не проводились. Объектом исследования являлись жилые здания. Обработка экспериментальных данных позволила получить расчетные зависимости безразмерной величины концентрации оксида углерода (II) от высоты фасада зданий от источников различной высоты выброса. Найдены границы аэродинамических теней здания — наветренной и подветренной. Исследования проводились при наиболее неблагоприятной скорости ветра по отношению к зданию. Проведен расчет концентрации загрязнителя и построен сравнительный график результатов расчета с данными эксперимента. Методика ОНД-86 не учитывает точки, близкие к зданию, где возникают вторичные рециркуляционные течения. Данные рекомендации позволяют учитывать наружные источники при проектировании вентиляции здания.

The article presents the results of field studies of carbon monoxide in the atmosphere in height from the earth's surface from point and mobile sources of pollution. Point sources — boilers of low and medium power. Studies have not been conducted the concentration of carbon monoxide on the height of buildings. The object of the study was a residential building. Analysis of the experimental data allowed us to obtain the calculated dependences of dimensionless concentration of carbon oxide (II) from height of building facades from various sources altitude ejection. Found border aerodynamic shadow of the building — windward and leeward. The research was carried out under the most adverse wind speed in relation to the building. The calculation of the concentration of the pollutant and built a comparative graph of the calculation results with the experimental data. Methods OND-86 does not account

for points that are close to the building where there are secondary recirculating flow. These recommendations allow to consider external sources when designing the ventilation of the building.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Атмосфера, оксид углерода (II), наружные источники.
KEY WORDS. the atmosphere, carbon oxide (II), external sources.

Введение

В настоящее время величины концентраций газообразных примесей в атмосфере по высоте от поверхности земли вблизи зданий изучены недостаточно [6]. Общепринятая методика прогнозирования уровня загрязнения атмосферного воздуха ОНД-86 рекомендует производить расчет максимально-приземных концентраций на уровне 1,5 м от поверхности земли. При отборах проб вредных примесей замеры осуществляются на уровне 1,5 м, в зоне дыхания человека. Кроме того, при проектировании системы вентиляции зданий учитывается уровень загрязненности наружного воздуха по высоте только до 2 м [2, 5]. Такой выбор недостаточно обоснован, так как при выборе площадки для строительства невозможно предсказать уровень загрязнения по всей высоте здания, особенно от источников различной высоты выброса в атмосферу [3].

В связи с этим цель исследований — определить зависимость величины концентрации оксида углерода (II) от высоты от поверхности земли вблизи зданий в городской среде от стационарных и передвижных источников. Для этого необходимо было оценить уровень загрязнения атмосферного воздуха по высоте вблизи зданий.

Для решения поставленных задач в качестве загрязнителя был выбран оксид углерода (II), как наиболее устойчивая примесь в воздушной среде. Оксид углерода (II) — СО — всегда образуется при сжигании углеродсодержащих видов топлива в присутствии количества воздуха, недостаточного для полного образования СО₂. Данных натурных исследований концентраций СО по высоте здания от труб котельных малой и средней мощности, а также автотранспорта представлено недостаточно. Исследования были проведены только в приземном слое [9, 10].

Методика исследований

На территории г. Тюмени данные исследования были спланированы и проведены в течение трех лет в осенне-зимний и весенне-летний периоды. Всего было выбрано 60 постов наблюдения. При выезде на объекты в каждой точке было отобрано 20 проб.

Также для сравнения с общепринятой методикой проводился расчет максимально-разового и валового выброса, расчет вертикального распределения концентраций СО в наружном воздухе от котельных [1, 4, 7, 8].

Отбор проб при проведении экспериментальных исследований проводился при 5 м/с для источников высотой 30 и 60 м, при 1–2 м/с — 15 и 22 м, поэтому расчет с учетом застройки проводился при аналогичных погодных условиях. Исследования проводились при наиболее неблагоприятной скорости ветра.

