

Использование аппаратно - биологических комплексов для повышения качества воздуха помещений.

Воробьев К.В., Кудрявцев О.Ю., Спичкин Г.Л.

Признано, что комнатные растения повышают качество воздушной среды помещений. Одни растения эффективно очищают воздух от органических загрязнений [1], другие растения, благодаря выраженному фитонцидному эффекту [2], снижают загрязненность воздуха микроорганизмами. Растения продуцируют кислород, поглощают углекислый газ [3,4]. Многие растения интенсивно увлажняют воздух помещения. Присутствуя в помещении, комнатные растения способствуют приданию воздуху физико-химических свойств, характерных природному воздуху. Кроме того, являясь элементами фитодизайна, комнатные растения положительно влияют на психоэмоциональное состояние находящихся в помещении людей.

Вследствие пребывания в помещениях людей воздух помещений насыщен антропогенными органическими, микробными и аэрозольными загрязнениями в большей степени, нежели природный воздух. Другими словами, в комнатном воздухе чуть меньше кислорода и чуть больше перечисленных выше загрязнений.

Еще одно важное различие между естественным природным воздухом и воздухом помещений заключается в том, что в воздухе помещений количество активных форм кислорода, в частности, легких ионов кислорода, существенно меньше, чем в природном воздухе [5].

Целью настоящей работы является экспериментальное обоснование создания аппаратно – биологического комплекса, предназначенного для повышения качества воздуха помещений путем снижения аэрозольной, а, следовательно, микробной загрязненности воздуха, при необходимости, увлажнения воздуха и коррекции его аэроионного состава в соответствии с требованиями СанПин 2.2.4.1294-03.

Для исследований использовалось устройство, показанное на рис. 1.

Рис. 1. Устройство для исследования эффективности очистки воздуха от аэрозолей с использованием растений с различными свойствами поверхности листьев

Устройство содержит корпус 1 с отверстиями для входа 2 и выхода 3 воздуха, вентилятор 4, биполярный ионизатор воздуха 5, растения 6 в горшках 7, лампы искусственного освещения 8 растений, резервуар 9, перфорированные металлические решетки 10 и 11, источник постоянного напряжения 12 и униполярный ионизатор 13.

Для исследования выбирались 2 группы растений, характеризующиеся значительной площадью листовой мозаики и тем, что листья имеют высокую плотность тонких кутикул, содержащих вещества с высокой адгезивной способностью, обусловленной наличием на поверхности листьев жирных кислот и воска (первая группа) или развитой транспирационной функцией (вторая группа). (Транспирация - процесс выхода влаги из листа наружу). При усилении транспирационной функции под действием внешних факторов (интенсивное освещение, повышение температуры окружающей среды) листья представляют собой природный аналог «мокрого» фильтра, часто используемого в промышленных технологиях очистки воздуха. В качестве представителя первой группы использовалась сансивьера (*Sansevieria trifasciata*), качестве представителя второй группы использовались традесканция (*Tradescantia fluminensis* Vel) или монстера.

Растения размещены в горшках 7, предназначенных для нижнего полива растений. Горшки установлены на дно резервуара с водой 9. Сверху над растениями установлен прозрачный для спектрального диапазона 400 – 700 нм корпус 1. Внутри корпуса над растениями установлен униполярный ионизатор 13. В отверстие для входа воздуха 2 установлен вентилятор 4, а в отверстие для выхода воздуха 3 установлен биполярный ионизатор воздуха 5. Снаружи корпуса смонтированы лампы искусственного освещения 8. Перед биполярным ионизатором воздуха в корпусе установлены

параллельно друг другу перфорированные металлические решетки 10 и 11 таким образом, чтобы через них проходил весь воздушный поток. К каждой из решеток подсоединен один из полюсов источника постоянного напряжения 12.

