

О переходе к цифровой модели общеобменной вентиляции торгово-развлекательных комплексов Москвы

Введение

Основными источниками поступления веществ в атмосферу являются: автотранспорт (83%), выбросы от стационарных источников промышленных предприятий (11%). В зависимости от силы воздействия, вредные вещества делят на 4 класса: I - чрезвычайно опасные; II - высокоопасные; III - умеренно опасные; IV - малоопасные. В атмосферном воздухе вредные вещества могут быть в виде газов, паров, аэрозолей. Наибольший вред жизнедеятельности человека наносят следующие вещества: оксид углерода, оксиды азота, диоксид серы, сероводород, хлор, аммиак, пары свинца, ртути.

Критерием качества воздуха является ПДК загрязняющих веществ в воздухе. Она определяется количеством вредного вещества в 1 м³ воздуха, не влияющего на здоровье человека, постоянно находящегося под его воздействием.

По характеру воздействия на организм человека токсические вещества условно подразделяют:

- общетоксические – вызывают отравления всего организма (оксид углерода, цианистые соединения, свинец, ртуть, бензол и др.);
- раздражающие – вызывают раздражение дыхательных путей и слизистых оболочек (хлор, аммиак, диоксид серы, оксиды азота, фтористый водород и др.);
- сенсибилизирующие – вызывают аллергию (формальдегид, растворители и лаки на основе нитро соединений и др.);
- канцерогенные – вызывают раковые заболевания (никель и его соединения, амины, оксиды хрома, асбест и др.);
- мутагенные – приводят к изменению генетической информации (свинец, марганец, радиоактивные вещества и др.);
- влияющие на репродуктивную функцию (ртуть, свинец, стирол, марганец, радиоактивные вещества и др.).

Выделяют вещества фиброгенного действия (различные виды пыли), не взаимодействующие с биологическими жидкостями, но при попадании в бронхи и легкие оседающие в них и вызывающие раздражение слизистых оболочек дыхательных путей.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций, используемых при проектировании производственных зданий, технологических процессов, оборудования, вентиляции, для контроля за качеством производственной среды и профилактики неблагоприятного воздействия на здоровье работающих.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны подлежит систематическому контролю для предупреждения возможности превышения ПДК. Предельно допустимыми концентрациями [2–7] вышеперечисленных, несущих наибольший вред жизнедеятельности человека газов, является: оксид углерода – 20 мг/м³, оксиды азота – 5 мг/м³, диоксид серы – 10 мг/м³, сероводород – 10 мг/м³, хлор – 5 мг/м³, аммиак – 20 мг/м³, пары свинца – 0,01 мг/м³, ртути – 0,01 мг/м³. По г. Москва доминирующим загрязнителем является РМ2,5 – мелкодисперсная пыль (табл. 1, рис. 3), состоящая из твердых частиц и мелких капелек жидкостей с размером от 10 нанометров до 2,5 микрометра. При попадании в легкую и кровеносную систему, РМ2,5 осложняет работу сердца и легких, вызывает кашель, обострение астмы, приводит к развитию хронических респираторных заболеваний.

Анализ технических характеристик систем подготовки воздуха общеобменной вентиляции

Требования к составу вентиляционных установок, фильтрующих РМ2,5:

- Обязательное наличие высокоэффективного фильтра очистки воздуха, созданного на основе НЕРА-технологии. Такие фильтры, как правило, сделаны из нетканного волокнистого материала, который способен задерживать даже самые мелкие загрязнения. Среди бытовых очистителей встречаются модели, фильтры которых прошли тестирования и сертифицированы на фильтрацию мелкодисперсных частиц размером 0,5 мкм и даже меньше. Причем с эффективностью не менее 99%; Лидером по эффективности задержки частиц РМ2.5 считаются фильтры НуреНЕРА, которые задерживают частицы размером от 0,003 мкм с эффективностью более 99,5%;

- Наличие системы фильтров для борьбы с загрязнениями разного происхождения и агрегатного состояния. Как правило в бытовых очистителях, кроме НЕРА-фильтра, должен быть ещё угольный фильтр, который борется с запахами и различными газообразными загрязнениями. Предварительный фильтр задерживает крупную пыль, волосы и другие загрязнения, защищая остальные фильтры, что позволяет им дольше работать с максимальной эффективностью;

- Для общественных зданий допускается применение роторных рекуператоров с продувочным сектором, исключая попадание вытяжного воздуха в тракт приточного воздуха, а также устанавливать после рекуператора дополнительные фильтры и обеззараживатели, при необходимости, на тракте приточного воздуха после установки или на входе в обслуживаемые помещения.