Объектом исследования являлись жилые здания (пяти-, девяти-, десятиэтажные), находящиеся в районе размещения стационарных (точечных) источников непрерывного действия.

С целью учета концентраций от передвижных источников выбраны районы с перекрестками различной интенсивности движения: свыше 2000-2500 авт./ч.; от 1000-2000 авт./ч.; от 600-1000 авт./ч.; до 500-600 авт./ч.

Величина концентрации СО в наружном воздухе измерялась по высоте жилых зданий. Жилые здания, расположенные в районе размещения стационарных (точечных) источников выброса, находились на различных от источников расстояниях в зависимости от размеров санитарно-защитной зоны (непосредственно в зоне рассеивания струи факела), то есть на расстояниях $5H_u$; $10H_u$; $15H_u$; $20H_u$, где H_u — высота источника, м.

Для исследуемых зданий были найдены границы аэродинамических теней: наветренной (I) и подветренной (II) по методике ОНД-86 (рис. 1).

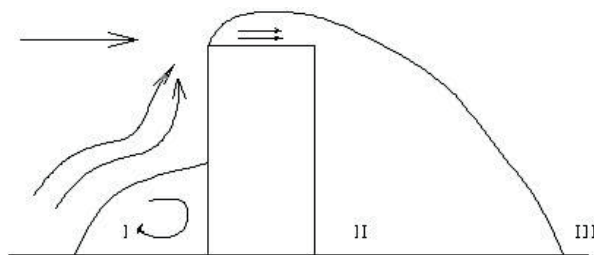


Рис. 1. Границы аэродинамических теней здания
I-наветренная тень; II-подветренная тень;
III-за границами аэродинамической тени

Результаты исследований и их обсуждение

Результат измерений концентраций СО по высоте зданий представлен в виде функции от безразмерной длины ($\frac{h}{H}$, где h — высота от поверхности земли; H — высота здания). Величина концентрации по высоте представлена в безразмерном виде по отношению к максимальной ($\frac{\tilde{n}}{\tilde{n}_{\max}}$, где \tilde{n}_{\max} — максимальная концентрация по высоте здания, c — концентрация на высоте h).

Обработка экспериментальных данных позволила получить расчетные зависимости безразмерной величины концентрации СО от высоты фасада зданий от источников различной высоты: 1) выше здания $H_s > H$ ($H_u = 2H$); 2) ниже здания — $H_s < H$ ($H_u = 0,5H$); 3) равной высоте здания $H_s = H$, где H_u — высота источника; H — высота здания. В табл. 1-2 представлены зависимости от источников $H_u = 0,5H$ и $H_u = H$.

Проведенные натурные исследования показали, что максимум концентрации оксида углерода (II) по высоте зданий, находящихся под воздействием точечных источников, может отмечаться на любой высоте здания. Концентрации СО зависят от высоты трубы по отношению к высоте самого здания (H), а также от расстояния от здания до трубы.

Обработка результатов экспериментальных исследований от автотранспорта позволила также получить расчетные зависимости величины концентрации СО от высоты фасада здания от перекрестков с различной интенсивностью движения (табл. 3).

Таблица 1

**Зависимости концентрации СО от высоты
для трубы ниже здания в 0,5 раз**

$\frac{R}{H_e}$	Наветренная сторона (I)	Подветренная сторона (II)
5	$\frac{\tilde{n}}{\tilde{n}_{\max}} = -2,375\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 2,338\left(\frac{h}{H}\right) + 0,062$	$\frac{\tilde{n}}{\tilde{n}_{\max}} = -2,122\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 2,014\left(\frac{h}{H}\right) + 0,046$
10	$\frac{c}{c_{\max}} = -1,703\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 2,022\left(\frac{h}{H}\right) + 0,044$	$\frac{c}{c_{\max}} = -1,246\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 2,001\left(\frac{h}{H}\right) + 0,021$
15	$\frac{\tilde{n}}{\tilde{n}_{\max}} = -0,296\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 0,715\left(\frac{h}{H}\right) + 0,113$	$\frac{c}{c_{\max}} = -0,258\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 0,519\left(\frac{h}{H}\right) + 0,099$
20	$\frac{c}{c_{\max}} = -0,949\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 0,779\left(\frac{h}{H}\right) + 0,261$	$\frac{c}{c_{\max}} = -0,755\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 0,558\left(\frac{h}{H}\right) + 0,121$