Устройство включается в следующей последовательности. Сначала включаются лампы искусственного освещения 8 растений и униполярный ионизатор 13, формирующий в корпусе высокую, в пределах 100000 - 1000000 ион/см³ концентрацию аэроионов положительной полярности. Положительная полярность аэроионов выбрана на основании предварительно проведенных исследований, показавших, что воздействие положительных аэроионов высокой концентрации практически не сказывается на фитонцидных свойствах растений, в то время, как отрицательные аэроионы несколько угнетают фитонцидную способность. Затем подается напряжение от источника постоянного напряжения 12 к перфорированным металлическим решеткам 10 и 11 таким образом, чтобы электрическое поле в промежутке между перфорированными металлическими пластинами препятствовало выходу положительно заряженных аэрозольных кластеров из корпуса. Самыми последними включаются вентилятор 4 и биполярный ионизатор 5.

При включении вентилятора искусственно загрязненный табачными аэрозольными кластерами воздух поступает в корпус устройства. Объем внутренней части корпуса, и, в том числе, поперечное сечение корпуса выбраны таким образом, чтобы направленная составляющая скорости входящего в корпус воздушного потока снижалась, как минимум, на порядок. Вследствие этого, поступающие вместе с воздушным потоком аэрозольные загрязнители и микробиологические загрязнители, осевшие на аэрозоли, находятся внутри корпуса значительное время, во всяком случае, достаточное для столкновения большинства аэрозольных кластеров с положительными аэроионами. В результате столкновений аэроионов и аэрозольных кластеров происходит их объединение, образуются своего рода кластеры.

Для того, чтобы предотвратить выход заряженных аэрозольных кластеров из корпуса, амплитуда напряжения U_0 источника постоянного напряжения 12 выбирается на основании условия:

$$U_0 \geq (V/S) \cdot (D/\mu),$$

где (V/S) – направленная составляющая скорости воздушного потока, формируемого вентилятором 4 в зоне расположения перфорированных металлических решеток, V – расход формируемого вентилятором 4 воздушного потока через устройство, S – площадь сечения воздушного потока, D – расстояние между перфорированными металлическими решетками, μ – подвижность кластеров в электрическом поле. Подвижность подавляющего большинства (более 90 %) кластеров больше или равна $\mu = 0,0001 \text{ м}^2/\text{В с}$.

Расчеты показывают, а эксперименты подтверждают, что при расходе воздуха $V = 100$ куб.м/час, сечении $S = 0,2 \text{ м}^2$, расстоянии $D = 5$ мм и указанном значении подвижности кластеров в электрическом поле μ достаточно иметь амплитуду напряжения U_0 на уровне 7 кВ, чтобы препятствовать выходу подавляющего числа заряженных аэрозольных кластеров за пределы корпуса.

«Запертые» электрическим полем внутри корпуса аэрозольные кластеры постепенно оседают на листья. Естественно, что чем больше площадь листовой мозаики растений, тем быстрее идет удаление аэрозольных кластеров из воздушного потока.

При использовании растений с развитой транспирационной функцией листьев (*Tradescantia fluminensis* Vell или монстера) для усиления данной функции лампы искусственного освещения обеспечивали в наиболее важном для жизнедеятельности растений спектральном диапазоне 400 – 700 нм интенсивность освещения в пределах 5000 – 10000 люкс.

Для исследования эффективности очистки воздуха от аэрозольных загрязнений с помощью растений использовался счетчик частиц ГЗА. Под эффективностью очистки воздуха в данном случае принималось соотношение

$$K_{\text{эфф}} = (N_{\text{вх}} - N_{\text{вых}}) N_{\text{вх}}^{-1} \cdot 100 \%,$$

где $N_{\text{вх}}$ - концентрация аэрозольных кластеров соответствующей дисперсности на входе в устройство, $N_{\text{вых}}$ - концентрация аэрозольных кластеров соответствующей дисперсности на выходе из устройства.

Счетчик позволяет определять количество частиц в воздухе в 6 спектральных диапазонах: 0,3 - 0,4 мкм, 0,4 - 0,5 мкм, 0,5 - 1 мкм, 1 - 2 мкм, 2 - 5 мкм, 5 - 10 мкм. Замеры аэрозольной загрязненности воздуха в камере производились в течение 10 секунд с интервалом 1 минута. Длительность измерений осуществлялась в течение 100 минут. Для определения эффективности очистки воздуха от аэрозолей наиболее информативны спектральные диапазоны: 0,3 - 0,4 мкм, 0,4 - 0,5 мкм, 0,5 - 1 мкм, 1 - 2 мкм, поэтому при анализе эффективности очистки в первую очередь учитывалось изменение количества частиц именно в этих диапазонах. Интерес к данным диапазонам обусловлен и тем, что именно мелкодисперсные аэрозоли имеют наибольшую проникающую способность в легкие человека, оказывая максимальный вред организму.

