

doi: 10.5862/MCE.58.3

Воздухоприемное отверстие приточной камеры и предотвращение поступления в вентиляционную систему вредных примесей

The air supply hole of the inlet chamber and preventing the inflow of harmful impurities into the ventilation system

*Канд. техн. наук, доцент Н.А. Литвинова,
Тюменский государственный архитектурно-
строительный университет, Тюмень, Россия*

*N.A. Litvinova,
Tyumen State University of Architecture and Civil
Engineering, Tyumen, Russia*

Ключевые слова: место забора воздуха; воздухоприемное отверстие приточной камеры; приточная система вентиляции; качество наружного воздуха; концентрация оксид углерода (II); загрязнения от котельных; загрязнения от автотранспорта

Key words: place for air intake; air intake hole of the inlet chamber, inlet ventilation system, outdoor air quality, concentration of carbon oxide (II), boiler houses pollution, motor vehicles pollution.

Аннотация. При работе приточной системы вентиляции в помещения через воздухоприемное отверстие приточной камеры может поступать оксид углерода (II) от внешних источников выброса – автотранспорта и котельных малой и средней мощности в городской среде. В статье по результатам натурных исследований приводятся зависимости концентраций оксида углерода (II) от высоты фасада здания для предотвращения поступления в вентиляционную систему загрязнителя. Построены номограммы для выбора высоты расположения приемного отверстия для забора воздуха в зависимости от качества наружного воздуха. Предложены рекомендации, которые позволяют проектировать приточную вентиляцию с учетом качества наружного воздуха по всей высоте здания.

Abstract. The article discusses the dependences of carbon monoxide (II) concentrations on the height of the building façade based on the results of in situ tests with the goal of preventing the inflow of pollutants into the ventilation system. Carbon oxide (II) may enter the premises when the inlet ventilation system is working through the inlet chamber from external sources of emission. i.e. vehicles and low and medium-power boilers in the urban environment. We have constructed nomograms to adjust the height of the receiving hole for air intake by the ventilation system depending on the quality of the outdoor air on the height of buildings from external sources of different heights in relation to the building. We have suggested guidelines allowing to design ventilation systems depending on the quality of outdoor air over the entire height of the building, which cannot be done at the design stage.

Введение

При использовании механической приточной вентиляции в городских условиях низкое качество наружного воздуха может привести к значительному ухудшению воздушной среды помещений [1]. Данная система вентиляции применяется не только в административных и общественных, но и в жилых зданиях таких крупных городов, как Москва, Екатеринбург, Новосибирск, Омск, Тюмень и др.

В настоящее время вопрос о выборе места воздухоприемного отверстия для забора наружного воздуха в помещения зданий городских территорий остается нерешенным [2]. В действующих нормативных документах, определяющих требования к выбору места воздухозабора, в частности СНиП 41-01-2003, указано, что высота воздухоприемного отверстия должна быть не ниже 2 м. При этом воздухозаборные устройства рекомендуется размещать в местах наименьшего загрязнения наружного воздуха: вдали от улиц с интенсивным движением автотранспорта, котельных, внутри кварталов, в зоне зеленых насаждений. В случае, когда на уровне 2 м нельзя осуществлять воздухозабор, его, как правило, размещают над верхним покрытием здания. Однако следует учесть, что все концентрации вредных веществ измеряются на

Litvinova N.A. The air supply hole of the inlet chamber and preventing the inflow of harmful impurities into the ventilation system

высотах не выше 2 м от поверхности земли, соответственно, качество воздуха на большей высоте не контролируется.

На стадии проектирования невозможно определить качество воздуха по всей высоте здания, в том числе и на крыше. При этом фильтр приточной камеры не предназначен для очистки выбросов от газообразных примесей.

Таким образом, выбор места притока наружного воздуха принудительной вентиляцией в здании городской среды недостаточно обоснован, так как при выборе площадки для строительства невозможно предсказать уровень загрязнения по всей высоте здания, особенно от наружных источников выброса различной высоты. Исследования проводились только в приземном слое, что требует существенной корректировки при обосновании места забора воздуха для вентиляции помещений зданий городской среды.

1. Краткий обзор литературы

В последние годы общественное внимание к качеству воздуха и вентиляции значительно выросло. Если раньше отношение к микроклимату жилых зданий было безразличным, то теперь появилась потребность определить нормативы качества воздуха и воздухообмена [2].

Как отмечено в работах И.Ф. Ливчак, Н.Л. Джонсон [3–6], централизованная приточная вентиляция с механическим побуждением в городских условиях может привести к загрязнению воздушной среды газообразными примесями, так как в приточной камере осуществляется очистка только от механических примесей.

Указанный недостаток свидетельствует о целесообразности совершенствования вентиляционных устройств в многоэтажных зданиях за счет применения приточно-вытяжной вентиляции с тщательным выбором оптимальной высоты забора воздуха.

Внедрение механической приточно-вытяжной вентиляции в массовое строительство связано с улучшением условий эксплуатации, а также решением ряда конструктивных вопросов. Так, в жилищном строительстве за рубежом получили распространение механические системы приточной вентиляции, особенно для зданий повышенной этажности [2]. Эти системы отличаются устойчивой работой во все периоды года. Современные вентиляционные установки имеют более высокий коэффициент полезного действия, создают меньший шум и обладают большей надежностью. [7].

В конце XX – начале XXI века в крупных городах России – Москве, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге, Новосибирске – началось активное строительство многоэтажных зданий высотой 17–26 этажей. Вентиляция в них выполнена с механическим побуждением [8].

С другой стороны, загрязнение атмосферного воздуха для России начала XXI века может оказаться не менее важной проблемой, чем его охлаждение в квартирах в летний период [9–10]. Для получения менее загрязненного наружного воздуха его забор может осуществляться над верхним покрытием зданий. Необходимо отметить, что официальные сведения о распространении вредных газов в наружном воздухе по мере удаления от поверхности земли от передвижных и точечных источников воздействия для юга Западной Сибири отсутствуют. Некоторые аналогичные сведения для других регионов в литературе присутствуют, но датируются серединой XX века и описывают только характер распределения по высоте механических примесей. Так, например, были проведены исследования, согласно которым содержание пыли у Исаакиевского собора (Санкт-Петербург) на высоте 1 м составляло 430 г/см^3 , а на высоте 52 м – уже 250 г/см^3 . В небольшом городе ($R = 1 \text{ км}$) падение концентрации дыма составляет на высоте 15 м 30 %, а в большом – около 14 % [11–12].

В начале XXI века в России проводились исследования качества наружного воздуха по высоте перед фасадом жилых зданий, но только от неорганизованных источников выброса и только от диоксида азота [13]. Отбор концентраций диоксида азота NO_2 от автотранспорта по высоте здания в Волгоград показал, что на отметке 1,5 м концентрация максимальна (превышен ПДК), на высоте 7,5 м снижается в 2 раза, на отметке 15 м – незначительна [13].