R — расстояние от устья источника до здания, м; $H_{\text{и}}$ — высота источника, м; H — высота здания, м; h — высота от поверхности земли, м

Таблица 2

**Зависимости концентрации СО от высоты
для трубы одинаковой высоты со зданием**

$\frac{R}{H_e}$	Наветренная сторона (I)	Подветренная сторона (II)
5	$\frac{c}{c_{\max}} = -2,083\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 1,780\left(\frac{h}{H}\right) + 0,361$	$\frac{c}{c_{\max}} = -2,042\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 1,489\left(\frac{h}{H}\right) + 0,124$
10	$\frac{c}{c_{\max}} = -1,556\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 2,198\left(\frac{h}{H}\right) + 0,253$	$\frac{c}{c_{\max}} = -1,355\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 2,011\left(\frac{h}{H}\right) + 0,156$
15	$\frac{c}{c_{\max}} = -1,719\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 1,951\left(\frac{h}{H}\right) + 0,288$	$\frac{c}{c_{\max}} = -1,540\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 1,745\left(\frac{h}{H}\right) + 0,099$

**Зависимости концентрации СО от высоты здания от магистралей
различной интенсивности движения автотранспорта**

Интенсивность движения, авт./ч.	Наветренная сторона (I)	Подветренная сторона (II)
до 500-600	$\left(\frac{\tilde{n}}{\tilde{n}_{\max}}\right) = 0,0012 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0,054 \left(\frac{h}{H}\right) + 0,135$	$\left(\frac{\tilde{n}}{\tilde{n}_{\max}}\right) = 0,0009 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0,021 \left(\frac{h}{H}\right) + 0,121$
от 600-1000	$\left(\frac{\tilde{n}}{\tilde{n}_{\max}}\right) = 0,0032 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0,144 \left(\frac{h}{H}\right) + 0,433$	$\left(\frac{\tilde{n}}{\tilde{n}_{\max}}\right) = 0,0012 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0,111 \left(\frac{h}{H}\right) + 0,324$
от 1000-2000	$\left(\frac{\tilde{n}}{\tilde{n}_{\max}}\right) = 0,0055 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0,356 \left(\frac{h}{H}\right) + 0,792$	$\left(\frac{\tilde{n}}{\tilde{n}_{\max}}\right) = 0,0034 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0,176 \left(\frac{h}{H}\right) + 0,583$

Таким образом, натурные исследования показали, что для стационарных источников закономерность изменения уровня загрязнения перед фасадом жилых зданий не всегда одинакова в отличие от передвижных источников. Самые высокие концентрации от неорганизованных источников загрязнения отмечаются на уровне 1 и 2 этажа и выше в зависимости от интенсивности транспортной магистрали. С высотой загрязнение от автотранспорта уменьшается.

По результатам расчетов выбросов от точечных источников построены графики, из которых видно, что расхождение с существующей методикой тем больше, чем ближе расчетная точка к угловой зоне, где образуются вторичные рециркуляционные течения (застойные зоны с близкой к нулю скоростью ветра и интенсивным турбулентным перемешиванием). На уровне первого этажа 0,05 от поверхности земли методика ОНД-86 занижает величину концентрации загрязнителя до 32%, на уровне середины здания 0,5 — до 24%, на уровне последнего этажа 1 — до 14% (рис. 2).

Выводы

1. Спланированы и проведены экспериментальные исследования качества наружного воздуха по высоте зданий, расположенных на различной удаленности от источников: определены средние годовые значения концентраций СО в атмосферном воздухе от точечных и передвижных источников.