Результаты опытов приведены на рисунках 2 и 3, на которых показано снижение концентрации табачных аэрозолей различной дисперсности в помещении с объемом 130 м³ при использовании восьми традесканций *Tradescantia fluminensis Vell* с общей площадью листьев около (0,5 ± 0,1) м² (рис.2) и восьми сансивьерий *Sansevieria trifasciata* с общей площадью листьев около (0,25 ± 0,1) м² (рис. 3).

При расходе воздуха 100 м³ /час эффективность очистки воздуха от аэрозолей различной дисперсности с помощью традесканций составляет 60 – 90 %.

При использовании сансивьерий эффективность очистки составляет 20 - 50 %.

С учетом того, что площадь листьев у сансивьерий примерно в 2 раза меньше, чем у традесканций, удельная эффективность (в пересчете на единицу площади листьев) очистки воздуха от аэрозолей у растений с разным типом листьев примерно одинакова

Рис. 2. Изменение концентрации табачных аэрозолей различной дисперсности в помещении с объемом 130 м³ при прокачке загрязненного воздуха с расходом 100 м³ /час через устройство, укомплектованное традесканциями *Tradescantia fluminensis Vel*

Рис. 3. Изменение концентрации табачных аэрозолей различной дисперсности в помещении с объемом 130 м³ при прокачке загрязненного воздуха с расходом 100 м³ /час через устройство, укомплектованное сансивьериями (*Sansevieria trifasciata*)

При снижении расхода воздуха до 10 м³ /час эффективность очистки повышалась до 85 – 95 % для обоих типов исследованных растений и всех диапазонов дисперсности аэрозолей.

Для подтверждения механизма очистки воздуха путем захвата аэрозольных кластеров именно листьями растений, а не вследствие оседания их на внутренние стенки корпуса устройства были проведены контрольные эксперименты без растений. В этих опытах измерялась концентрация аэрозолей на входе и на выходе устройства при расходах 10 и 100 м³ /час, а также, внутри корпуса устройства в отсутствии расхода воздуха. Во всех контрольных опытах скорость спада концентрации аэрозолей была, как минимум на порядок, ниже, чем в аналогичных опытах с растениями.

Поскольку на выходе из корпуса устройства количество аэроионов мало (электрическое поле между перфорированными металлическими решетками 10 и 11, рис. 1, «запирает» аэроионы и заряженные аэрозоли внутри корпуса) для восстановления аэроионного состава воздуха на выходе устройства установлен биполярный ионизатор воздуха 5. Ионизатор настраивался таким образом, чтобы в воздушном потоке на выходе из устройства концентрация аэроионов отрицательной и положительной полярности не превышала предельно допустимых значений 50000 ион/см³. В зоне расположения или трассировки людей концентрация аэроионов соответствовала требованиям санитарных норм СанПин 2.2.4.1294-03. Так, например, уже спустя несколько минут после включения биполярного ионизатора на расстоянии 1 – 3 м от устройства устанавливалась концентрация отрицательных аэроионов в пределах 3000 – 10000 ион/см³, положительных аэроионов - в пределах 2000 – 8000 ион/см³.

Кроме очистки воздуха от аэрозолей и коррекции аэроионного состава воздуха устройство обеспечивает увлажнение воздуха до оптимальных значений относительной влажности (40 – 55 %),

что является одним из важных показателей качества воздуха.

Растения являются идеальным природным увлажнителем.

