

DOI: 10.18454/mca.2016.01.2

Балакин В.В.<sup>1</sup>, Сидоренко В.Ф.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кандидат технических наук, <sup>2</sup>доктор технических наук,

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГИГИЕНИЧЕСКИХ НОРМАТИВОВ ВЫБРОСОВ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В ВОЗДУХЕ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫМИ СРЕДСТВАМИ

*Аннотация*

Получена зависимость концентрации оксида углерода от скорости ветра, преобразуемая для расчета оптимального аэрационного режима уличного пространства, обеспечивающего гигиенические нормативы содержания токсичных компонентов отработавших газов.

Приводится гигиеническое обоснование оптимальных вариантов застройки магистральных улиц, исключающих случаи опасного загрязнения атмосферного воздуха выбросами автомобильного транспорта.

Отмечена оздоровительная роль обходных магистральных дорог скоростного движения, трассируемых на внеселитебных территориях, и бестранспортных зон, создаваемых в квартальной застройке городских центров.

**Ключевые слова:** улица; скорость ветра; оксид углерода; предельно допустимая концентрация.

Balakin V.V.<sup>1</sup>, Sidorenko V.F.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD in Engineering, <sup>2</sup>PhD in Engineering,

Volgograd State University of Architecture & Civil Engineering

## CITY DEVELOPMENT FOR KEEPING POLLUTANT CONCENTRATIONS FROM MOTOR VEHICLES IN RESIDENTIAL AREAS IN ACCORDANCE WITH AIR QUALITY STANDARDS

*Abstract*

The dependency of carbon monoxide concentrations on wind speed has been obtained in the field studies. It is used in determining optimum ventilation modes for street space to ensure keeping the content of the toxic components from automobile exhaust in accordance with public health standards.

Environmental basis for development optimization for busy primary streets has been provided to avoid dangerous levels of ambient air pollution with automobile emissions.

Positive effect on air quality from belt roads, bypass roads and pedestrian areas situated in city centers is noted.

**Keywords:** street, wind speed, carbon monoxide, maximum permissible concentration.

Результаты многочисленных эколого-гигиенических и социально-экономических исследований, выполненных в последнее время, указывают на то, что в крупных и крупнейших городах автомобильный транспорт становится ведущим фактором экологического риска [1-5]. Его негативные проявления угрожают, прежде всего, здоровью населения.

Обследования населения, проживающего в микрорайонах и кварталах, ограниченных магистральными улицами с различной интенсивностью и составом движения, показывают, что причины возникновения большинства болезней у городских жителей имеют ярко выраженную экологическую составляющую и во многих случаях обусловлены несоответствием параметров формируемой среды обитания требованиям человеческого организма.

В Иваново заболеваемость такими болезнями, как хронический тонзиллит и гипертрофия миндалин дошкольников, посещавших детские сады, расположенные в центральной части города, связывается с повышенным загрязнением атмосферного воздуха. Здесь отмечено 46% случаев хронических воспалительных заболеваний верхних дыхательных путей, приходящихся на 1000 детей, при средней по городу заболеваемости 22,6 % [5]. Как показали расчеты, магистральные улицы, окружающие детские дошкольные учреждения именно в этой части города, характеризуются наибольшим валовым выбросом загрязняющих веществ от автомобильного транспорта. Индекс загрязнения атмосферы этих улиц изменяется в пределах от 18,18 до 26,66 при среднем значении по городу 12,99 [3].

В Ереване факторами, в наибольшей степени вызывающими острые респираторные заболевания у детей дошкольного возраста, среди 32 рассмотренных (биологических, социально-гигиенических, природно-климатических и др.) оказались загрязнение атмосферного воздуха и высокая плотность сети магистралей [6]. При сравнительной оценке физического развития дошкольников в 5 микрорайонах города установлено, что уменьшение влияния этих факторов в 2 раза приводит к увеличению количества детей с хорошим физическим состоянием соответственно на 43,5-44,7 и 9,9%.