2. Результаты расчетов по существующей методике не учитывают точки, близкие к зданию, где возникают вторичные рециркуляционные течения.

3. По результатам натурных исследований получены зависимости, которые позволяют определить величину концентрации оксида углерода (II) в наружном воздухе в любой точке по высоте зданий, расположенных на различной удаленности от источников различной высоты выброса. Это позволит проектировать вентиляцию зданий с учетом наружных источников загрязнения.

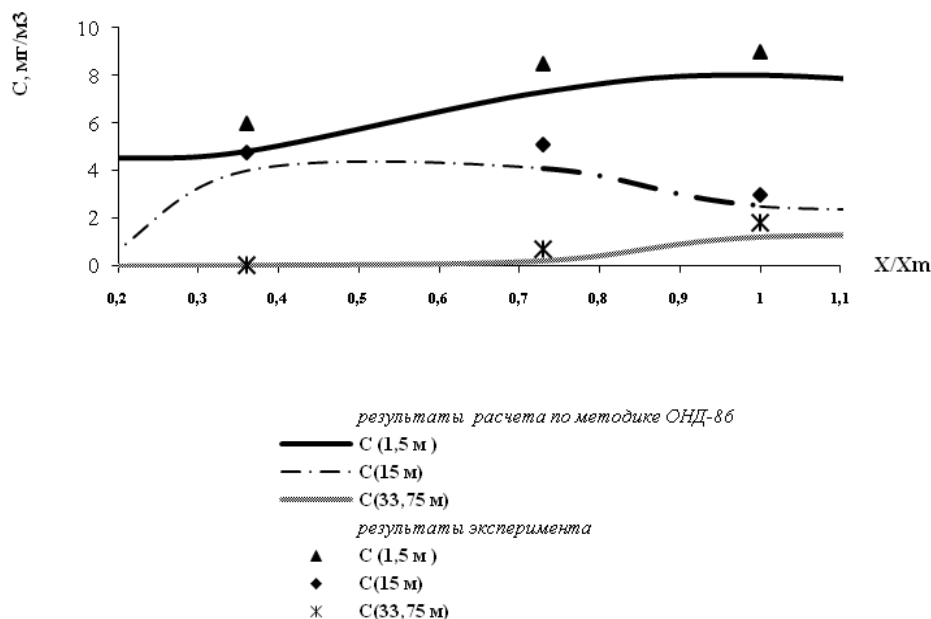


Рис. 2. Сравнение расчетных и экспериментальных значений концентраций CO по высоте зданий от трубы высотой ниже здания ($H_u = 0,5H$)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владимиров Е. А. Численное моделирование распространения пассивной примеси в атмосфере / Е. А. Владимиров // Метеорология и гидрология. 1999. № 7. С. 22-34.
2. Гримсруд Д. Т. Борьба с загрязнением воздуха в жилых зданиях средствами вентиляции: летучие органические вещества и радон / Д. Т. Гримсруд, Д. Е. Хэдлиш // Труды ASHRAE. 1999. С. 114.
3. Губернский Ю. Д. Эколого-гигиеническая безопасность жилища / Ю. Д. Губернский // Гигиена и санитария. 1994. № 3. С. 15-18.
4. Дацюк Т. А. Моделирование рассеивания вентиляционных выбросов / Т. А. Дацюк // Метеорология и гидрология. 2000. № 1. С. 12-14.
5. Ливчак В. И. Решения по вентиляции многоэтажных жилых зданий / В. И. Ливчак // АВОК. 1999. № 6. С. 21-25.
6. Малявина Е. Г. Воздушный режим высотного здания в течение года / Е. Г. Малявина, С. В. Бирюков, С. Н. Дианов // АВОК. 2003. № 6. С. 14.
7. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий / ОНД-86. М.: Гидрометеоздат, 1987. 150 с.
8. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час. М.: Гидрометеоздат, 1999. 30 с.
9. Сидоренко В. Ф. О расчете концентраций окиси углерода в воздухе автомагистралей и прилегающей жилой застройки / В. Ф. Сидоренко, Ю. Г. Фельдман // Гигиена и санитария. 1974. № 1. С. 7.