Согласно СНиП 41–01–2003, низ отверстия для приемного устройства необходимо размещать на высоте не менее 2 м от уровня земли. Однако нормативный документ не учитывает закономерность изменения концентраций загрязняющих веществ в наружном воздухе выше 2 м от внешних источников [14–17].

Литвинова Н.А. Воздухоприемное отверстие приточной камеры и предотвращение поступления в вентиляционную систему вредных примесей

Попадая в пространства между зданиями, в зону аэродинамической тени, где имеет место циркуляция потока, вредные вещества накапливаются до величин, нередко превышающих предельно допустимые значения, что особенно характерно для малых скоростей и при неблагоприятных направлениях ветра. С приточным воздухом вентиляции внутрь зданий поступает количество вредных веществ, превышающие расчетные величины, что снижает эффективность аэрации [18–20]. За рубежом проведены исследования качества воздуха в городской среде с учетом аэродинамических факторов [21–29]. В работах [30–32] сформулированы основные проблемы взаимодействия высотных зданий с ветровым потоком с точки зрения разнообразия режимов обтекания и проявлений дискомфорта населения.

Таким образом, при проектировании приточной системы вентиляции зданий необходим всесторонний анализ проектных решений для выбора варианта организации вентиляции, обеспечивающего стандарты качества воздуха в помещениях, в зависимости от степени загрязненности наружного воздуха по всей высоте здания.

2. Объект, цель и методика исследований

Цель исследований – определить оптимальное место размещения воздухоприемного отверстия приточной камеры механической вентиляции в зависимости от качества наружного воздуха. Для этого необходимо было оценить уровень загрязнения наружного воздуха по всей высоте здания.

Для решения поставленных задач в качестве загрязнителя был выбран оксид углерода (II) как наиболее устойчивая примесь в воздушной среде. Оксид углерода (II) CO всегда образуется при сжигании углеродсодержащих видов топлива в присутствии количеств воздуха, недостаточных для полного образования CO₂. Кроме того, оксид углерода (II) является консервативной примесью и может быть удален из помещения только с помощью вентиляции [3].

Объектом исследования являлись пяти-, девяти- и десятиэтажные здания. Наружные источники были выбраны передвижные и стационарные (точечные).

Во-первых, для натурных исследований выбраны здания, находящиеся в районе перекрестков с различной интенсивностью движения автотранспорта: свыше 2000 авт./ч; от 1000 до 2000 авт./ч; от 600 до 1000 авт./ч; от 500 до 600 авт./ч. Исследования загрязненности от передвижных источников проводились при наиболее неблагоприятной скорости ветра (1...2 м/с).

Во-вторых, выбраны здания, находящиеся в зоне действия котельных малой и средней мощности (точечные источники). Высота точечного источника была выбрана различная: выше здания в 2 раза, ниже в 0,5 раза и равной высоте здания. Объекты исследования находились в зоне действия данных котельных, на различных расстояниях от источника. Исследования загрязненности от котельных проводились при наиболее неблагоприятной скорости ветра (5...6 м/с).

Величина концентрации CO в наружном воздухе измерялась по всей высоте здания. Всего было выбрано 354 поста наблюдений на границе с городской застройкой на территории г. Тюмень. Исследования проводились в течение трех лет в осенне-зимний и весенне-летний периоды. При выезде на объекты в каждой точке было отобрано 20 проб.

Отбор проб от наружных источников проводился с 6 до 13 ч или с 14 до 21 ч с чередованием утренних и вечерних отборов. В ночное время – 1,2 раза в неделю. Одновременно замерялась скорость ветра (м/с) и отмечалось его направление.

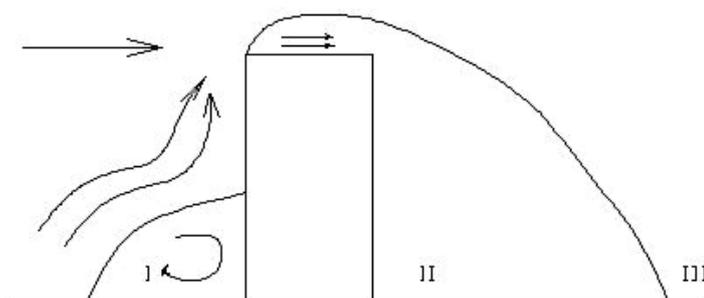


Рисунок 1. Границы аэродинамических теней здания:

I–наветренная тень; II–подветренная тень; III–за границами аэродинамической тени

Litvinova N.A. The air supply hole of the inlet chamber and preventing the inflow of harmful impurities into the ventilation system

При отборе проб вблизи здания замеры были проведены на расстоянии не менее 0,5 м от стены, с наветренной и подветренной стороны от источников. Отбор проб также проводился из внутриквартального пространства.

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

В аэродинамической тени возникают вторичные рециркуляционные течения воздуха, с близкой к нулю скоростью ветра и интенсивным турбулентным перемешиванием. Этот фактор приводит к скоплению газов по фасаду здания.

3. Анализ результатов

Результат измерений концентраций СО по высоте зданий был представлен в виде функции от безразмерной длины ($\frac{h}{H}$, где h – высота от поверхности земли, м; H – высота здания, м). Величина концентрации по высоте представлена в безразмерном виде по отношению к максимальной ($\frac{c}{c_{\max}}$, где c – концентрация на высоте h , мг/м³; c_{\max} – максимальная концентрация по высоте здания, мг/м³).

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

Таблица 1. Зависимости концентраций СО от высоты для трубы ниже здания в 0,5 раз

| $\frac{R}{H_u}$ | Наветренная сторона (I) | Подветренная сторона (II) |
|-----------------|---|---|
| 5 | $\frac{c}{c_{\max}} = -2,375\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 2,338\left(\frac{h}{H}\right) + 0,062$ | $\frac{c}{c_{\max}} = -2,122\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 2,014\left(\frac{h}{H}\right) + 0,046$ |
| 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 | $\frac{c}{c_{\max}} = -0,296\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 0,715\left(\frac{h}{H}\right) + 0,113$ | $\frac{c}{c_{\max}} = -0,258\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 0,519\left(\frac{h}{H}\right) + 0,099$ |
| 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_u – высота источника, м; H – высота здания, м; h – высота от поверхности земли, м.

Таблица 2. Зависимости концентраций СО от высоты для трубы одинаковой высоты со зданием

| $\frac{R}{H_u}$ | 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 | $\frac{c}{c_{\max}} = -1,719\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 1,951\left(\frac{h}{H}\right) + 0,288$ | $\frac{c}{c_{\max}} = -1,540\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 1,745\left(\frac{h}{H}\right) + 0,099$ |
| 20 | $\frac{c}{c_{\max}} = -1,428\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 1,380\left(\frac{h}{H}\right) + 0,386$ | $\frac{c}{c_{\max}} = -1,275\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 1,148\left(\frac{h}{H}\right) + 0,123$ |

R – расстояние от устья источника до здания, м; H_u – высота источника, м; H – высота здания, м; h – высота от поверхности земли, м.