Требования к подвижности воздуха:

- Холодный период года:
 - Категория работ «Легкая -1а»: оптимальная 0,1 м/с, допустимая не более 0,1 м/с;
 - Категория работ «Легкая -1б»: оптимальная 0,1 м/с, допустимая не более 0,2 м/с;
 - Категория работ «Средней тяжести – Па»: оптимальная 0,2 м/с, допустимая не более 0,3 м/с;
 - Категория работ «Средней тяжести – Пб»: оптимальная 0,2 м/с, допустимая не более 0,4 м/с;
 - Категория работ «Тяжелая – III»: оптимальная 0,3 м/с, допустимая не более 0,5 м/с.
- Теплый период года:
 - Категория работ «Легкая -1а»: оптимальная 0,1 м/с, допустимая 0,1-0,2 м/с;
 - Категория работ «Легкая -1б»: оптимальная 0,2 м/с, допустимая 0,1-0,3 м/с;
 - Категория работ «Средней тяжести – Па»: оптимальная 0,3 м/с, допустимая 0,2-0,4 м/с;
 - Категория работ «Средней тяжести – Пб»: оптимальная 0,3 м/с, допустимая 0,2-0,5 м/с;
 - Категория работ «Тяжелая – III»: оптимальная 0,4 м/с, допустимая 0,2-0,6 м/с.

В зависимости от функционального назначения здания нормативными и регламентирующими документами устанавливаются разные требования к параметрам воздуха. Существуют следующие параметры показатели качества воздушной среды помещений:

1. температура (оптимальное значение 18-22 С, ГОСТ 30494-2011)
2. уровень относительной влажности (оптимальное значение 45-35%, ГОСТ 30494-2011);
3. скорость перемещения воздуха (не более 0,2 м/с, ГОСТ 30494-2011);
4. кратность воздухообмена (400-1000 см³/м³, ГОСТ 30494-2011);
5. отсутствие болезнетворных бактерий (не более 500 колоний бактерий в 1 м³, ГОСТ 50677-94).

Для фильтрации PM_{2,5} в вентиляционной системе торгово-развлекательных комплексов рекомендуется использовать систему с центральным кондиционером и фильтром HEPA-класса или эквивалентным.

Схема вентиляции представлена на рис.4:

1. Входная вентиляционная решетка
2. Механический фильтр (G3 или эквивалентный)
3. Вентиляционный канал
4. Клапан регулировки потока воздуха
5. Вентилятор
6. УФ фильтры для обеззараживания
7. Нагреватель
8. Поверхностный увлажнитель
9. Нагреватель второй ступени
10. Фильтр HEPA или эквивалентный
11. Комната, которую нужно обслуживать
12. Выходной вентиляционный канал

После входной вентиляционной решетки воздух проходит через механический фильтр для удаления крупных частиц и загрязнений. Затем воздух проходит через вентиляционный канал, который регулируется клапаном для регулировки потока воздуха. Затем вентилятор приводит воздушный поток в движение и направляет его через фильтр HEPA или эквивалентный, который улавливает все частицы размером 2,5 микрона и менее.

Далее воздух проходит нагреватели и после, с помощью вентилятора, подается в комнату, которую нужно обслуживать. После прохождения через комнату, воздух покидает систему через выходной вентиляционный канал.

Таким образом, схема вентиляции с центральным кондиционером и фильтром HEPA или эквивалентным позволяет создать комфортные условия в помещении и обеспечить фильтрацию PM_{2,5} в общеобменной вентиляции торгово-развлекательных комплексов.