Во-первых, в воздух помещения поступает влага в виде молекул, а не в виде аэрозолей, насыщающих воздух помещения, например, при использовании ультразвуковых или паровых увлажнителей. С точки зрения современных гигиенических представлений аэрозольный метод увлажнения не является безупречным, поскольку при высыхании капель влаги во время их гравитационного падения в воздух помещения поступает значительное количество мелкодисперсных солевых аэрозолей, являющихся аллергенами. Появляющаяся с высокой интенсивностью на листьях растений, характеризующихся развитой транспирационной функцией (в нашем случае традесканция *Tradescantia fluminensis Vell* или монстера), влага в результате подвижности воздуха вблизи растений интенсивно испаряется и поступает в воздух помещения в виде молекул.

Во-вторых, при влажности воздуха, соответствующей верхнему уровню оптимальной влажности 50 - 55 %, выделение влаги растениями значительно замедляется, таким образом, исключается переизбыток влаги в воздухе помещения. Наконец, процесс увлажнения воздуха с помощью растений осуществляется без дополнительных затрат энергии.

На рис. 4 представлена функциональная схема аппаратно – биологического комплекса вертикального исполнения рециркуляционного типа.

Загрязненный воздух с помощью вентилятора поступает в комплекс, укомплектованный растениями, установленными на разных ярусах. В качестве грунтов используются гипоаллергенные минеральные грунты, практически исключающие развитие на своей поверхности микроорганизмов. Растения с развитой транспирационной функцией (традесканции, монстеры) интенсивно освещаются энергосберегающими лампами или светодиодными облучателями, в результате чего резко возрастает выход на поверхность листьев влаги и биологически активных веществ, в том числе, фитонцидов. Воздушные потоки внутри корпуса комплекса формируются таким образом, чтобы аэрозольные кластеры, проходя сквозь листья растений, оседали на них. Влажные листья хорошо удерживают аэрозоли, а фитонциды инактивируют микроорганизмы. Наличие запирающего потенциала на перфорированных воздухораспределительных решетках исключают выход заряженных аэрозольных кластеров из корпуса устройства, таким образом, наружу устройства поступает очищенный от аэрозольных и микробных загрязнителей и увлажненный воздух, насыщенный биологически активными веществами. Проходя воздухораспределительные решетки воздух насыщается легкими аэроионами в концентрациях, соответствующих СанПин 2.2.4.1294-03, и раздается в помещение. Работа комплекса полностью автоматизирована.

На рис. 5 представлена фотография опытного образца аппаратно – биологического комплекса рециркуляционного типа ЗЕЛЕНЫЙ ИПЫЛЕСОС.

Основные технические характеристики опытного образца:

- эффективность очистки при расходе воздуха 100 м³/час от аэрозолей в спектральном диапазоне 0,3 – 1 мкм – 85%, в спектральном диапазоне 2– 10 мкм – 65%,
- эффективность очистки при расходе воздуха 30 м³/час от аэрозолей в спектральном диапазоне 0,3 – 1 мкм – 95%, в спектральном диапазоне 2– 10 мкм – 85%,
- производительность по увлажнению (при температуре воздуха 20°С и относительной влажности в помещении 20 %) – 300 мл/час,
- снижение содержания микроорганизмов в воздухе помещения объемом 130 м³ (приточно – вытяжная вентиляция выключена) спустя 3 часа работы комплекса 3 составляет: в 2,6 раза (бактерии), в 2,8 раза (актиномицеты), в 4 раза (*Mucor*), в 5 раз (*Penicillium*), в 3 раза (*Cladosporium*), в 2 раза (*Fusarium*),
- содержание аэроионов в воздухе помещения на расстоянии 4 м от комплекса через 30 минут работы комплекса и далее в течение всего рабочего дня – 2500 ± 1000 ион/см³ (отрицательные аэроионы), 1500 ± 1000 ион/см³ (положительные аэроионы),
- энергопотребление комплекса – не более 150 Вт,

Работа комплекса (включение/выключение освещения, увлажнение и подкормка растений,

включение генератора биполярных аэроионов, периодическая очистка поверхности листьев от осевших аэрозолей с помощью УЗ увлажнителя) полностью автоматизирована и осуществляется в соответствии с выбранным алгоритмом.

Подобные аппаратно – биологические комплексы могут быть использованы для обеспечения качественного воздуха и микроклиматического комфорта на рабочих местах в офисах и других помещениях непромышленного назначения. Техническое решение аппаратно – биологического комплекса защищено патентом РФ [6].