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

Аналогичные зависимости получены от магистралей различной интенсивности движения (табл. 3).

Таблица 3. Расчет безразмерной концентрации СО по всей высоте здания от магистралей различной интенсивности движения автотранспорта

| Интенсивность движения, авт./ч | Наветренная сторона (I) | Подветренная сторона (II) |
|--------------------------------|---|---|
| до 500–600 | $\left(\frac{c}{c_{\max}}\right) = 0,0012 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0,054\left(\frac{h}{H}\right) + 0,135$ | $\left(\frac{c}{c_{\max}}\right) = 0,0009 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0,021\left(\frac{h}{H}\right) + 0,121$ |
| от 600–1000 | $\left(\frac{c}{c_{\max}}\right) = 0,0032 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0,144\left(\frac{h}{H}\right) + 0,433$ | $\left(\frac{c}{c_{\max}}\right) = 0,0012 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0,111\left(\frac{h}{H}\right) + 0,324$ |
| от 1000–2000 | $\left(\frac{c}{c_{\max}}\right) = 0,0055 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0,356\left(\frac{h}{H}\right) + 0,792$ | $\left(\frac{c}{c_{\max}}\right) = 0,0034 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0,176\left(\frac{h}{H}\right) + 0,583$ |
| свыше 2000 | $\left(\frac{c}{c_{\max}}\right) = 0,0065 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0,513\left(\frac{h}{H}\right) + 0,991$ | $\left(\frac{c}{c_{\max}}\right) = 0,0035 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2 - 0,302\left(\frac{h}{H}\right) + 0,812$ |

Для выбора оптимальной высоты приемного отверстия для забора наружного воздуха для зданий различной этажности, расположенных на различной удаленности от источника (труб котельных различной высоты) при проектировании системы вентиляции удобно использовать построенные номограммы (рис. 2–4).

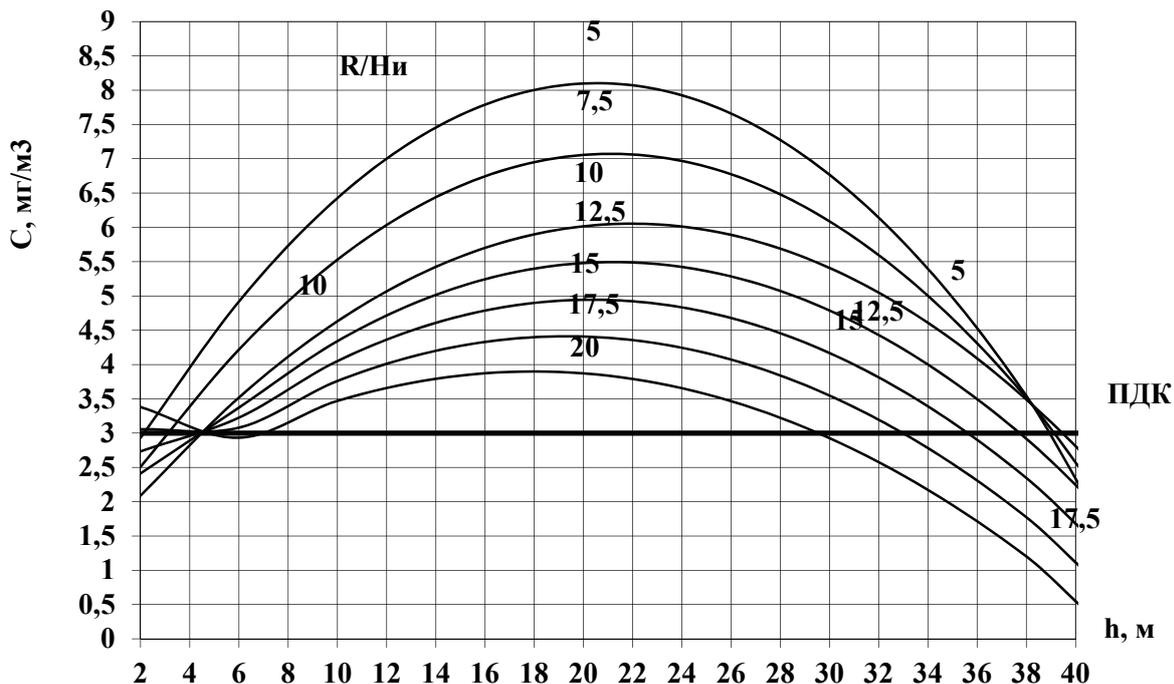


Рисунок 2. Номограмма для определения оптимальной высоты воздухозабора зданий от источника, высота которого равняется высоте здания:
 $H_{и}$ – высота источника, м; R – расстояние от устья источника до здания, м; h – высоты приемного отверстия от поверхности земли, м; C – концентрация оксида углерода (II), mg/m^3

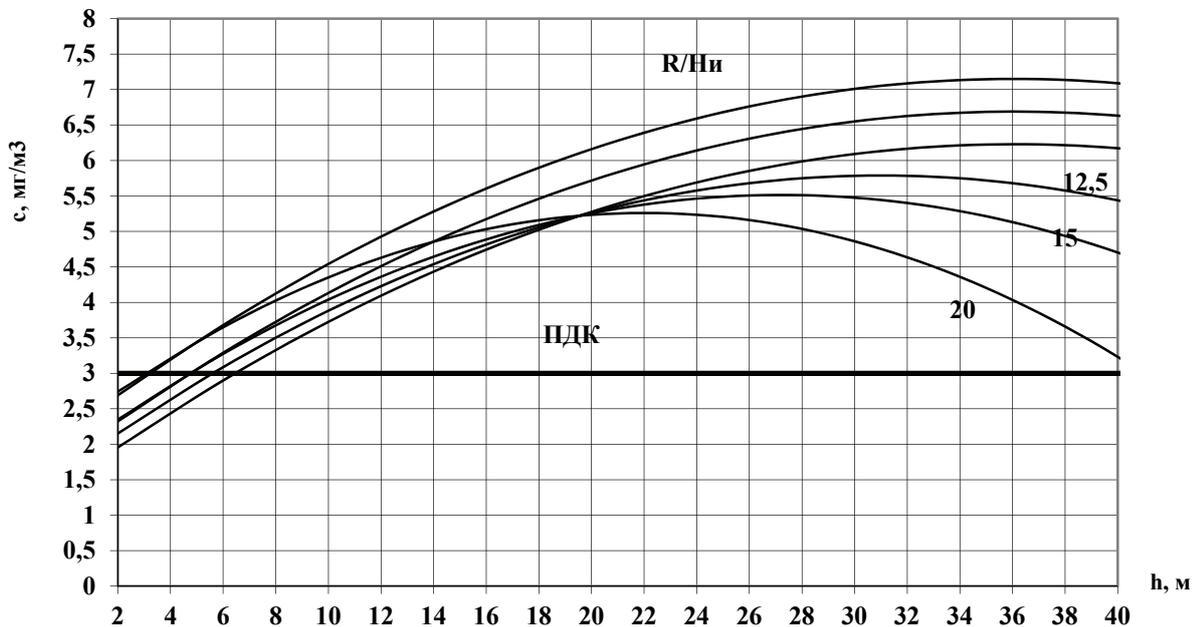


Рисунок 3. Номограмма для определения оптимальной высоты воздухозабора от источника, высота которого выше высоты здания в 2 раза:
 $H_{и}$ – высота источника, м; R – расстояние от устья источника до здания, м; h – высоты приемного отверстия от поверхности земли, м; C – концентрация оксида углерода (II), mg/m^3

