

# БИОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ВОЗДУХА НА ОБЪЕКТАХ С ИСКУССТВЕННОЙ СРЕДОЙ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА В КРУПНЫХ ГОРОДАХ И МЕГАПОЛИСАХ

Мещеряков А.Ю.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН  
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 65*

aymesh@inbox.ru

*Аннотация: С позиций системного подхода рассмотрена одна из наиболее важных проблем жизнедеятельности человека – обеспечение биологической безопасности воздуха на объектах с искусственной средой обитания человека в крупных городах и мегаполисах. Обсуждается проблема формирования позитивной воздушной среды гермозамкнутых и частично гермозамкнутых объектов. Показана эффективность использования новых технологий управления качеством воздуха.*

Ключевые слова: безопасность, мегаполисы, крупные города, человек, среда обитания, воздух

## **Введение**

В последнее время особую важность и актуальность приобрела задача обеспечения биологической безопасности воздуха на объектах различного назначения с искусственной средой обитания. С позиций системного подхода биологическая безопасность – система медико-биологических, организационных и инженерно-технических мероприятий и средств, направленных на защиту работающего персонала, населения и окружающей среды от воздействия биологических агентов (патогенных для человека микроорганизмов, генно-инженерно-модифицированных микроорганизмов, токсинов и некоторых других) [1].

Социальная значимость исследований в этой области выражается повышением безопасности и безвредности для человека факторов среды обитания на таких объектах, обеспечения благоприятных и безопасных условий его жизнедеятельности, сохранения здоровья и снижения риска появления патологических состояний.

Под объектами с искусственной средой обитания (ИСО) понимаются объекты, воздушная среда которых полностью или частично изолирована от естественной внешней воздушной среды, предназначенные для временного нахождения человека на объекте с целью выполнения различных функций (работа, отдых, сон, потребление пищи, лечение и др.).

Большую часть жизни человек проводит в ИСО, которые обеспечивают жизнедеятельность и выполнение заданных функций. Искусственные среды обитания человека являются подсистемами некоторой большей системы, которой является внешняя среда, естественная среда обитания человека, основным элементом которой является атмосферный воздух. Жители крупных городов и мегаполисов проводят основную часть жизни в ИСО и, как правило, игнорируют один из основных элементов среды обитания – воздушную среду, что приводит к различным заболеваниям, преждевременному старению и смерти. Поэтому важно обеспечить биологическую безопасность среды и минимизировать факторы риска негативного влияния этой среды на здоровье человека.

Обеспечение биологической безопасности ИСО человека является важной и актуальной междисциплинарной задачей.

## **1 Классификация ИСО с позиций системного подхода**

Любой целевой объект с ИСО человека можно рассматривать как сложную систему с множеством элементов, межэлементные связи которых, структура и свойства системы, обеспечивают жизнедеятельность человека на объекте и выполнение им заданных функций. Изменение числа элементов или связей между структурными элементами системы может привести к изменению не только ее структуры, но и свойств системы [2].

Известно, что системный подход к решению разных проблем позволяет раскрыть характер системных противоречий, выявить сложную взаимосвязь проблем и выработать стратегию решения поставленных задач [3].

Системный подход в решении проблемы управления воздушной средой на объектах с ИСО человека – это, прежде всего системные представления и системная организация исследований, требующие рассмотрения проблемы с различных сторон, участия в исследованиях специалистов различных областей знаний, специальностей и профилей. Это понимание того, что такая система – это не просто объединение своих элементов. Системный подход к решению этой проблемы

базируется на комплексном понимании взаимозависимости всех элементов системы, позволяет выделить приоритеты и оптимизировать основные параметры системы.

При решении этой проблемы нельзя игнорировать роль системного мышления. Цель системного мышления заключается в правильном и целостном восприятии окружающего нас мира, целостно осмысливать наблюдения и осознавать законы и закономерности материального и нематериального миров, научиться пользоваться этими законами и закономерностями в своей деятельности и, в первую очередь, при создании и управлении сложными системами [4].

Все объекты с ИСО можно разделить на два класса: герметизированные и частично герметизированные объекты [5].