Определение объёма базы данных цифровой модели для оптимизации системы общеобменной вентиляции

На основании проведённого анализа необходимого состава центральных кондиционеров для зданий торгово-развлекательных центров (рис. 1, рис. 2), становится возможным сформировать перечень регистрируемых параметров для следующих типов систем центрального кондиционирования. Мониторинг изменения электропотребления выполняют промышленные счетчики электроэнергии. Дополнительные функции: ведение журнала энергопотребления, управление энергией, включение в АСУЭ, устойчивость к электромагнитным полям. Вентиляционная установка с возможностью вариации производительности использует инверторный вентилятор или вентилятор с возможностью изменения числа оборотов, позволяющий плавно изменять скорость вращения приводного вала нагнетателя. Используются приборы: анемометр, термopара, дифференциальный датчик давления. Дроссельные устройства и приводы - группа

элементов, управляющаяся от микропроцессорного устройства и осуществляющая контроль, регуляцию и установление аэродинамического режима системы и пр.

В помещении поддержание требуемых микроклиматических параметров осуществляется за счет датчиков, регистрирующих и передающих информацию об изменении термодинамических величин. Регулировка влажности осуществляется прямым регулированием (непосредственно в помещении) или косвенным методом (по температуре точки росы после камеры орошения). Во втором случае устанавливается двухступенчатая система нагревателей. Такие системы при решении задач снижения уровня пыли и микроорганизмов в воздухе имеют недостатки (табл. 2).

На основании приведённого перечня становится возможным оценить информационной базы для обработки посредством искусственной нейронной сети. Приведённые выше 14 блоков параметров имеют ёмкость не реже ежечасного измерения; проводить измерения ежеминутно – не целесообразно.

В дальнейшем принята интенсивность измерения раз в 5 минут. Каждый блок параметров должен иметь основной и дублирующий канал измерений для каждой из имеющихся установок. Принят объём измерителей для одной вент. установки - не менее 9 ед.

Число входных каналов в матрица исходных данных:

$$14 \text{ (ед. блоков параметров)} \cdot 9 \text{ (ед. измерителей для одной вент. уст.)} = 126 \text{ ед.}$$

Объём базы исходных данных имеет объём:

$$525600 \text{ (мин. в году)} / 5 \text{ мин. (периодичность измерений)} = 105,1 \text{ тыс. строк в год}$$

Подобный объём данных наиболее эффективно с точки зрения точности и скорости обработки данных необходимо обрабатывать посредством создания цифровой модели с применением нейросетевого прогнозирования.

Разработка цифровой модели с помощью нейросетевого прогнозирования позволит проводить различные сценарные моделирования, выполнять задачу оптимизации параметров загрузки системы в зависимости от различных входных условий. Например, можно определять оптимальный режим вентиляции для разных уровней загазованности на близлежащих дорогах, различной активности посещения горожанами данных комплексов, особенностей розы ветров, разовых волн загрязняющих веществ, смога, сезонных выбросов пыльцы растениями и пр.

1. Московский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (МосЦГМС) [Электр. ресурс]. Режим доступа: <http://ecomos.ru/>. Дата обращ.: 10.05.2023.
2. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [Электр. ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>. Дата обращ.: 10.05.2023.
3. Р 2.1.10.1920-04 "Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду" [Электр. ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200037399>. Дата обращ.: 10.05.2023.
4. РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы» [Электр. ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200036406>. Дата обращ.: 10.05.2023.
5. ГОСТ 30494-2011 "Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях" [Электр. ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200095053>. Дата обращ.: 10.05.2023.
6. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [Электр. ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608>. Дата обращ.: 10.05.2023.
7. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 18 мая 2010 г. N 58 "Об утверждении СанПиН 2.1.3.2630-10 "Санитарно-эпидемиологические требования к организациям, осуществляющим медицинскую деятельность" [Электр. ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902217205>. Дата обращ.: 10.05.2023.
8. Станция измерения воздуха МКАД 105 восток [Электр. ресурс]. Режим доступа: <https://mosecom.mos.ru/mkad105/>. Дата обращ.: 10.05.2023.
9. Экологическая ситуация города Москвы. Обобщённая информация о качестве воздуха в Москве [Электр. ресурс]. Режим доступа: <https://mosecom.mos.ru/>. Дата обращ.: 10.05.2023.
10. Оборудование для очистки воздуха в медицинских учреждениях [Электр. ресурс]. Режим доступа: <http://pro.tion.ru/med/#toggle-id-4>. Дата обращ.: 10.05.2023.