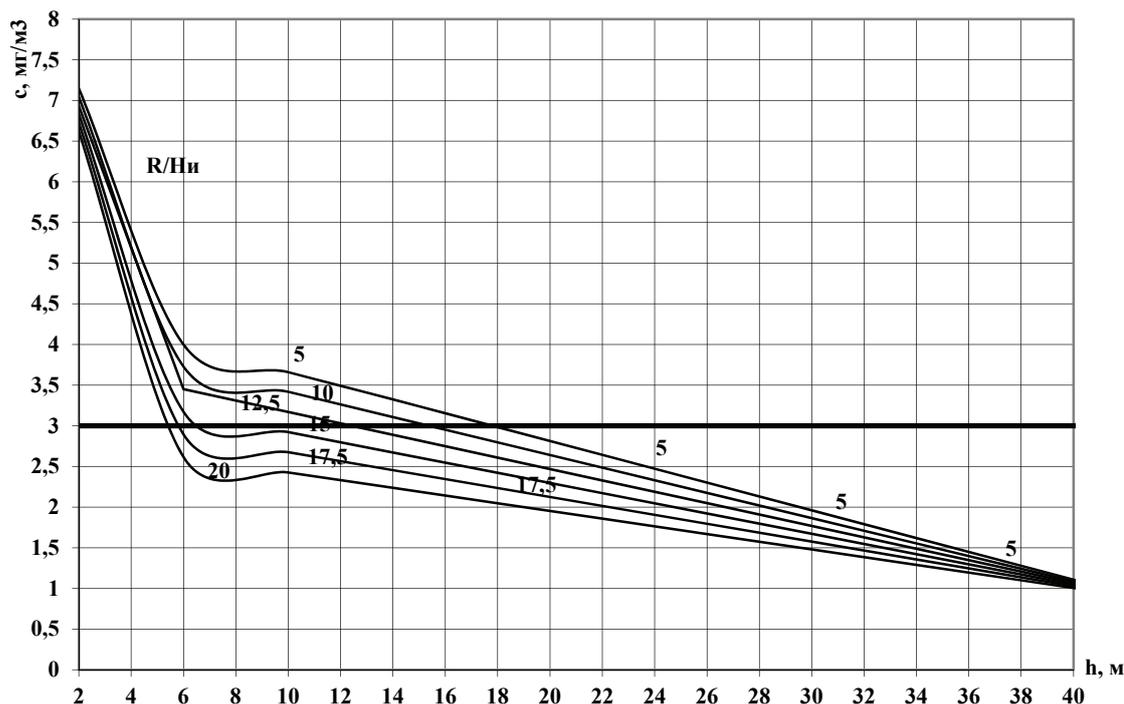


Рисунок 4. Номограмма для определения оптимальной высоты воздухозабора зданий от источника, высота которого ниже в 0,5 раз:

H_n – высота источника, м; R – расстояние от устья источника до здания, м; h – высоты приемного отверстия от поверхности земли, м; C – концентрация оксида углерода (II), мг/м^3

При проектировании приточной системы вентиляции пользоваться номограммами на рисунках 2–4 рекомендуется следующим образом:

- 1) определяется высота источника по отношению к высоте здания: $H_n = 2H$; $H_n = H$; $H_n = 0,5H$;
- 2) по генеральному плану города определяется расстояние от устья источника до здания R , м;
- 3) находится отношение расстояния, на котором находится здание от источника, к высоте самого источника R/H_n ;
- 4) по номограмме определяется концентрация CO по всей высоте здания на высоте h от поверхности земли на расстоянии R/H_n ;
- 5) по номограмме выбирается оптимальная высота приемного отверстия для забора наружного воздуха с учетом предельно-допустимой концентрации (ПДК) в помещениях по CO .

Кроме того, при расположении здания в районе оживленных магистралей место воздухоприемного отверстия с учетом автотранспорта определяется по номограмме, представленной на рисунке 5.

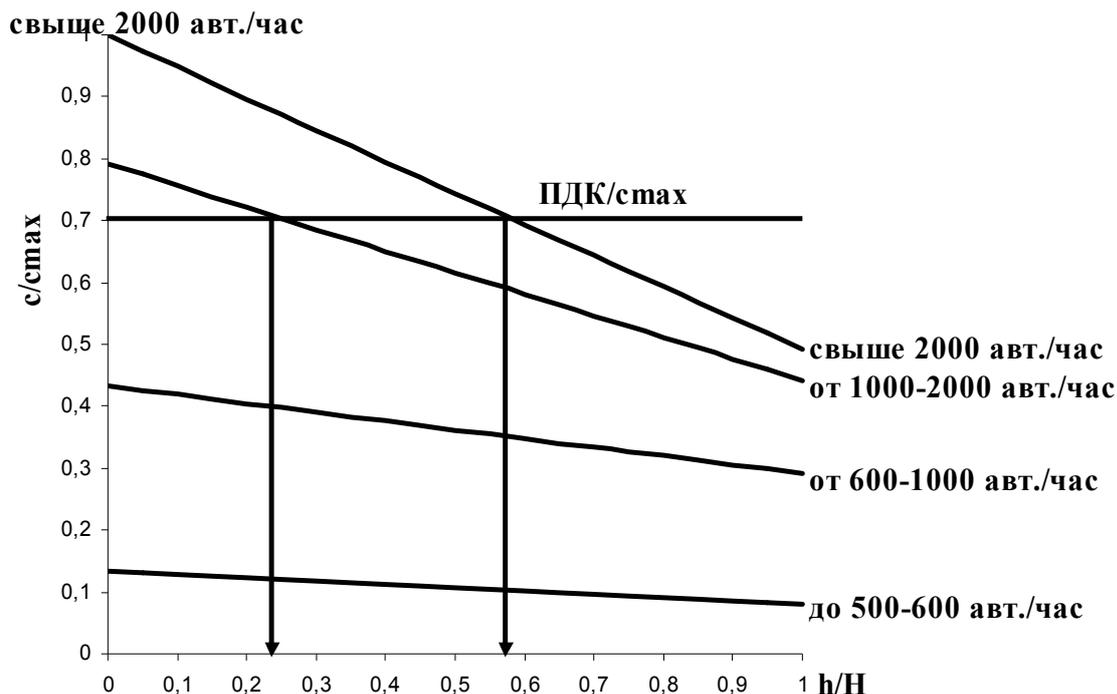


Рисунок 5. Номограмма для определения оптимальной высоты воздухозабора по концентрации оксида углерода (II) по высоте зданий в наружном воздухе от автотранспорта:

h – высота от поверхности земли, м; H – высота здания, м;