Частично герметизированные объекты имеют ограниченную связь с внешней воздушной средой. Примером частично герметизированных объектов являются: жилые, административные, производственные, спортивные, медицинские, учебные и многие другие помещения, кабины лифтов, салоны автомобилей, поездов и других видов транспорта, а также объекты с частичной принудительной очисткой, вентиляцией и кондиционированием воздуха.

К герметизированным объектам относятся объекты, воздушная среда которых полностью изолирована от естественной внешней воздушной среды. Примером таких объектов являются: кабины самолетов, пилотируемых космических станций, подводных обитаемых аппаратов, подводных лодок, некоторые виды боевых транспортных средств, бункеры для несения боевого дежурства войск стратегического назначения, помещения биологической безопасности для работы с вирусами I группы патогенности, объекты специального назначения с регенерацией воздуха различных министерств, ведомств и т.п.

Герметизированные объекты с ИСО могут эффективно использоваться и обеспечить необходимую биологическую безопасность при проведении работ микробиологических, вирусологических и паразитологических лабораторий. На таких объектах необходимо минимизировать последствия от возможных террористических актов и аварийных ситуаций при работе с биологическим материалом, исключить возможность заражения персонала и распространения биологических агентов и загрязняющих веществ за пределы объекта с ИСО.

Создаваемые и поддерживаемые в герметизированном объекте условия искусственной среды обитания, адекватные потребностям человека и характеру выполняемой работы, являются благоприятными для жизнедеятельности многих патогенных для человека бактерий и микроорганизмов. Для обеспечения биологической безопасности воздушной среды на герметизированных объектах необходимо (в системе очистки воздуха) поддерживать оптимальную и биопозитивную микробиологическую обстановку и соответствие нормативным показателям физических характеристик воздушной среды.

## **2 Биологическая безопасность воздушной среды на объектах с ИСО человека**

Воздух является основным переносчиком загрязняющих веществ и многих биологических агентов. Одним из основных условий функционирования герметизированных и частично герметизированных объектов с ИСО является обеспечение биологической безопасности и создание комфортных условий для работы человека, снижение факторов риска появления различных заболеваний.

Экологическое состояние ИСО на таких объектах во многом определяется качеством воздушной среды. Качество воздуха определяется его химическим составом, физическими характеристиками и содержанием загрязняющих веществ. Физиологически благоприятной и безопасной для человека воздушной средой является среда, очищенная от взвешенных в воздухе вредных для организма частиц (пыль, аэрозоли, радиоактивные частицы, сажа, свинец и многие другие). В такой среде должны отсутствовать запахи, озон, окись углерода, оксиды серы и азота, аллергены и биологические агенты, при условии обеспечения нормированных физических характеристик: температуры, влажности, и высокой концентрации отрицательных аэроионов кислорода воздуха, имеющих скорость подвижности от 2,0 до 2,2 см<sup>2</sup>/(В·с) [6].

Воздушная среда на объектах с ИСО должна обеспечивать жизнедеятельность человека и исключать негативное воздействие различных факторов на здоровье. При решении проблемы качества воздуха на объектах с ИСО особое внимание должно уделяться физическим характеристикам воздуха, его аэроионному составу и униполярности аэроионов, имеющих разные скорости движения. Аэроионный состав воздуха является эффективным показателем состояния воздушной среды и чистоты воздуха на объекте.

На объектах с ИСО, имеющих низкое качество воздуха, наблюдается физиологически неблагоприятная аэроионная обстановка, которая характеризуется низкой концентрацией легких

отрицательных аэроионов кислорода воздуха (менее 250 ион/см<sup>3</sup>), значительными концентрациями легких положительных аэроионов (более 500 ион/см<sup>3</sup>) и тяжелых аэроионов двух полярностей (более 1000 ион/см<sup>3</sup>). Такая воздушная среда способствует развитию различных заболеваний в связи с проявлением тромбгеморрагического синдрома, обусловленного потерей отрицательного заряда организмом. На таких объектах необходимо управлять физическими характеристиками воздушной среды.