Уменьшение плотности магистральной сети в городских центрах с исторически сложившейся планировкой достигается достаточно дорогостоящим, но эффективным мероприятием – объединением мелких кварталов шириной 100-150 м в современные жилые образования. При этом предусматриваются снос малоценной застройки и освобождение территории формируемых таким путем микрорайонов от сквозного движения всех видов транспорта с полной передачей отдельных узких улиц в распоряжение пешеходов (ул. Красная в Краснодаре, ул. Кирова в Астрахане, ул. Большая Покровская в Нижнем Новгороде и др.).

В ходе детального изучения пространственного распределения детской заболеваемости на Васильевском острове в Санкт-Петербурге была обнаружена неравномерность данного показателя для детей, проживающих на четных и нечетных линиях застройки магистральных улиц [7]. Причина имеющихся здесь отличий заключается в том, что при преобладании в этом городе западных ветров в теплый период года, характеризующийся наибольшей интенсивностью движения автомобилей, нечетные линии оказываются наветренными господствующему направлению воздушных потоков. В этом случае ветер вызывает образование в пространстве плотно застроенных улиц рециркуляционных вихревых потоков, увлекающих загрязняющие вещества с проезжей части к подветренным фасадам зданий.

Результаты наших исследований в крупных городах показывают, что влияние скорости ветра на концентрацию выбросов автомобилей в воздухе магистральных улиц, с учетом характера их застройки, оценивается корреляционным отношением  $r$  в пределах 0,7 – 0,8. Оно соизмеримо с влиянием интенсивности движения ( $r = 0,85–0,9$ ) и отношения высоты застройки к ширине улицы ( $r = 0,6–0,7$ ). При скоростях ветра 3–5 м/с, не превышающих комфортных и допустимых значений по теплоощущениям человека (согласно физиолого-гигиенической классификации, предложенной И.С. Кандрор и др. [8]) предельно-допустимые концентрации (ПДК) отработавших газов (ОГ) автомобилей по ведущим компонентам обеспечиваются на 40–70% общей протяженности магистральных дорог и улиц городов.

Исходя из этого, можно утверждать, что соответствие прогнозируемого загрязнения атмосферного воздуха компонентами ОГ на застраиваемых участках магистральных улиц гигиеническим нормативам может поддерживаться в определенных климатических областях оптимальным аэрационным режимом уличного пространства, обеспечиваемым градостроительными средствами – выбором оптимальных приемов планировки и застройки.

Зависимость концентрации оксида углерода (СО) – ведущего компонента ОГ в воздухе ( $q$ , мг/м<sup>3</sup>) от скорости ветра ( $u$ , м/с) на высоте 1,5 м над краем проезжей части транспортного сооружения определяется экспоненциальной зависимостью [9]:

$$q = A \cdot e^{-\alpha u} \quad (1)$$

где  $e$  – основание натурального логарифма;  $A$  и  $\alpha$  – числовые коэффициенты.

Пользуясь формулой (1), можно оценить качество аэрации городских улиц, с точки зрения обеспечения ожидаемых концентраций атмосферных загрязнителей санитарным нормативам. Здесь должно соблюдаться условие

$$ПДК_j = A \cdot e^{-\alpha u_{ПДК_j}} \quad (2)$$

где ПДК<sub>*j*</sub> – предельно допустимая максимально разовая концентрация отдельно взятого компонента ОГ (мг/м<sup>3</sup>);  $u_{ПДК_j}$  – скорость ветра, обеспечивающая разбавление данного компонента в воздухе до ПДК (м/с).

В результате деления (1) на (2) и логарифмирования имеем:

$$u_{ПДК_j} - u = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{q_j}{ПДК_j} \quad (3)$$

где  $u$  – наблюдаемая в реальных условиях или прогнозируемая по предлагаемому проектному решению участка магистральной уличной сети скорость ветра (м/с);  $(u_{ПДК_j} - u) = \Delta u$  – естественный ресурс самоочищения улицы или дефицит скорости ветра, необходимый для доведения концентрации ингредиента в атмосферном воздухе до санитарной нормы (м/с);  $\frac{q_j}{ПДК_j}$  – содержание вредного вещества в воздухе (в единицах ПДК), здесь  $q_j$  – концентрация изучаемого компонента ОГ в атмосферном воздухе (мг/м<sup>3</sup>).