C_{\max} – концентрация оксида углерода (II), максимальная по высоте здания, мг/м^3 ;

C – концентрация оксида углерода (II) на высоте h , мг/м^3

Пользуясь номограммой на рисунке 5 при проектировании системы вентиляции здания, можно определить минимальную концентрацию CO в любой точке по высоте здания от перекрестков различной интенсивности движения. На рисунке 5 линией показана допустимая безразмерная концентрация и высоты, на уровне которых можно осуществлять забор наружного воздуха по высоте здания. При интенсивности 1000...2000 авт./ч это высота выше $0,24H$ метров, где H – высота здания, м; при интенсивности выше 2000 авт./ч – выше $0,56H$ метров. Поскольку для интенсивности от 600 до 1000 авт./ч превышение не обнаружено, то забор воздуха, согласно номограмме, желательно осуществлять с высоты, равной высоте здания H , так как на данной высоте наблюдается минимальная концентрация CO.

Приведем пример, как пользоваться номограммой на рисунке 5. Если высота здания 30 м, то при интенсивности движения выше 2000 авт./ч забор воздуха следует осуществлять выше $0,56H = 16,8$ м, а при тех же условиях интенсивности движения для здания 40 м – выше $0,56H = 22,4$ м. Это объясняется особенностями аэродинамики здания, то есть обтеканием здания воздушным потоком. Чем выше здание, тем больше размеры аэродинамической тени. Чем ближе точка к зданию, тем больше возникают вторичные рециркуляционные течения воздуха и застойные зоны, в которых скорость воздуха близка к нулю. Следовательно, концентрация оксида углерода (II) в наружном воздухе выше. В связи с этим, кроме интенсивности движения, при выборе оптимального места воздухозабора необходимо учитывать и высоту здания.

Предложенные номограммы (рис. 2–5) представлены с наветренной стороны здания, с подветренной стороны результат, согласно натурным исследованиям, следует уменьшить на 15 %.

Кроме натуральных исследований, в выбранных точках проводился расчет концентраций CO по общепринятой методике прогнозирования уровня загрязнения атмосферного воздуха ОНД-86. Данную методику применяют в настоящее время при обосновании размеров санитарно-защитных зон от источников выброса в атмосферу.

Расчет приземных концентраций в слое 0...2 м и вертикального распределения концентраций в приземном слое воздуха, включая расчет концентраций у стен и крыш зданий, проводился с учетом влияния застройки. Подобный расчет производится в случаях, когда здание удалено от источника на расстояние менее x_m , или когда источник расположен на здании или в зонах возможного образования ветровых теней. При этом высота здания H должна быть не менее 0,4 высоты источника ($H \geq 0,4H_u$). Если здание удалено от источника на расстояние большее, чем $0,5x_m$, и основание источника не размещается в зоне возможного образования ветровой тени, то учет влияния застройки производится в случаях, когда высота здания превышает 0,7 высоты источника ($H > 0,7H_u$).

Величина концентрации оксида углерода (II) CO рассчитывалась в наружном воздухе по высоте жилых зданий, расположенных на расстояниях $0,1...1,2x_m$ от источника, в точках на уровнях 1,5 м (первый этаж); 15 м (середина здания); 33,75 м от поверхности земли (уровень последнего этажа), где x_m – расстояние, на котором достигается максимальная приземная концентрация.

Расчет вертикального распределения концентраций оксида углерода (II) по высоте жилых зданий от точечных источников (котельных) показал, что изменение концентраций CO по высоте происходит различным образом: концентрация CO на расстояниях от $5H_u$ до $10H_u$ уменьшается от источников, находящихся ниже здания ($H_u = 0,5H$), увеличивается от источников выше здания $H_u = 2H$ и на уровне $H_u = H$. Концентрация CO по высоте здания не изменяется в точке приземления струи факела на расстоянии $20H_u$ от источника.

Закономерность изменения концентраций оксида углерода (II) аналогична результатам натурных исследований в течение трех лет.

С целью сопоставления результатов экспериментальных исследований уровня загрязнения CO по высоте жилых зданий с расчетами по методике ОНД-86 от источников воздействия были построены сравнительные графики (рис. 6–8).

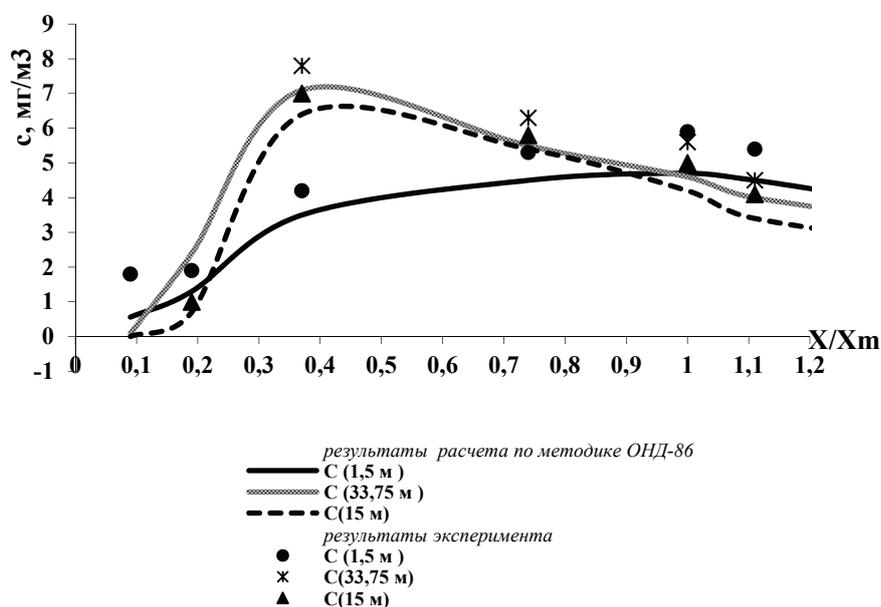


Рисунок 6. Сравнение расчетных и экспериментальных значений концентраций CO по высоте фасада жилых зданий на различных расстояниях от источника, находящегося выше здания ($H_u = 2H$): x – расстояние от источника до здания; x_m – расстояние, на котором достигается максимальная приземная концентрация

На концентрацию оксида углерода (II) по высоте фасада жилого здания непосредственно влияет высота и диаметр трубы, скорость выхода газозвдушной смеси, расход топлива, а также местоположение источника в плане города по отношению к зданию.