Низкое качество воздуха на объекте с ИСО приводит к ухудшению здоровья человека и может проявиться набором острых и хронических симптомов и в форме различных специфических заболеваний. Основными симптомами и заболеваниями, связанными с низким качеством воздуха на объектах с ИСО, являются:

- органы зрения – сухость, зуд, слезоточивость, покраснение;
- верхние дыхательные пути – сухость, носовые кровотечения, боль в горле, выделения из носа, заложенный нос;
- легкие – нехватка воздуха, стеснение в груди, хрипы, сухой кашель, бронхит;
- кожный покров – сухость, покраснение, зуд;
- общие – головная боль, слабость, сонливость, нарушения концентрации внимания, раздражимость, беспокойство, головокружение, тошнота.

Низкое качество воздуха на объектах с ИСО повышает фактор риска развития наиболее распространенных заболеваний (астма, риниты, дерматиты, аллергическая пневмония) и болезней неизвестного химического или физического происхождения, включая рак.

Критериями биологической безопасности воздуха на объектах с ИСО являются опасности, способные причинить вред здоровью и жизни человека, оказывающие негативное влияние на искусственную среду обитания объекта. Опасности могут не обладать избирательным свойством и при своем возникновении воздействуют не только на человека [1]. Источниками и носителями опасностей на объектах с ИСО являются: воздух, техногенная среда, естественные процессы и явления, действия людей. Все источники опасности, воздействующие на воздух объекта с ИСО, предлагаем разделить на внешние и внутренние опасности. Основным внешним источником опасности для воздуха объектов с ИСО являются загрязнения, содержащиеся в воздухе внешней среды - атмосферном воздухе.

### **3 Качество воздушной среды в крупных городах и мегаполисах**

Проблема повышения качества воздуха и создания благоприятной воздушной среды на объектах с ИСО в крупных городах и мегаполисах приобрела сегодня особую важность. Это объясняется тревожной экологической ситуацией, сложившейся в последние годы во многих городах России. Изменились параметры воздушной среды – чистота воздуха, химический состав и физические свойства. Эти изменения обусловлены различными факторами, имеющими природное, техногенное и антропогенное происхождение. Решение проблемы качества воздуха на объектах с ИСО необходимо рассматривать во взаимосвязи с изменением состояния естественной воздушной среды, которая является основным источником поступления воздуха на объекты с ИСО. При решении этой проблемы нельзя исключать целевое заражение воздушной среды патогенными для человека микроорганизмами – результата возможных террористических актов. Задачи биологической безопасности воздушной среды на объектах с ИСО сегодня весьма актуальны.

За последние годы в Москве сложилась крайне тяжелая экологическая обстановка в части загрязнения атмосферного воздуха. Положение с загрязнением атмосферного воздуха в Москве следует рассматривать сегодня как близкое к критическому. Веществами, определяющими высокий уровень загрязнения атмосферы, являются: формальдегид, фенол, взвешенные вещества, аммиак, сероуглерод. Основная доля вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу, приходится на окись углерода, окислы азота и углеводороды. Кроме того, за сутки в среднем выбрасывается загрязняющих веществ от автотранспорта, не менее: 33,3 тонн сернистого ангидрида, 68,8 кг. свинца, 0,8 тонн сажи. Все это негативно сказывается на состоянии воздушной среды и, как следствие, на качестве воздуха на объектах с ИСО, требует изыскания новых методов очистки и обеззараживания воздуха на таких объектах [7].

В Российской Федерации отсутствует стандарт качества воздуха, существующие многочисленные нормы и стандарты в области охраны окружающей среды не отражают критерии качества воздуха на объектах с ИСО.

Качество воздуха на объекте с ИСО человек определяет субъективно, в основном по взвешенным аэрозольным частицам, которые создают различные запахи и физическим характеристикам воздуха –

температуре, влажности и электростатических параметров. Запах важен при субъективном определении качества воздуха. Запах зависит от присутствия в воздухе различных твердых, аэрозольных и газообразных веществ в количествах превышающих их обонятельные пороги. Основными характеристиками для оценки запахов в воздухе объекта являются: интенсивность, переносимость организмом и порог. Многие запахи создают различные технические устройства и находящиеся в воздухе вредные для организма загрязняющие вещества.