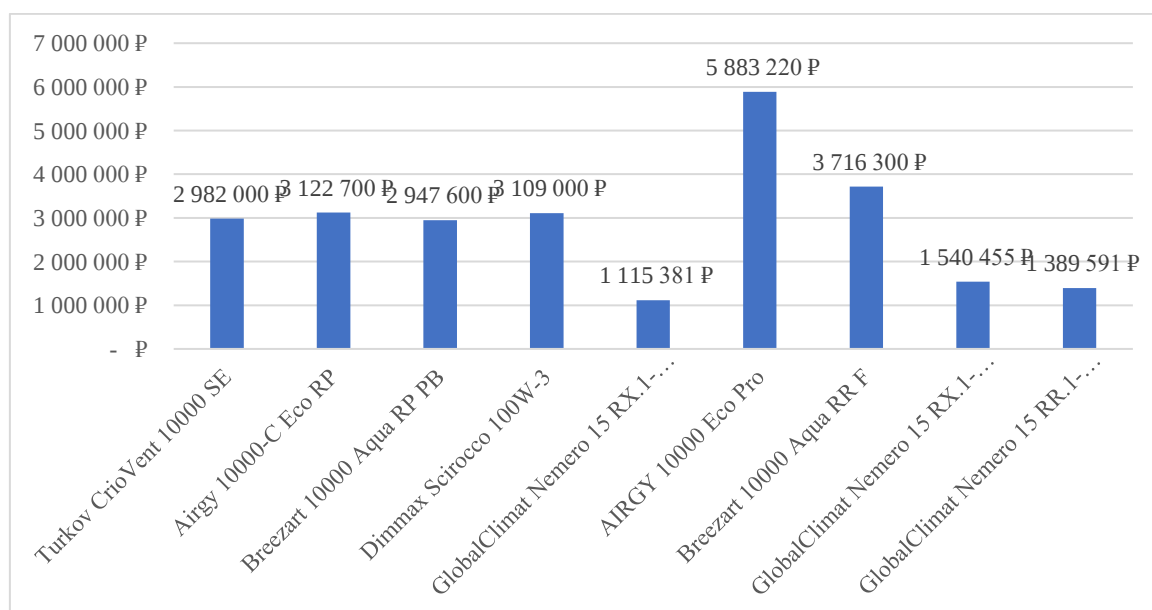


Рис. 1 – Стоимость вентиляционных установок на 10000 м³/ч

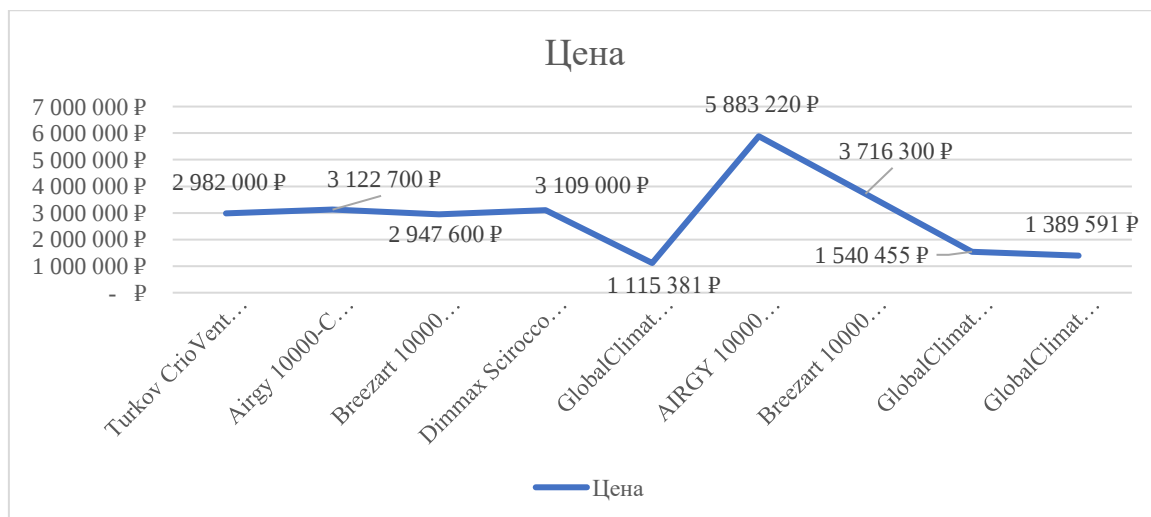