С удалением от источника до расстояния x_m кривая распределения концентрации подчиняется квадратичной, а после – линейной зависимости (рис. 6–8), полученной как в натуральных условиях, так и при моделировании процесса.

Проводилось сравнение с расчетами по методике ОНД-86 не средних за период измерений концентраций, а разовых измерений по характерным моментам, так как по существующей методике концентрации рассчитываются по максимально-разовому выбросу.

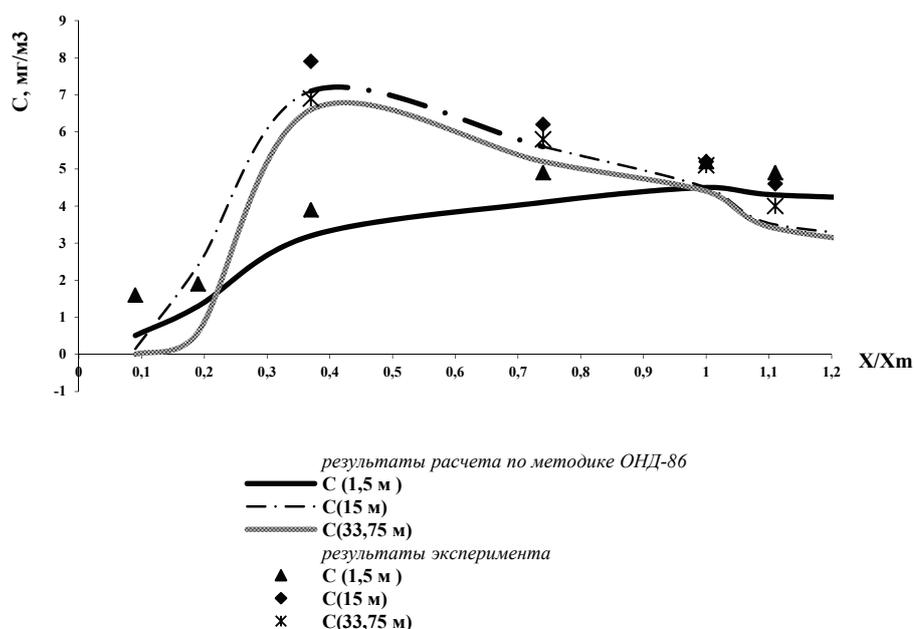


Рисунок 7. Сравнение расчетных и экспериментальных значений концентраций CO по высоте фасада жилых зданий на различных расстояниях от источника высотой, равной высоте здания $H_{и} = H$

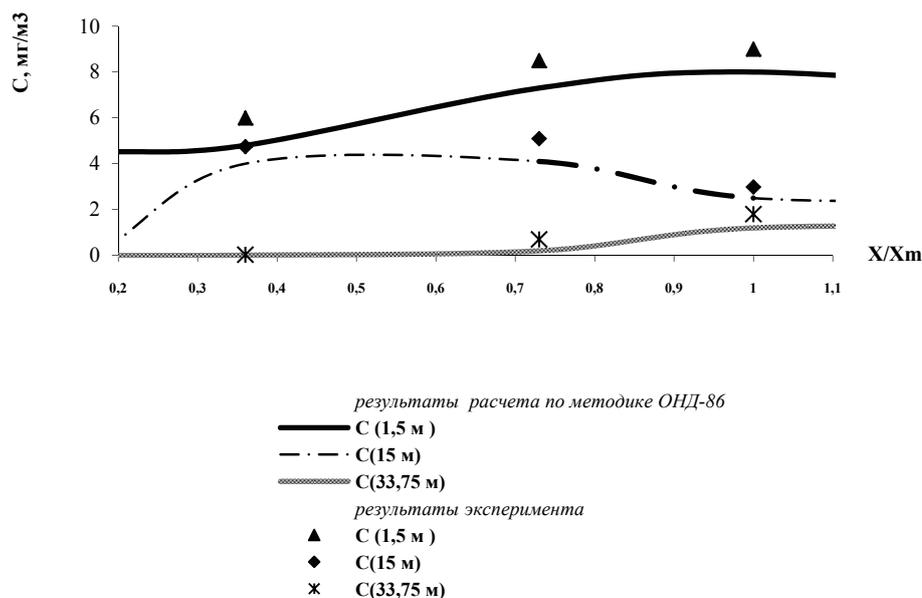


Рисунок 8. Сравнение расчетных и экспериментальных значений концентраций CO по высоте фасада жилых зданий на различных расстояниях от источника ниже здания ($H_{и} = 0,5H$)

Таким образом, полученные в ходе эксперимента значения величин концентраций СО сравнивались со значениями, рассчитанными по методике.

В результате выяснено, что в точках, близких к приземной части здания, на уровне 1,5 м концентрации СО, полученные экспериментально (рис. 6–8), отличаются от расчетных.

По графикам 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 $0,05 \left(\frac{h}{H} \right)$ (1,5 м от поверхности земли) методика ОНД-86 занижает величину концентрации загрязнителя до 32 %, на уровне середины здания $0,5 \left(\frac{h}{H} \right)$ (15 м) – до 24 %, на уровне последнего этажа $1 \left(\frac{h}{H} \right)$ (33,75 м) – до 14 %.

Расхождение велико, особенно на уровне 1,5–2 м, что очень важно для определения места воздухозабора приточной механической вентиляции зданий.

Результаты расчетов по общепринятой методике ОНД-86 по высоте здания (рис. 6–8) не учитывают точки, близкие к зданию, где возникают вторичные рециркуляционные течения.

Таким образом, сравнительные графики результатов расчета и натурных исследований наружного воздуха по высоте жилых зданий подтвердили закономерности изменения концентрации СО по высоте при различных вариантах застройки и характеристиках источника выброса и показали границы достоверности методики ОНД-86 для условий юга Западной Сибири.

Выводы

1. Разработаны расчетные зависимости величины концентрации оксида углерода (II) от высоты от поверхности земли и от высоты самого здания для наружных источников выброса различной высоты.

2. Предложены номограммы для выбора оптимального места воздухоприемного отверстия приточной механической вентиляции здания с учетом качества наружного воздуха по всей высоте здания.

3. Результаты эксперимента сопоставлены с расчетами по общепринятой методике ОНД-86. Расхождение велико, особенно на уровне 1,5–2 м – до 32 %, что очень важно для определения места воздухозабора приточной механической вентиляции зданий.

4. Номограммы и расчетные зависимости внедрены в ЗАО «Тюменский институт по проектированию объектов агропромышленного комплекса» при строительстве административного высотного здания с учетом оживленной транспортной магистрали (улица Мельникайте, г. Тюмень) с интенсивностью свыше 2000 авт./ч. Данные рекомендации по оценке прогнозируемого уровня концентраций оксида углерода (II) в наружном воздухе позволили при проектировании принудительной вентиляции зданий выбрать оптимальную высоту забора наружного воздуха.