По мнению автора настоящей статьи, основными источниками загрязнения воздушной среды на объектах с ИСО являются:

- люди (дыхание, испарения от кожных покровов и др.);
- воздух, поступающий из внешней среды (вредные примеси, присутствующие в воздухе снаружи объекта, атмосферный воздух);
- строительные и отделочные материалы, используемые на объекте (стены, пол, потолок и др.);
- мебель (искусственные заменители древесины, лаки и др.);
- системы вентиляции и кондиционирования (неэффективные фильтры, неправильная конструкция системы фильтрации, наличие воды в системах вентиляции и кондиционирования и др.);
- устройства для обеззараживания среды обитания на объекте, основанные на ультрафиолетовом излучении (лапы УФИ и др.);
- технологическое оборудование, используемое для производства работ на объекте;
- устройства для очистки (пылесосы, использующие твердые и жидкие фильтры);
- компьютерная техника (системные блоки, мониторы, принтеры, ксероксы, сканеры и др.);
- современная аудио техника (устройства записи и воспроизведения CD, DVD дисков);
- средства очистки и дезинфекции, растворители, отвердители, антистатика, дезодоранты и др. (порошки, жидкости, гели, аэрозоли и др.);
- увлажнители воздуха (застоявшаяся вода и др.);
- офисная и бытовая техника, использующая электродвигатели и нагревательные элементы (изменение физических и химических свойств воздуха);
- электростатические очистители воздуха и генераторы аэроионов (наличие озона и оксидов азота при нарушении изготовления этих устройств).

Современные строительные материалы в той или иной степени выделяют химические компоненты вредные для здоровья или нарушают комфортность пребывания человека в среде обитания объекта. Основными примесями, поступающими по системам вентиляции на объекты с ИСО и загрязняющими воздух, являются: окись углерода, окиси серы, окиси азота, летучие органические составы, углеводороды. Основными источниками развития микроорганизмов в ИСО объекта являются устройства для изменения температуры и влажности воздуха. Это в первую очередь кондиционеры и увлажнители воздуха. Неправильное размещение входных и выходных вентиляционных отверстий и наличие застоявшейся воды в вентиляционной системе не только способствуют загрязнению воздуха, но также могут вызвать микробиологическое загрязнение в ИСО объекта.

Все перечисленные источники загрязнений повышают фактор риска увеличения в воздухе объекта с ИСО различных микроорганизмов (сапрофитные бактерии, грибы и др.), являющимися естественными компонентами среды обитания человека, которые могут стать причиной инфекционных заболеваний.

Таким образом, проблема загрязнения воздушной среды на объектах с ИСО, в том числе биологическим загрязнением, является комплексной и требует изыскания новых технологий и методов управления воздушной средой на объектах с ИСО с целью обеспечения качественного воздуха, создания комфортной среды обитания и исключения факторов риска, влияющих на изменение здоровья человека. Особое внимание должно уделяться вопросам биологической безопасности воздушной среды на таких объектах, предотвращения возникновения, роста и распространения микроорганизмов, способных вызвать необратимый вред здоровью человека.

В настоящее время необходимо расширить научно-исследовательские работы в области разработки новых технологий очистки и обеззараживания воздуха на гермозамкнутых и частично гермозамкнутых объектах с ИСО. Полагаю, что решение этой важной проблемы, позволит снизить факторы риска многих заболеваний и улучшить здоровье людей.

Решение проблемы улучшения качества воздуха на объектах с ИСО, что способствует повышению безопасности работ, выполняемых человеком в условиях искусственной среды обитания, должно

решаться путем организации биологически позитивной для человеческого организма воздушной среды.

В настоящее время для обеззараживания воздушной среды гермозамкнутых объектов с ИСО в присутствии человека могут использоваться различные методы: озонирование, ультрафиолетовое излучение, ультразвук, ионизация и некоторые другие. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки. Так, например, озонирование, являясь мощным окислителем, действует на различные виды микробиологических групп, сильно зависит от физических характеристик воздуха и оказывает токсическое действие на организм человека. Кроме того, при использовании этого метода образуются оксиды азота в концентрациях недопустимых для человека. Ультрафиолетовое излучение с длиной волны 205-315 нм действует разрушительно на многие вирусы и бактерии в вегетативной форме, зависит от интенсивности облучения, времени действия, физических характеристик воздушной среды. При использовании этого метода возможно загрязнение воздушной среды озоном в концентрациях не допустимых для человека и в некоторых случаях загрязнение воздуха парами ртути. Ультразвук позволяет механически разрушать микроорганизмы, действует на бактерии. Метод имеет существенный недостаток – зависимость от мощности звуковых колебаний. Ионизация основана на искусственной генерации аэроионов различной полярности, что позволяет заряжать, находящиеся в воздухе частицы микрофлоры, пыли, аэрозоли и др. и осаждать их на специальные электроды. Существуют различные технические реализации этого метода. Основным недостатком этого метода является неравномерное распределение аэроионов в воздушной среде гермозамкнутого объекта и сложность реализации технического устройства, обеспечивающего униполярность аэроионов и исключая образование озона, окислов азота, электростатических и магнитных полей, превышающих допустимые значения нормированных показателей. Существуют и другие методы обеззараживания воздушной среды, которые к настоящему времени недостаточно изучены.