Рис. 2 – Стоимость вентиляционных установок

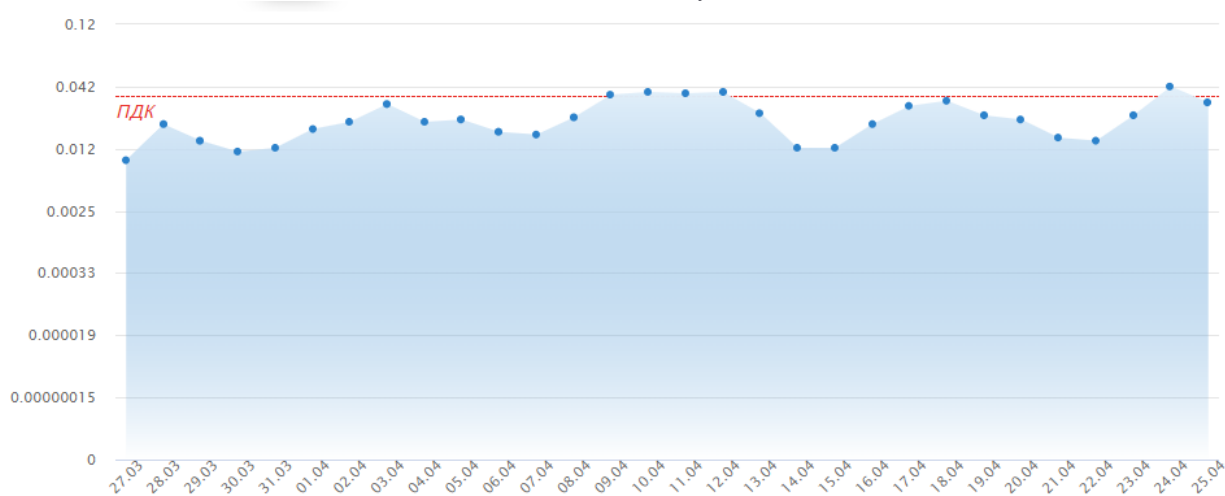


Рис. 3 – Содержание в воздухе PM2,5 в марте-апреле на станции АСКЗА «МКАД 105 восток» [8], мг/куб.м