При гигиенической оценке прогнозируемого аэрационного режима и ожидаемого загрязнения атмосферного воздуха СО на проектируемых участках магистральных улиц рекомендуется пользоваться формулой [10]:

$$q_{ПГ} = \frac{\sqrt{N \cdot F}}{e^{\frac{u \varphi k + 1}{3}}} \left[ 1 + 1,17 \sqrt{\left( \frac{H}{B} \right)^3} \right] \quad (4)$$

где  $q_{ПГ}$  – начальная концентрация СО на участке с установившимся режимом (середина перегона) в мг/м<sup>3</sup>;  $N$  – интенсивность движения автомобилей, авт/ч;  $F$  – коэффициент, определяемый по формуле  $F = 10^{-4} \cdot 1,75(10^{-2} \cdot 1,43p + 1)V^2 - 10^{-2} \cdot 2,67 \cdot (10^{-3} \cdot 5,14p + 1)V + 1$ , здесь  $V$  – скорость потока автомобилей, км/ч,  $p$  – процент грузовых автомобилей и автобусов в потоке;  $e$  – основание натурального логарифма;  $H$  – средняя высота двусторонней застройки улицы, м (при односторонней застройке или ее полном отсутствии на улице  $H$  принимается равной нулю);  $B$  – ширина улицы между линиями застройки, м;  $u$  – скорость ветра на высоте флюгера по данным метеостанции, м/с;  $\varphi$  – коэффициент приведения скорости ветра к 1,5-метровой высоте (для флюгера на высоте 10м, согласно логарифмическому закону возрастания скорости ветра с высотой,  $\varphi = 0,73$ );  $k$  – относительная скорость ветра или коэффициент, определяющий деформацию набегающего воздушного потока по скорости под влиянием застройки.

Для всестороннего анализа влияния приемов застройки на коэффициент  $k$ , введенный в выражение (4), необходимо установить функциональные зависимости относительной скорости ветра от геометрических параметров, характеризующих возможные компоновки зданий на улицах. При этом важно проследить, при каких планировочных условиях вихревые зоны, образованные отдельными зданиями, объединяются в единую область замкнутой циркуляции воздушных масс, охватывающей все уличное пространство и приводящей к повышенной загазованности атмосферного воздуха.

В соответствии с задачами исследования была выполнена серия анемометрических испытаний крупномасштабных моделей городских улиц на открытой горизонтальной площадке с асфальтобетонным покрытием. В эксперименте использованы макеты 5-этажных жилых зданий в масштабе 1:20, компонованных отдельными секциями с

соотношением высоты, длины и ширины 1:0,9:0,8 на участке улицы протяженностью 300 м. Угол между направлением воздушного потока и продольной осью фрагментов улицы в период эксперимента был близок к 90°.

Измерения производили чашечными анемометрами МС-13 на уровне 100 мм, что соответствовало в реальных условиях высоте 2 м. Включение и выключение приборов, устанавливаемых в характерных точках на поперечных и продольных сечениях модели улицы, производилось одним и тем же числом операторов, причем каждый двигался по пунктам наблюдений по определенной траектории.

Для интерпретации полученных функциональных зависимостей  $k$  от параметров поперечного профиля уличного каньона воспользуемся обобщающим геометрическим критерием, предложенным Э.Ю.Реттером [11]:

$$z = b/H, \quad (5)$$

где  $b$  – расстояние от наветренного фасада первого по потоку ряда застройки до оси улицы.

Вычисленные в результате статистической обработки показаний приборов значения  $k$  в зависимости от критерия  $z$  для наиболее характерных типов застройки улиц приведены в таблице 1.