Одним из перспективных способов удаления загрязнений из воздушной среды гермозамкнутого объекта с ИСО является объемный электростатический захват и локальное осаждение находящихся в воздухе взвешенных частиц (твердых, аэрозолей, радиоактивных и др.).

#### **4 Новые технологии управления качеством воздуха на объектах с ИСО**

К новым технологиям в задачах управления качеством воздуха на объектах с ИСО, позволяющим изменить физические характеристики воздуха и обеспечить высокое качество воздушной среды на объекте, относятся способ и устройство для его реализации, разработанные в Институте проблем управления РАН.

Способ основан на вытеснении из воздушной среды объектов с ИСО тяжелых аэроионов, путем создания искусственной униполярности аэроионов с различными скоростями движения и обеспечения в ограниченном объеме воздушной среды заданной концентрации аэроионов определенной полярности.

Тяжелые аэроионы – различные взвеси, содержащиеся в воздухе: аэрозольные и пылевые частицы, на поверхности которых адсорбированы аэроионы газов воздуха, имеющие электрическую подвижность от 0,0001 до 0,01 см<sup>2</sup>/(В·с). Количество тяжелых аэроионов в воздухе позволяет оценить степень загрязнения воздушной среды. Тяжелые аэроионы отсутствуют в чистом воздухе, лишенном твердых или жидких микрочастиц [8].

Способ заключается в том, что воздушное пространство объекта с ИСО искусственно насыщают отрицательными аэроионами кислорода воздуха с электрической подвижностью от 2,0 до 2,2 см<sup>2</sup>/(В·с). Это достигается наведением электрического заряда на игольчатом электроде излучателя и создании вокруг него электрического поля высокого напряжения с обеспечением стекания электрических зарядов (электронов) в окружающее воздушное пространство. Молекула кислорода захватывает электрон, образуя, таким образом, отрицательный аэроион кислорода воздуха. Электрическая подвижность аэроиона кислорода воздуха в момент его искусственного создания - 2,2 см<sup>2</sup>/(В·с). Аэроионы перемещаясь в воздушной среде, легко отдают свой заряд окружающим предметам или ионам противоположного знака, при этом нейтрализуясь или рекомбинируя.

Данный способ обеспечивает возможность создания заданного распределения аэроионов в воздушной среде объекта и возможность изменения формы этого распределения, что позволяет управлять качеством воздуха на объекте с ИСО. В зависимости от соотношения процессов ионизации и деионизации устанавливается определенная степень ионизованности воздуха, которая определяется количеством ионов каждой полярности в одном кубическом сантиметре воздуха. Способ позволяет эффективно очищать воздух на гермозамкнутом объекте с ИСО. Это достигается за счет объемного

насыщения воздушной среды отрицательными аэроионами с подвижностью  $2,0 - 2,2 \text{ см}^2/(\text{Вс})$ , их адсорбции на твердых и аэрозольных частицах, взвешенных в воздухе, локальным осаждением этих частиц на положительно заряженный приемник загрязняющих веществ [1].

Практической реализацией способа является устройство - электроэффлювиальный генератор, новейшая разработка в семействе аппаратов для искусственной генерации отрицательных аэроионов кислорода воздуха. Устройство защищено патентом Российской Федерации на промышленный образец. Устройство состоит из двух основных элементов – генератора и излучателя. Необходимая концентрация ионов и коэффициент униполярности ионов в воздушной среде на объекте с ИСО обеспечивается параметрами генератора и конструкцией излучателя.