Литература

1. Малявина Е.Г. Воздушный режим высотного здания в течение года // АВОК. 2003. №6. С. 14.
2. Grimsrud D.T., Hadlich D.E. Residential pollutants and ventilation strategies: moisture and combustion products // ASHRAE. №145. 1999. Pp. 147.
3. Ливчак В.И. Решения по вентиляции многоэтажных жилых зданий // АВОК. 1999. №6. С. 21–25.
4. Ливчак И.Ф. Вентиляция многоэтажных жилых домов. М.: Гос. изд-во архитектуры и градостроительства. 1951. 140 с.
5. Ливчак И.Ф. Развитие теплоснабжения, климатизации в России за 100 последних лет. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. 149 с.

References

1. Malyavina Y.G. Vozdushnyy rezhim vysotnogo zdaniya v techeniye goda [Air regime of high-rise building in the course of a year]. ABOK. 2003. No. 6. Pp. 14. (rus)
2. Grimsrud D.T., Hadlich D.E. Residential pollutants and ventilation strategies: moisture and combustion products. ASHRAE. No.145. 1999. Pp. 147.
3. Livchak V.I. Resheniya po ventilyatsii mnogoetazhnykh zhilykh zdaniy [Solution for ventilation of high-rise dwelling buildings]. ABOK. 1999. No. 6. Pp. 21–25. (rus)
4. Livchak I.F. Ventilyatsiya mnogoetazhnykh zhilykh domov [Ventilation of high-rise dwelling buildings]. Moscow: Gos. iz-vo arkhitckтуры i gradostroitelstva. 1951. 140 p.(rus)
5. Livchak I.F. Razvitiye teplosnabzheniya, klimatizatsii v Rossii za 100 poslednikh let [Development of heating and

Litvinova N.A. The air supply hole of the inlet chamber and preventing the inflow of harmful impurities into the ventilation system

6. Jones N.L. Body carbon monoxide storage capacity exercise // *Environ. Exercise Physiol.* 2000. №4(46). Pp. 811–815.
7. Табунщиков Ю. А. Проблемы высотных зданий // АВОК. 2002. №1. С. 5–8.
8. Наумов А.Л. Оценка расхода теплоты на отопление и вентиляцию в жилых зданиях // АВОК. 2007. №8. С. 8–12.
9. Сидоренко В.Ф. О расчете концентраций окиси углерода в воздухе автомагистралей и прилегающей жилой застройки // Гигиена и санитария. 1974. №1. С. 7.
10. Сидоренко В.Ф., Михеев В.Ф. Методика расчета концентраций выхлопных газов автотранспорта в жилой застройке. Киев: Инженерно-строительный институт. 1986. 20 с.
11. Шелейховский Г.В. Задымление городов. М.: Министерство коммунального хозяйства РСФСР. 1959. 120 с.
12. Шелейховский Г. В. Микроклимат южных городов. М.: Изд. АМН СССР. 1960. 168 с.
13. Рябов С.Н. Разработка характеристик комплексной оценки экологической оценки безопасности воздушной среды жилых помещений и мероприятия по ее обеспечению: дисс...канд. техн. наук: 03.00.16, 05.23.03. Волгоград. 2005. 135 с.
14. Скипин Л.Н. Природоохранные мероприятия снижения эмиссии углекислого газа // *Аграрный вестник Урала.* 2013. №9(115). С. 77–79.
15. Сапега В.А. Изменение основных параметров выбросов загрязняющих веществ и охрана атмосферного воздуха в Тюменской области // Труды материалов международной научно-практической конференции: актуальные проблемы строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири. Тюмень: ТюмГАСУ. 2014. С. 185–191.
16. Жилияков Е.В. Здоровье населения как интегральный показатель качества окружающей среды // *Санитарный врач.* 2009. №4. С. 44–47.
17. Литвинова Н.А. Автотранспорт и чистота воздуха в жилых помещениях // Труды материалов III международной научно-практической конференции: актуальные проблемы строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири. Тюмень: ТюмГАСУ. 2010. С. 113–116.
18. Дацюк Т.А. Моделирование рассеивания вентиляционных выбросов // Труды СПбГАСУ. СПб.: Изд-во СПбГАСУ. 2000. №1. С. 12–14.
19. Atmospheric measurements of trace pollutants; Long path fourier transform infrared spectroscopy // *Advances in Environmental Science and Technology.* 1980. №4(10). Pp. 259–300.
20. Indoor Pollutants // *The National Academies Press.* 1981. №14(12). Pp. 145–156.
21. Woodruff N. P., Zingg A. W. Wind tunnel studies of shelterbelt models // *Journal of Forestry.* 1953. №3(51). Pp. 34–35.
22. Yocom, J.E. Indoor-outdoor air quality relationships. A critical review // *Journal of the Air Pollution Control Association.* 1982. №10(32). Pp. 500–520.
23. Sarkar S. Survey of Indoor Air Pollution and Health Symptoms at Residential Buildings // *International Letters of Natural Sciences.* University of Calcutta. 2014. Pp. 17–30.
24. Challoner G. Indoor / outdoor air quality relationship in urban commercial buildings // *ITRN2011 University College Cork.* 2011. Pp. 1–5.
25. Artiñano B. Influence of traffic on the PM10 and PM2.5 urban aerosol fractions in Madrid (Spain) // *Science of The Total Environment.* 2004. №. 5. Pp. 111–123.
- climatisation in Russia for the last 100 years]. Moscow: Izd-vo Assotsiatsii stroitelnykh vuzov. 2004. 149 p.(rus)
6. Jones N.L. Body carbon monoxide storage capacity exercise. *Environ. Exercise Physiol.* 2000. No. 4(46). Pp. 811–815.
7. Tabunshchikov Yu. A. Problemy vysotnykh zdaniy [Problems of high-rise buildings]. *ABOK.* 2002. No. 1. Pp. 5–8. (rus)
8. Naumov A.L. Otsenka raskhoda teploty na otopleniye i ventilyatsiyu v zhilykh zdaniyakh [Estimate of heat consumption for heating and ventilation in dwelling buildings]. *ABOK.* 2007. No. 8. Pp. 8–12. (rus)
9. Sidorenko V.F. O raschete kontsentratsiy okisi ugleroda v vozdukhe avtomagistraley i prilgayushchey zhiloy zastroyki [About calculation of carbon monoxide concentration in air of highways and neighboring apartment block]. *Gigiya i Sanitariya.* 1974. No. 1. Pp. 7. (rus)
10. Sidorenko V.F., Mikheyev V.F. *Metodika rascheta kontsentratsiy vykhlopnykh gazov avtotransporta v zhiloy zastroyke* [Calculation procedure of transport exhaust concentration in apartment block]. Kiyev: Inzhenerno-stroitelnyy institut. 1986. 20 p.(rus)
11. Sheleykhovskiy G.V. *Zadymleniye gorodov* [Smoke pollution in cities]. Moscow: Ministerstvo kommunalnogo khozyaystva RSFSR. 1959. 120 p.(rus)
12. Sheleykhovskiy G. V. *Mikroklimat yuzhnykh gorodov* [Microclimate of south towns]. Moscow: Izd. AMN SSSR, 1960. 168 p.(rus)
13. Ryabov S.N. *Razrabotka kharakteristik kompleksnoy otsenki ekologicheskoy otsenki bezopasnosti vozduшной sredy zhilykh pomeshcheniy i meropriyatiya po yeye obespecheniyu: dis...kand. tekhn. nauk: 03.00.16, 05.23.03* [Complex evaluation characteristics designing of air safety estimation of living spaces and its assurance: candidate theses]. Volgograd. 2005. 135 p. (rus)
14. Skipin L.N. Prirodookhrannyye meropriyatiya snizheniya emissii uglekislogo gaza [Nature-conservative measures for CO2 degradation emission]. *Agrarian Bulletin of the Urals.* 2013. No. 9(115). Pp. 77–79. (rus)
15. Sapega V.A. Izmeneniye osnovnykh parametrov vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv i okhrana atmosfernogo vozdukha v Tyumenskoj oblasti [measuring of pollutant emission critical parameters and atmosphere protection in Tyumen Oblast]. *Trudy materialov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: aktualnyye problemy stroitelstva, ekologii i energosberezheniya v usloviyakh Zapadnoy Sibiri Sbornik.* Tyumen: TyumGASU. 2014. Pp. 185–191. (rus)
16. Zhilyakov Ye.V. Zdorovye naseleniya kak integralnyy pokazatel kachestva okruzhayushchey sredy [Health of communities like integral performance index of environment]. *Sanitarnyy vrach.* 2009. No. 4. Pp. 44–47. (rus)
17. Litvinova N.A. Avtotransport i chistota vozdukha v zhilykh pomeshcheniyakh [Motor transport and air cleanness in living space]. *Trudy materialov III mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: aktualnyye problemy stroitelstva, ekologii i energosberezheniya v usloviyakh Zapadnoy Sibiri Sbornik.* Tyumen: TyumGASU. 2010. Pp. 113–116.
18. Datsyuk T.A. Modelirovaniye rasseivaniya ventilyatsionnykh vybrosov [Simulation of emission dispersion]. *Trudy SPbGASU.* 2000. No. 1. Pp. 12–14. (rus)
19. Atmospheric measurements of trace pollutants; Long path fourier transform infrared spectroscopy. *Advances in Environmental Science and Technology.* 1980. No. 4(10). Pp. 259–300.
20. Indoor Pollutants. *The National Academies Press.* 1981. No. 14(12). Pp. 145–156.
21. Woodruff N.P., Zingg A.W. Wind tunnel studies of