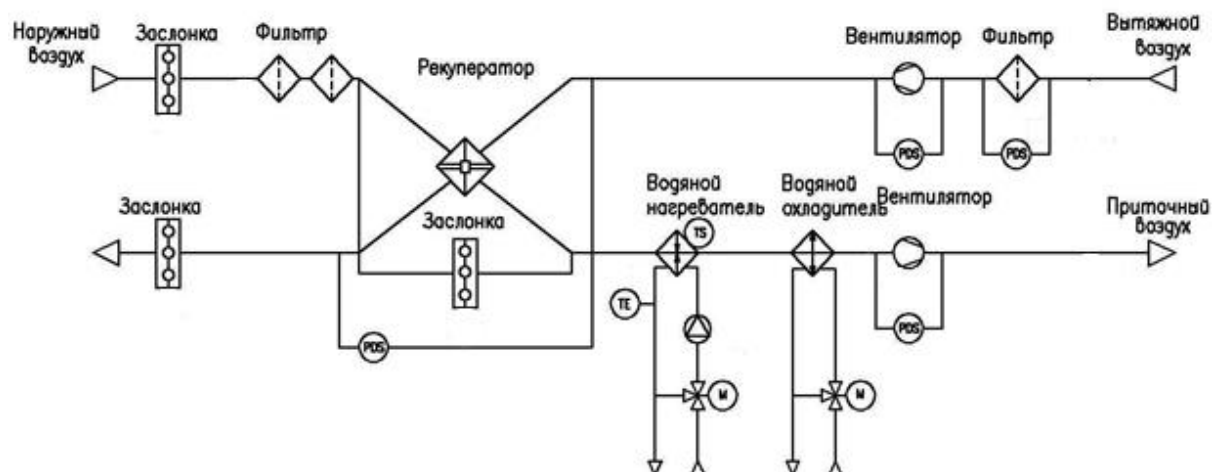


Рис. 4 – Схема вентиляционной установки

Загрязнитель	ПДК	Уровень в г. Москва
Оксид углерода	5	0,2
Диоксид азота	0,2	0,061
Оксид азота	0,4	0,2
Диоксид серы	0,5	0,001
Взвешенные частицы PM10	0,3	0,009

Взвешенные частицы PM _{2,5}	0,16	0,2
--------------------------------------	------	-----

Табл. 1 – Сравнительная характеристика ПДК загрязняющих веществ и их действительной концентрации в воздухе вблизи автотрасс в г. Москва [9]

№	Недостатки	Способ нивелирования
1.	пылевые фильтры способны удалять из воздуха только механические загрязнители	необходимо производить периодическое измерение степени загрязнения воздуха механическими загрязнителями после фильтра
2.	загрязнители накапливаются на фильтрующих элементах, и при несвоевременной замене сам фильтр становится источником загрязнения	необходимо производить периодическое измерение степени загрязнённости фильтра
3.	отсутствие инактивации микроорганизмов на фильтре [10]. при замене фильтрующий элемент опасен для окружающих, т. к. на нем могут размножаться болезнетворные микроорганизмы	необходимо производить периодическое измерение эффективности проводимой инактивации микроорганизмов в фильтре
4.	некоторые фильтры имеют малую емкость по улавливаемым загрязнителям и, соответственно, требуют частой замены	необходимо производить периодическое измерение степени наполненности ёмкости фильтра
5.	при залповых выбросах может происходить проскок загрязнителей	необходимо производить on-line измерение степени загрязнения воздуха после фильтра
6.	при несвоевременной замене угольный фильтр становится источником микробиологических и химических загрязнителей	необходимо производить on-line измерение степени загрязнения угольного фильтра

Табл. 2 - Недостатки схем при снижении уровня пыли и микроорганизмов в воздухе

О переходе к цифровой модели общеобменной вентиляции торгово-развлекательных комплексов Москвы

Для соблюдения санитарно-гигиенических норм в современных зданиях торгово-развлекательных комплексов необходимо поддерживать постоянный воздухообмен в помещениях. Системы подготовки воздуха общеобменной вентиляции требуют комплексных мер по поддержанию на минимальных уровнях различных вредных веществ. Соблюдение требований к предельно допустимым концентрациям вредных веществ важно в свете повышенной загазованности на автомагистралях, особенностей розы ветров, сложной экологической обстановки в некоторых районах мегаполиса. Ежегодно в атмосферу Москвы выбрасывается около 1 млн. загрязняющих веществ [1]. Для реализации автоматической системы управления введением системы дополнительной очистки воздуха в эксплуатацию необходимо создание цифровой модели с применением нейросетевого прогнозирования. В статье показаны необходимые для контроля параметры содержания вредных веществ в воздухе. Оценен объем информационной базы и период накопления информации для создания цифровой модели.

С. В. Гужов¹, А.А. Арбатский², Д.С. Утка¹, А.О. Сорокина¹

1 - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, Российская Федерация

2 - НИИ «ИКСЭЛ»

общеобменная вентиляция, цифровая модель, база данных, качество воздуха, торгово-развлекательный центр, нейросетевое прогнозирование, пылевые фильтры, микроклиматические параметры.