Здесь величина  $\delta$  характеризует степень «продуваемости» застройки улицы:

$$\delta = 1 - \sum l_i / L_{\Pi}, \quad (6)$$

где  $\sum l_i$  – общая длина зданий по контуру участка улицы;  $L_{\Pi}$  – протяжённость периметра моделируемого участка улицы по линиям регулирования застройки и ширине улицы.

Результаты эксперимента показывают, что в условиях различной плотности застройки при значениях  $z$  от 2 до 4, т.е. при  $B = (2-6)H$  имеется возможность максимального сохранения скорости ветра на улицах. Наиболее заметен этот эффект при значительных разрывах в точечной застройке с наветренной стороны, когда аэрационный режим несущественно зависит от ширины улицы (кривые 1 и 4 на рис.1).

Таблица 1 – Коэффициенты трансформации скорости ветра на городских улицах под влиянием застройки

Тип застройки	$\delta$	Значения $k$ в зависимости от критерия $z$						
		1,3	1,8	2,3	2,8	3,8	4,8	5,8
Точечная с разрывами 30 м	0,64	0,80	0,84	0,89	0,95	0,92	0,95	0,99
Точечная с разрывами 15 м	0,47	0,65	0,71	0,70	0,68	0,74	0,89	0,98
2-секционная с разрывами 30 м	0,46	0,80	0,86	0,85	0,84	0,86	0,94	0,99
2-секционная с разрывами 15 м	0,30	0,77	0,84	0,82	0,73	0,71	0,87	0,96
3-секционная с разрывами 15 м	0,21	0,85	0,94	0,84	0,94	1,00	0,99	1,00
4-секционная с разрывами 15 м	0,16	1,02	1,02	0,95	0,98	0,93	0,98	1,00
Многосекционная без разрывов	0	0,82	1,04	0,91	0,91	0,95	0,95	0,97

Скорость ветра на улицах незначительно снижается (не более чем на 20%) и даже увеличивается при застройке многосекционными зданиями ( $l \geq 2l_0$ ) – кривые 4–7 на рис.1 и 5–7 на рис.2. Однако при принятии проектных решений следует иметь в виду, что при такой планировочной ситуации на улицах, трассируемых по перпендикуляру к господствующему направлению ветра, могут наблюдаться случаи опасного загрязнения, обусловленные замкнутой обратной циркуляцией примесей. Признаки такого движения обнаруживаются при  $z = 1,5 - 2,5$ , т.е. при  $B = 1-3H$ , и переходе от точечной застройки к 2–3-секционной фронтальной при разрывах 15 м (кривые 2,3 и 5 на рис.1), а также при ее уплотнении в ряду (кривые 3 и 4). Обратная циркуляция наиболее выражена при незначительных разрывах в застройке или их отсутствии (кривые 6 и 7 на рис.1, 2).

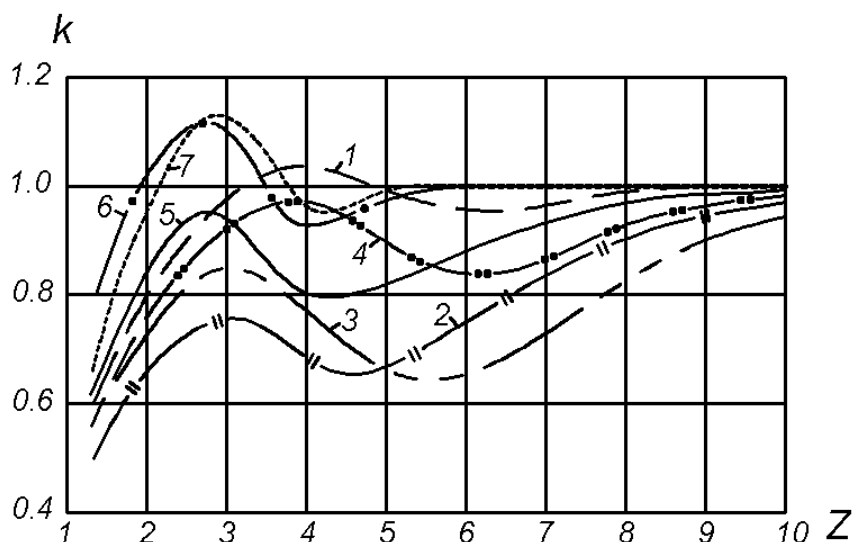


Рис. 1 – Изменение относительной скорости воздушного потока над проезжей частью улицы у середины фасадов зданий в зависимости от критерия  $z$ .