10. Сидоренко В. Ф., Михеев В. Ф. Методика расчета концентраций выхлопных газов автотранспорта в жилой застройке / В. Ф. Сидоренко, В. Ф. Михеев. Киев: Инженерно-строительный институт. 1986. 20 с.

REFERENCES

1. Vladimirov E. A. Chislennoe modelirovanie rasprostraneniya passivnoy primesi v atmosfere [Numerical Modeling of the Distribution of Passive Tracer in the Atmosphere] // *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and hydrology]. 1999. No 7. P. 22-34.
2. Grimsrud D. T. Borba s zagryazneniem vozduha v zhilyih zdaniyah sredstvami ventilyatsii: letuchie organicheskie veschestva i radon [The fight Against Air Pollution in Residential Buildings by Means of Ventilation: Volatile Organic Compounds and Radon] // *Trudy ASHRAE* [Proceedings of ASHRAE]. 1999. P. 114.
3. Gubernskiy Yu. D. Ekologo-gigienicheskaya bezopasnost zhlischa [Environmental and Hygienic Home Security Systems] // *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and sanitation]. 1994. No 3. Pp. 15-18.
4. Datsyuk T. A. Modelirovanie rasseivaniya ventilyatsionnykh vyibrosov [Dispersion Modeling of Air Emissions] // *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and hydrology]. 2000. No 1. Pp. 12-14.
5. Livchak V. I. Resheniya po ventilyatsii mnogoetazhnykh zhilykh zdaniy [Solutions for the Ventilation of High-rise Residential Buildings] // *AVOK*. 1999. No 6. Pp. 21-25.
6. Mal'yavin E. G. Vozdushnyy rezhim vyisotnogo zdaniya v techenie goda [Air Mode of High-rise Buildings during the Year] // *AVOK*. 2003. No 6. P. 14.
7. Metodika rascheta kontsentsiy v atmosfepnom vozduhe vpednykh veschestv, sodepzaschihsya v vyibposah ppedpiyatii [The Method for Calculating in Atmospheric Air the Concentrations of Harmful Substances Contained in the Emissions of the Enterprises] / *OND-86*. Moscow: Gidrometeoizdat, 1987. 150 p.
8. Metodika opredeleniya vyibrosov zagryaznyayuschikh veschestv v atmosferu pri szhiganii topliva v kotlah proizvoditelnostyu menee 30 tonn para v chas ili menee 20 Gkal v chas [The Method for Determining Emissions of Pollutants into the Atmosphere from Fuel Combustion in Boilers with Capacity of 30 Tons of Steam per hour or Less than 20 Gcal per hour]. Moscow: Gidrometeoizdat, 1999. 30 p.
9. Sidorenko V. F. O raschete kontsentsiy okisi ugleroda v vozduhe avtomagistralei i prilgayuschey zhiloy zastroyki [Calculation of the Concentrations of Carbon Monoxide in the Air within Highways and Adjacent Residential Development] // *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and sanitation]. 1974. No 1. P. 7.
10. Sidorenko V. F., Mikheev V. F. Metodika rascheta kontsentsiy vyihlopnnykh gazov avtotransporta v zhiloy zastroyke [The calculation Method of Exhaust Fumes Concentrations in Residential Areas]. Kiev: Inzhenerno-stroitelnyy institut [Institute of civil Engineering]. 1986. 20 p.

Автор публикации

Литвинова Наталья Анатольевна — кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности Тюменского государственного архитектурно-строительного университета

Author of the publication

Natalya A. Litvinova — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Technosphere safety, Tyumen State University of Civil Engineering