## Заключение

Системный подход в решении проблемы обеспечения качества воздуха в ИСО человека позволяет ориентировать исследователей на весь комплекс проблем, возникающих в связи с изучаемой проблемой и наиболее эффективно реализовать полученные результаты исследований. Системное мышление при решении проблемы обеспечения качества воздушной среды позволяет наиболее целостно определить комплексные проблемы и разработать новые комплексные решения применительно к данной проблеме.

Воздушная среда на объектах с ИСО должна обеспечивать жизнедеятельность человека и исключать негативное воздействие различных факторов на здоровье.

Основным внешним фактором, оказывающим негативное влияние на качество воздуха ИСО в крупных городах и мегаполисах, является внешняя среда - атмосферный воздух. Качество атмосферного воздуха обусловлено уровнем содержания в нем загрязняющих веществ. Основными регистрируемыми ингредиентами, загрязняющими атмосферный воздух, являются: оксид углерода, сернистый газ, окислы азота (диоксид азота и оксид азота), углеводороды, взвешенные твердые частицы. Основными источниками загрязнений атмосферного воздуха являются автомобильный транспорт и стационарные источники. Содержание и концентрация этих веществ, присутствующих в выбросах большинства источников загрязнения атмосферного воздуха являются не только показателями состояния загрязнения атмосферного воздуха, также являются основным внешним негативным фактором, влияющим на качество и безопасность воздуха в ИСО человека.

Проведенные экспериментальные исследования влияния внешних и внутренних факторов на качество воздуха, позволили сделать вывод о возможности практического использования разработанных методов и технологий для обеспечения биологической безопасности воздушной среды в ИСО человека. Технологии позволяют в реальном времени удалять из воздушной среды объекта взвешенные в воздухе твердые и аэрозольные частицы менее  $0,1 - 1,0 \text{ мкм}$ , представляющие наибольшую опасность для человека.

Разработка и использование новых технологий обеспечения биологической безопасности воздуха на объектах с ИСО человека, изучение процессов влияния внешних факторов на ИСО, необходимы для оптимизации процессов управления качеством и безопасностью воздуха на объектах с ИСО, являются важными и актуальными проблемами, для решения которых необходим системный подход.

Решение этих задач позволит систематизировать влияние природных, техногенных и антропогенных факторов на изменение качества воздуха, создать общую методологию обеспечения качества и биологической безопасности воздушной среды, открыть новые подходы к решению практических задач в области автоматизации качества воздуха в средах обитания человека.

## Литература

1. Мещеряков А.Ю., Осипов С.Н. Качество воздуха в средах обитания человека как фактор национальной безопасности Российской Федерации // Информационные технологии и вычислительные системы. 2020. № 4. С. 55-70.
2. Мещеряков А.Ю., Осипов С.Н. Прикладные аспекты системного анализа в области обеспечения качества и безопасности воздуха в средах обитания человека / Труды Шестой международной конференции «Системный анализ и информационные технологии»: САИТ 2015 (15-20 июня 2015, г. Светлогорск, Россия). М.: Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2015. Т. 2. С. 248-254.
3. Прангшвили И.В. Системный подход, системное мышление и энтропия фундаментальных знаний // Проблемы управления. 2004. № 4. С. 3-7.
4. Прангшвили И.В., Пащенко Ф.Ф., Бусыгин Б.П. Системные законы и закономерности в электродинамике, природе и обществе. М.: Наука. 2001.

5. Мещеряков А.Ю., Осипов С.Н. Новые технологии управления качеством воздуха на объектах со средой обитания. // Информационные технологии и вычислительные системы. 2008. № 2. С. 20-26.
6. Мещеряков А.Ю. К вопросу управления средой обитания человека // Вестник научных конференций. 2016. Т.2. № 10. С. 60-64.
7. Мещеряков А.Ю. Экологические индикаторы качества жизни человека в искусственных средах обитания человека // Вестник научных конференций. 2016. Т. 2 . № 1. С. 64-68.
8. Мещеряков А.Ю., Федотов Ю.А. Проблемы оценивания аэроионного состояния воздушной среды. // Приборы и системы управления. 1998. № 11. С. 75-79.