1 – при  $\delta = 0,64$  ( $l = l_0$ ;  $l_p = 2 l_0$ ); 2 –  $0,47$  ( $l = l_0$ ;  $l_p = l_0$ ); 3 –  $0,46$  ( $l = 2 l_0$ ;  $l_p = 2 l_0$ ); 4 –  $0,30$  ( $l = 2 l_0$ ;  $l_p = l_0$ );

5 –  $0,21$  ( $l = 3 l_0$ ;  $l_p = l_0$ ); 6 –  $0,16$  ( $l = 4 l_0$ ;  $l_p = l_0$ ); 7 –  $0$  ( $l = L_0 = 20 l_0$ ;  $l_p = 0$ ).

$l$  – длина зданий по линиям регулирования застройки;  $l_0$  – ширина секции;  $l_p$  – величина разрыва между зданиями;  $L_0$  – протяженность участка улицы.

По оси абсцисс – отношение расстояния от наветренного фасада первого по направлению воздушного потока ряда застройки до оси улицы к средней высоте двусторонней застройки. По оси ординат – отношение скорости ветра в точках измерений на улице на высоте 1,5 м к скорости свободного воздушного потока на той же высоте.

Из рисунков 1 и 2 также следует, что в интервале изменения параметра  $z$  от 3,5 до 6 наблюдается локальный минимум скорости ветра, поскольку, согласно [11], возникающие между зданиями с подветренной стороны турбулентные струи «отдают часть кинетической энергии наветренной стене» защищенного ряда зданий. Затем отмечается плавное возрастание и выравнивание скорости ветра по мере увеличения ширины улиц.

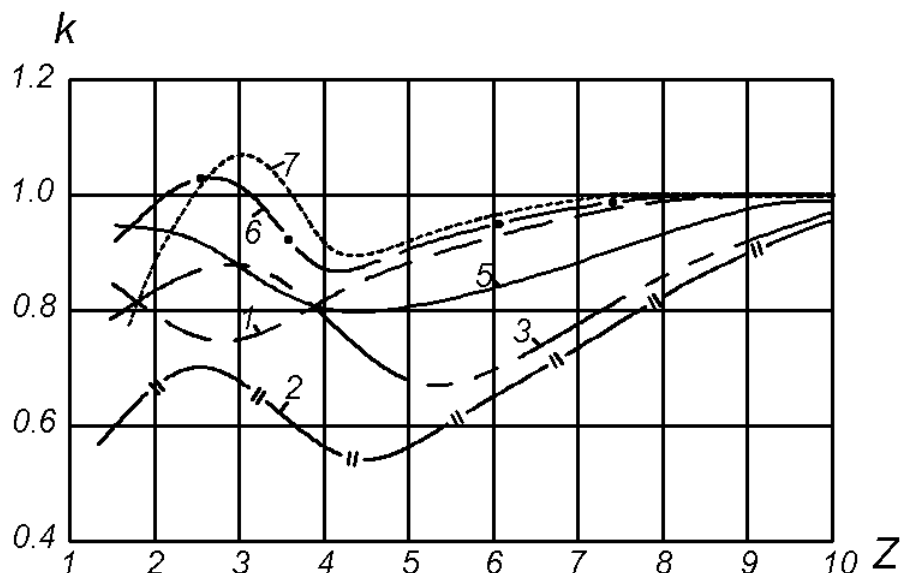


Рис. 2 – Изменение относительной скорости воздушного потока над проезжей частью улицы в зоне разрывов между зданиями в зависимости от критерия  $z$ . 1-3; 5-7 – см. рис.1. По осям абсцисс и ординат – то же, что на рис. 1

По характеру кривых на рис.3 видно, что влияние продуваемости застройки на снижение скорости ветра на улицах является наиболее ощутимым при значениях  $\delta$  в пределах от 0,3 до 0,5 (кривые 1–5).