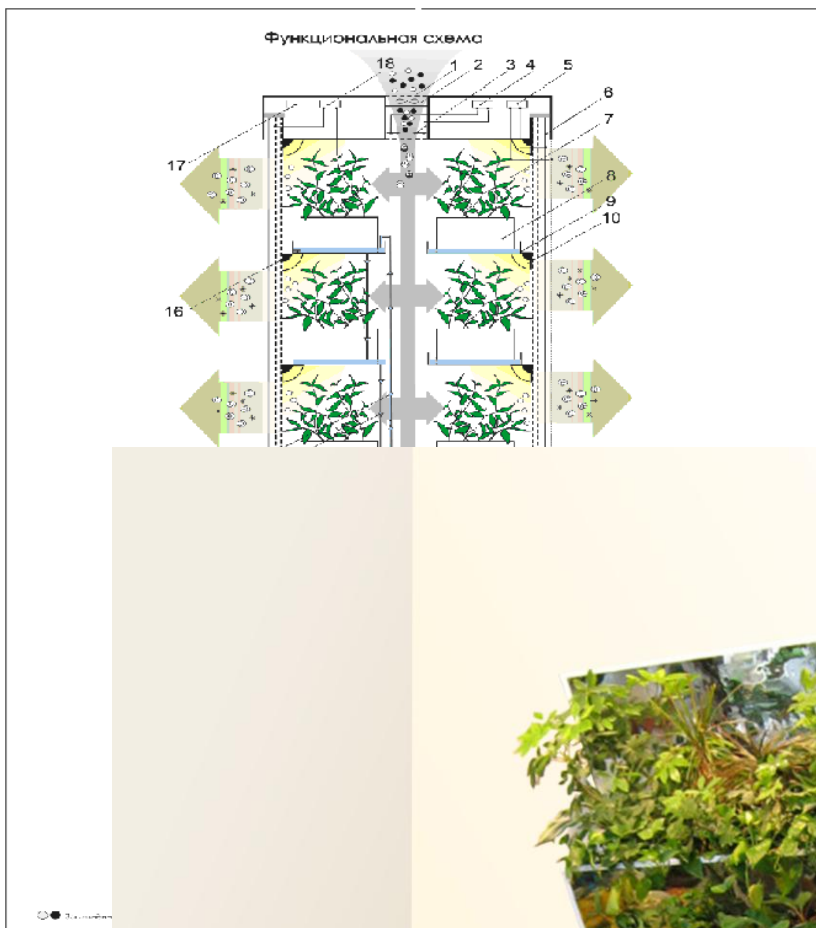


Рис.4.
Функциональная схема комплекса рециркуляционного типа

Рис. 5.
Фотогра



фия аппаратно-биологического комплекса рециркуляционного типа ЗЕЛЕНый ПЫЛЕСОС

Использованная литература

1. М.П. Федоров, Г.Л. Спичкин, К.В.Воробьев, О.Ю.Кудрявцев. «Комнатные растения против органических загрязнителей». Экология и жизнь, № 11(84), 2008, с.80 - 85.
2. Цыбуля Н.В., Фершалова Т.Д. Фитонцидные растения в интерьере (оздоровление воздушной среды с помощью растений). – Новосибирск: Новосибирское книжное изд-во, 2000 - 112 с.
3. Ван дер Неер. Все о комнатных растениях, очищающих воздух. – СПб: ООО «Кристалл», 2005. – 128 с., ил.
4. Спичкин Г.Л. , Воробьев К.В., Федоров К.В., Кудрявцев О.Ю., Войцеховская О.В. "Влияние экспериментальных аэроионных воздействий на фотосинтез TRADESCANTIA FLUMINENSIS". Успехи современной биологии, том 129, № 5, 2009, с. 464 - 468.
5. Федоров М.П., Воробьев К.В., Замараева В.С., Спичкин Г.Л. «Аэроионы для здоровья». Экология и жизнь, № 8(81), 2008, с.76 – 82.
6. Г.Л.Спичкин, К.В.Воробьев, В.С.Бурцева. «Устройство повышения качества воздуха». Патент на полезную модель № 82420 зарегистрирован 27.04.2009.