On the transition to a digital model of general ventilation of shopping and entertainment complexes in Moscow

S. V. Guzhov¹, A. A. Arbatsky², D.S. Utkin¹, A.O. Sorokina¹

1 - Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research University "MPEI", Moscow, Russian Federation

2 - Research Institute "IKSEL"

To comply with sanitary and hygienic standards in modern buildings of shopping and entertainment complexes, it is necessary to maintain constant air exchange in the premises. Air treatment systems for general ventilation require comprehensive measures to keep various harmful substances at minimum levels. Compliance with the requirements for the maximum permissible concentrations of harmful substances is important in the light of increased gas pollution on highways, the peculiarities of the wind rose, and the difficult environmental situation in some areas of the metropolis. Every year, about 1 million pollutants are emitted into the atmosphere of Moscow [1]. To implement an automatic control system for the introduction of an additional air purification system into operation, it is necessary to create a digital model using neural network forecasting. The article shows the parameters necessary for control of the content of harmful substances in the air. The volume of the information base and the period of accumulation of information for creating a digital model are estimated.

general ventilation, digital model, database, air quality, shopping and entertainment center, neural network forecasting, dust filters, microclimatic parameters

1. Moskovskiy tsentr po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy [Moscow Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring] Web-source: <http://ecomos.ru/>. Acces data: 10.05.2023. [In Russian]
2. SanPiN 1.2.3685-21 "Gigiyenicheskiye normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya" [Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans] Web-source: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>. Acces data: 10.05.2023. [In Russian]
3. R 2.1.10.1920-04 "Rukovodstvo po otsenke riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu" Web-source: <https://docs.cntd.ru/document/1200037399>. Acces data: 10.05.2023. [In Russian]
4. RD 52.04.186-89 «Rukovodstvo po kontrolyu zagryazneniya atmosfery» [Guidelines for assessing the risk to public health when exposed to chemicals that pollute the environment] Web-source: <https://docs.cntd.ru/document/1200036406>. Acces data: 10.05.2023. [In Russian]
5. GOST 30494-2011 "Zdaniya zhilye i obshchestvennyye. Parametry mikroklimata v pomeshcheniyakh" [Residential and public buildings. Indoor microclimate parameters] Web-source: <https://docs.cntd.ru/document/1200095053>. Acces data: 10.05.2023. [In Russian]
6. GOST 12.1.005-88 «Obshchiye sanitarno-gigiyenicheskiye trebovaniya k vozdukh rabochey zony» [General sanitary and hygienic requirements for the air of the working area] Web-source: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608>. Acces data: 10.05.2023. [In Russian]
7. Postanovleniye Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 18 maya 2010 g. N 58 "Ob utverzhdenii SanPiN 2.1.3.2630-10 "Sanitarno-epidemiologicheskkiye trebovaniya k organizatsiyam, osushchestvlyayushchim meditsinskuyu deyatel'nost'" [Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of May 18, 2010 N 58 "On approval of SanPiN 2.1.3.2630-10 "Sanitary and epidemiological requirements for organizations engaged in medical activities"] Web-source: <https://docs.cntd.ru/document/902217205>. Acces data: 10.05.2023. [In Russian]
8. Stantsiya izmereniya vozdukha MKAD 105 vostok [Air measurement station MKAD 105 East] Web-source: <https://mosecom.mos.ru/mkad105/>. Acces data: 10.05.2023. [In Russian]
9. Ekologicheskaya situatsiya goroda Moskvy. Obobshchonnaya informatsiya o kachestve vozdukha v Moskve [Ecological situation of the city of Moscow. Generalized information on air quality in Moscow] Web-source: <https://mosecom.mos.ru/>. Acces data: 10.05.2023. [In Russian]
10. Oborudovaniye dlya ochistki vozdukha v meditsinskikh uchrezhdeniyakh [Equipment for air purification in medical institutions] Acces data <http://pro.tion.ru/med/#toggle-id-4>. Acces data: 10.05.2023. [In Russian]