Это можно объяснить появлением и постепенным увеличением количества хаотичных по направлениям, в том числе и встречных, горизонтальных вихрей мелкого масштаба у углов зданий по мере размыкания и повышения

степени «перфорации» застройки в вертикальной проекции. По этой причине, как видно по расположению кривых на рис.1 и 2, «тормозящее» влияние застройки на воздушный поток проявляется сильнее в области разрывов между зданиями, чем у середины их фасадов. Причем такая особенность более выражена при точечной и 2-х-секционной застройке с разрывами в ряду в пределах 15–30 м (кривые 2 и 3).

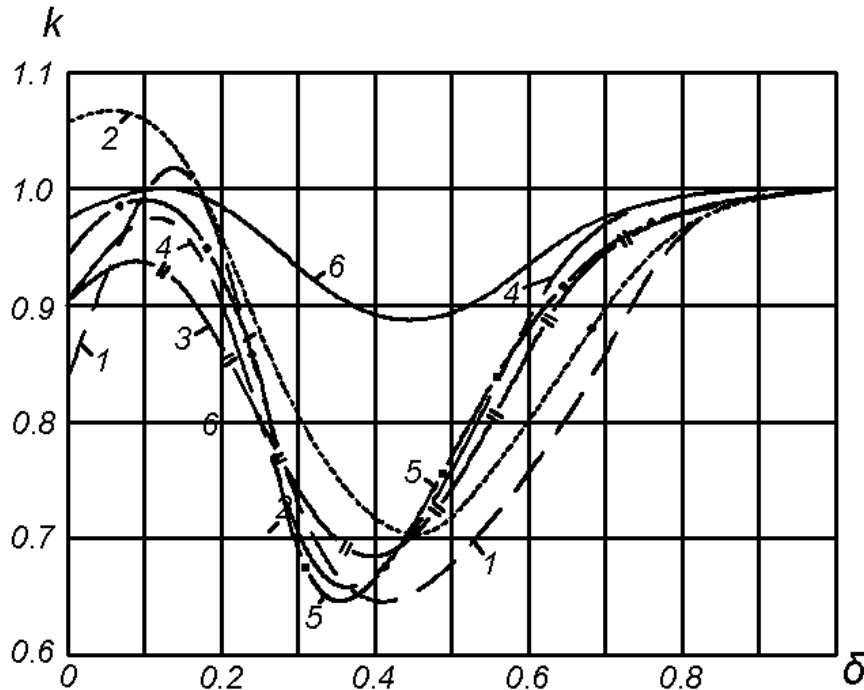


Рис.3 – Зависимость коэффициента трансформации скорости воздушного потока над проезжей частью от доли разрывов между зданиями на линии застройки:

1 – при геометрическом параметре  $z = 1,3$ ; 2 –  $1,8$ ; 3 –  $2,3$ ; 4 –  $2,8$ ; 5 –  $3,8$ ; 6 –  $5,8$ .

По оси абсцисс – отношение общей протяженности разрывов между зданиями по линиям регулирования застройки к протяженности периметра фрагмента улицы. По оси ординат – то же, что на рис.1 и 2.

Вместе с тем, кривые 2 и 4 на рисунке 1 показывают, что при практически одинаковых разрывах показатели снижения скорости ветра у односекционной (точечной) застройки выше на 15-20 %, чем у двухсекционных зданий. А сравнивая здесь же кривые 1 и 2, можно видеть, что сокращение разрывов в точечной застройке вдвое может привести, например, при ширине улицы  $3H$  к снижению скорости ветра до 30 %.