Литвинова Н.А. Воздухоприемное отверстие приточной камеры и предотвращение поступления в вентиляционную систему вредных примесей

26. Dimitroulopoulou S. Modelling of indoor exposure to nitrogen dioxide in the UK. // *Atmospheric Environment*. 2001. №35. Pp. 269–279.
27. Ye Wu. Vertical and horizontal profiles of airborne particulate matter near major roads in Macao, China // *Atmospheric Environment*. 2001. №36. Pp. 4907–4918.
28. Ozturk A. The building as an effective factor to indoor air quality defining the building as a source of indoor air pollution // *Proceedings of the Third International Symposium on Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales & 14th IUAPPA Regional Conference, Istanbul, Turkey, September 26-30. 200. Pp. 26–28.*
29. Lawrence A. Indoor air quality and indoor/outdoor relationship in domestic homes of central part of India. // *third International Symposium on AIR QUALITY MANAGEMENT at Urban, Regional and Global Scales. Turkey: AIR QUALITY MANAGEMENT. 2005. Pp. 24–26.*
30. Казакевич М.И. Актуальные проблемы здания и аэродинамика // *Труды молодых ученых: тезисы докладов. Киев: Национальный университет железнодорожного транспорта Днепропетровский Вольт, 2007. С. 152–161.*
31. Aldeberky A.A. The influence of high-rise buildings on the environment // *Atmospheric Environment*. 2007. Pp. 180–191.
32. Aldeberky A.A. Environmental adaptation of urban design for desert settlements in Upper Egypt. *dis...kand. science. 2005. 150 p.*
- shelterbelt models. *Journal of Forestry*. 1953. No. 3(51). Pp. 34–35.
22. Yocom J.E. Indoor-outdoor air quality relationships. A critical review. *Journal of the Air Pollution Control Association*. 1982. No. 10(32). Pp. 500–520.
23. Sarkar S. Survey of Indoor Air Pollution and Health Symptoms at Residential Buildings. *International Letters of Natural Sciences. University of Calcutta*. 2014. Pp. 17–30.
24. Challoner G. Indoor / outdoor air quality relationship in urban commercial buildings. *ITRN2011 University College Cork*. 2011. Pp. 1–5.
25. Artiñano B. Influence of traffic on the PM10 and PM2.5 urban aerosol fractions in Madrid (Spain). *Science of the Total Environment*. 2004. No. 5. Pp. 111–123.
26. Dimitroulopoulou S. Modelling of indoor exposure to nitrogen dioxide in the UK. *Atmospheric Environment*. 2001. No. 35. Pp. 269–279.
27. Ye Wu. Vertical and horizontal profiles of airborne particulate matter near major roads in Macao, China. *Atmospheric Environment*. 2001. No. 36. Pp. 4907–4918.
28. Ozturk A. The building as an effective factor to indoor air quality defining the building as a source of indoor air pollution. *Proceedings of the Third International Symposium on Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales & 14th IUAPPA Regional Conference, Istanbul, Turkey, September 26-30. 200. Pp. 26–28.*
29. Lawrence A.Yu. Indoor air quality and indoor/outdoor relationship in domestic homes of central part of India. *Third International Symposium on AIR QUALITY MANAGEMENT at Urban, Regional and Global Scales. Turkey. 2005. Pp. 24–26.*
30. Kazakevich M.I. Aktualnyye problemy zdaniya i aerodinamika [Urgent problems of high-rise building aerodynamics]. *Trudy molodykh uchenykh: tezisy dokladov* [Transactions of young scientists]. Kiev: National University of Railway Transport. 2007. Pp. 152–161. (rus)
31. Aldeberky A.A. The influence of high-rise buildings on the environment. *Atmospheric Environment*. 2007. Pp. 180–191.
32. Aldeberky A.A. *Environmental adaptation of urban design for desert settlements in Upper Egypt.theses. 2005. 150 p.*

Наталья Анатольевна Литвинова,
 +7(952)3471233; эл. почта:
 litvinova2010-litvinova2010@yandex.ru

Natalya Litvinova,
 +7(952)3471233;
 litvinova2010-litvinova2010@yandex.ru

© Литвинова Н.А., 2015