Влияние доли разрывов в застройке на падение скоростей ветра на улицах сглаживается по мере увеличения протяженности самих зданий на линиях застройки. Немногочисленные открытые участки между ними уже незначительно влияют на деформацию ветра по скорости в уличном пространстве. Однако происходящее при этом уменьшение  $\delta$  от оптимальных значений по ветрозащитным свойствам до нуля сопровождается формированием между зданиями устойчивого вихря, стимулируемого стесненной фронтальной застройкой.

В то же время, по ходу кривых на рис.3 можно заключить, что по мере разуплотнения застройки в диапазоне значений  $\delta = 0,5 - 1,0$  и увеличения ширины каньона больше  $10H$ , т.е. при  $z > 5,8$  (кривая 6 на рис. 3), ее влияние на скорость ветра в уличном пространстве практически нивелируется. Наиболее эффективно это происходит при использовании точечной застройки с достаточно большими разрывами ( $l_p \geq 2 l_0$  – кривая 1 на рис. 1). При таких условиях вихрь между зданиями разрушается, а связанная с ним опасность повышенного загрязнения воздуха на магистральных улицах, ориентированных перпендикулярно к преобладающим направлениям ветра, ликвидируется.

#### Выводы

1. Структура и уровень экологически обусловленной заболеваемости городских жителей тесно связаны с пространственным распределением очагов загрязнения атмосферного воздуха на урбанизированной территории, формируемых под влиянием параметров транспортных потоков, архитектурно-планировочных и метеорологических условий.

Учет и ранжирование по значимости транспортно-планировочных факторов, определяющих уровень заболеваемости населения, позволяет установить приоритетные направления внедрения средозащитных мероприятий в городах в сфере градостроительства и городского хозяйства.

2. Снижение заболеваемости населения в связи с загрязнением воздушной среды в мегаполисах в условиях прогрессирующей автомобилизации достигается в результате реализации транспортно-градостроительных мероприятий крупного масштаба. К ним относятся: перевод транзитных потоков автомобилей на сеть магистральных дорог скоростного движения, прокладываемых на внеселитебных территориях, в пригородных зонах и в пределах агломерации; развитие действующих и строительство новых линий современных видов внеуличного транспорта (монорельсовой системы, легкого метрополитена, речного трамвая и т.д.); формирование системы транспортно-

пересадочных узлов, оборудованной перехватывающими парковками; создание бестранспортных зон в переуплотненной застройке центральных планировочных районов с интенсивным пешеходным движением и др.

3. В целях снижения уровня загазованности магистральных улиц в городах и исключения случаев опасного загрязнения, связанного с замкнутой циркуляцией воздушных потоков при поперечных господствующих направлениях ветра, необходимо применять более свободные приемы планировки застройки при ограниченном количестве многосекционных зданий. Например, смещение их осей в ряду, расположение под углом к линии застройки, увеличение отступа от проезжей части, чередование этажности и изменение конфигурации в плане.

#### Литература

1. Фокин С.Г. Оценка воздействия на население Москвы загрязнений атмосферного воздуха канцерогенными веществами // Гигиена и санитария. – 2010. – №1. – С.18-21.

2. Глухих А.Р. Загрязнение городской среды автотранспортом. Здоровье населения и среда обитания // Ежемесячный информационный бюллетень. – 2002. – №1. С. 25-29.

3. Родивилова О.В. Оценка воздействия автотранспорта на окружающую среду урбанизированных территорий (на примере г. Иванова): дис. канд. техн. наук. – Иваново, 1999. – С.105-114.

4. Петров Б.П. Компоненты отработавших газов и их влияние на здоровье человека и природу // Автомобильный транспорт. – 1996. – №3. С.24-25.

5. Морозова Л.Н., Воскун С.Е., Базеров М.А., Свечина Н.Н. Состояние здоровья населения, проживающего в экологически неблагоприятных городских районах // Гигиена и санитария. – 1998. – № 1. С.34-37.

6. Хачатрян Т.С. Количественная оценка взаимосвязи показателей состояния здоровья детей и факторов среды // Гигиена и санитария. – 1983. – №7. С.18-20.

7. Ванкевич Р.В. Применение методов системного анализа и ГИС-технологий к построению количественных взаимосвязей в системе «автотранспорт-городская среда-здоровье»: дис. канд. техн. наук. – Санкт-Петербург, 2003. – С.105-114.

8. Кандрор И.С., Демина Д.М., Ратнер Е.М. Физиологические принципы санитарно-климатического районирования территории СССР. М.: Медицина, 1974. 176 с.

9. Балакин В.В. Влияние ветрового режима на очищение воздуха магистральных улиц от выбросов автотранспорта // Гигиена и санитария. – 1980. – № 6. С 5-7.

10. Балакин В.В. Оценка загрязнения жилой среды выбросами автомобильного транспорта: материалы III Российско - Германской научно - практической конференции «Современные проблемы безопасности дорожного движения и их решение – дети и молодёжь на дорогах», Волгоград, 6–8 июня 2006. Волгоград. – 2006.С. 268-276.

11. Реттер Э.И. Архитектурно-строительная аэродинамика. М.: Стройиздат, 1984. 294 с.

#### References

1. Fokin S.G. Otsenka vozdeistviya na naseeniye Moskvy zagryaznenii atmosfernogo vozdukha kantserogennymi veshchestvami // Gigiena i sanitariya. – 2010. – №1. – S.18-21.

2. Glukhikh A.R. Zagryazneniye gorodsoi sredey avtotransportom. Zdorovye naseleniya i sreda obitaniya // Egemesyachnyi informatsionny byulleten. – 2002. – №1. S. 25-29.

3. Rodivilova O.V. Otsenka vozdeistviya avtotransporta na okruzhayushuyu sredyu urbanizirovannykh territorii (na primere g.Ivanova): dis.kand.tekhn.nauk. – Ivanovo, 1999. – S.105-114.

4. Petrov B.P. Komponenty otrabotavshikh gazov i ikh vliyanie na zdorove cheloveka i prirodu // Avtomobilnyi transport. – 1996. – №3. С.24-25.

5. Morozova L.N., Voskun S.E., Bazerov M.A., Svechina N.N. Sostoyanie zdorovya naseleniya, prozhivayushogo v ekologicheski neblagopoluchnykh gorodskikh rayonakh // Gigiena i sanitariya. – 1998. – № 1. S.34-37.

6. Khachatryan T.S. Kolichestvennaya otsenka vzaimosvyazi pokazatelei sostoyaniya zdorovya detei i faktorov sredey // Gigiena i sanitariya. – 1983. – №7. S.18-20.

7. Vankevich R.V. Primenenie metodov sistemnogo analiza i GIS-tehnologii k postroeniyu kolichestvennykh vzaimosvyazei v sisteme «avtotransport-gorodskaya sreda-zdorovye»: dis.kand.tekhn.nauk. – Sankt-Peterburg, 2003. – S.105-114.

8. Kandror I.S., Dyomina D.M., Ratner E.M. Fiziologicheskie printsipy sanitarno-klimaticheskogo raionirovaniya territorii SSSR.M.: Meditsina, 1974. 176 s.

9. Balakin V.V. Vliyanie vetrovogo rezhima na ochisheniye vozdukha magistralnykh ulits ot vybrosov avtotransporta // Gigiena i sanitariya. – 1980. – № 6. S 5-7.

10. Balakin V.V. Otsenka zagryazneniya zhiloi sredey vybrosami avtomobilnogo transporta: materialy III Rossiisko-Germanskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Sovremenniyi problemy bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya i ikh reshenie – deti i molodyozh na dorogakh», Volgograd, 6–8 iyunya 2006. Volgograd. – 2006.S. 268-276.

11. Retter E.I. Arkhitekturno-stroitel'naya aerodinamika. M.: Stroyizdat, 1984. 294 s.