

От точки к системе: стратегия размещения датчиков для точного мониторинга качества воздуха в жилом помещении

Основополагающие принципы размещения датчиков для достоверных измерений

Для получения достоверной и репрезентативной картины качества воздуха в жилом помещении, которая позволяет не просто следить за усреднёнными значениями, но и принимать обоснованные решения по улучшению микроклимата, крайне важно придерживаться ряда фундаментальных принципов размещения датчиков. Эти принципы направлены на минимизацию внешних воздействий и искусственных флуктуаций, которые могут привести к неверной интерпретации состояния воздушной среды. Анализ авторитетных источников, стандартов и практических руководств производителей выявляет три ключевых правила, применимых ко всем типам бытовых датчиков: определение правильной высоты установки, выбор центрального расположения и изоляция от внешних влияний.

Первый и наиболее важный принцип — это размещение датчика в так называемой "зоне дыхания". Эта концепция подразумевает установку сенсора на высоте, соответствующей человеческому уровню вдоха и выдоха ^{1 13}. Практически все ведущие организации, включая Американское общество инженеров по отоплению, холодильной технике и кондиционированию воздуха (ASHRAE), EPA и ведущие производители датчиков, такие как Airthings и uHoo, сходятся во мнении относительно оптимального диапазона высоты ¹⁵²¹⁵³¹⁸⁴¹⁹⁹. Большинство источников указывает на высоту от 0.9 до 1.8 метра (или 3 до 6 футов) от уровня пола ¹⁵²¹⁵³¹⁸⁴. Некоторые более детальные рекомендации сузили этот диапазон до 1.1–1.7 метра (3.6–5.6 футов) ^{69 199} или ориентируются на 4–5 футов (приблизительно 1.2–1.5 метра) ^{12 198}. Стандарт ASHRAE 62.1 формально определяет "зону дыхания" как пространство между 75 мм и 1800 мм

от пола ²⁰⁰. Выбор этой высоты является не случайным, а научно обоснованным. Именно на этом уровне происходит основное взаимодействие человека с воздухом, и именно здесь должны измеряться параметры, напрямую влияющие на его здоровье и комфорт. Размещение датчика значительно ниже, например, на полу, может привести к ложно заниженным показаниям по некоторым параметрам, таким как концентрация углекислого газа (CO₂) и твёрдых частиц (ТЧ), поскольку эти компоненты имеют тенденцию оседать ближе к поверхности пола. И наоборот, установка датчика слишком высоко, близко к потолку, может дать завышенные значения этих же показателей. Для помещений, где люди часто проводят время сидя, например, в офисах или гостиных, рекомендуется ориентироваться на нижнюю границу зоны дыхания, примерно на высоте 0.9 метра (3 фута) ^{14 236}.

Второй универсальный принцип — это центральное расположение датчика. Рекомендуется размещать устройство в центре помещения, будь то на внутренней стене или на стабильной горизонтальной поверхности, такой как стол или полка ^{11 246}. Категорически не рекомендуется устанавливать датчик в углах комнаты или задвигать его за мебель ²⁴⁶. Причина этого кроется в физике движения воздуха внутри замкнутого пространства. Углы являются зонами относительного застоя воздуха, где могут накапливаться загрязнители, если рядом есть источник выбросов, или, наоборот, задерживаться свежий воздух, поступающий от вентиляции. Расположение в углу приведёт к получению данных, которые будут характеризовать состояние очень маленького, локализованного участка, а не среднее значение по всему объёму комнаты. Центральное положение, напротив, обеспечивает более равномерный доступ воздуха ко всем сенсорам устройства, позволяя получить более объективную картину о состоянии воздушной среды в целом. Это особенно важно для параметров, таких как влажность и CO₂, которые могут иметь заметные вертикальные градиенты ^{70 71}.

Третий, и возможно самый критичный, принцип — это изоляция датчика от прямого влияния внешних факторов и источников загрязнения. Этот подход направлен на то, чтобы датчик реагировал на общее состояние воздуха в помещении, а не на локальные пиковые значения, вызванные одним лишь фактом его установки в неудачном месте. Многочисленные источники, от руководств по эксплуатации до экспертных статей, единогласно требуют соблюдения минимального расстояния от датчика до окон, дверей, вентиляционных решёток, кондиционеров, обогревателей, источников тепла и влажности ¹⁸²¹⁸³²¹⁹²³³²³⁴. Конкретное расстояние обычно составляет не менее 1

метра (или 3 футов) 182183233. Это правило имеет прямое практическое значение. Например, датчик, установленный в непосредственной близости от открытого окна, будет постоянно регистрировать колебания температуры и влажности, вызванные переменаами погоды снаружи, и не сможет адекватно отражать микроклимат внутри комнаты. Аналогично, размещение рядом с работающим кондиционером или обогревателем приведёт к тому, что датчик будет измерять только ту небольшую струю воздуха, которую тот направляет в одну точку, игнорируя остальную часть помещения. Тот же принцип применяется к источникам загрязнения. Хотя для некоторых параметров, как ЛОС, важно находиться поближе к потенциальному источнику для его выявления, для получения репрезентативных базовых показателей датчик должен быть достаточно далеко от очевидных стационарных источников, таких как аквариумы, увлажнители или цветочные горшки 8 62. Таким образом, создается своего рода "зона безопасности", которая позволяет датчику "видеть" общий фоновый уровень загрязнителей и климатических условий, а не временные аномалии, связанные с его непосредственным окружением. Соблюдение этих трёх основополагающих принципов — высота "зоны дыхания", центральное расположение и изоляция от внешних влияний — закладывает прочный фундамент для получения достоверных и действенных данных, необходимых для эффективного управления качеством воздуха в домашних условиях.

Принцип размещения	Описание	Рекомендуемые параметры
Высота установки ("Зона дыхания")	Размещение датчика на высоте, соответствующей человеческому уровню вдоха.	0.9 – 1.8 метра (3 – 6 футов) от пола 152153184.
Расположение в комнате	Установка в центре помещения для получения репрезентативного среднего значения.	Избегать углов и мест застоя воздуха; располагать в центре комнаты или на стене 11 246.
Изоляция от внешних факторов	Сохранение достаточного расстояния от источников температурных и воздушных потоков.	Не менее 1 метра (3 футов) от окон, дверей, вентиляционных решёток, кондиционеров и обогревателей 182183219233.

Размещение и интерпретация данных по влажности и углекислому газу (CO₂)

Влажность и углекислый газ (CO₂) являются двумя из наиболее критичных параметров для оценки качества воздуха в жилых помещениях, однако они

требуют особых подходов к размещению и интерпретации данных. Влажность — это относительное значение, тесно связанное с температурой, и её показания могут легко исказиться под влиянием близлежащих источников тепла или холода. CO₂, в свою очередь, служит мощным индикатором вентиляции и плотности пребывания людей, но его концентрация внутри помещений неоднородна, что порождает некоторые споры относительно оптимальной высоты установки сенсора.

По поводу влажности (относительной влажности - ОВ) общие принципы размещения, такие как высота в "зоне дыхания" (0.9–1.8 м) и центральное расположение, также полностью применимы ^{8 11}. Однако здесь добавляется важнейшее дополнительное требование: изоляция гигрометра от любых поверхностей и объектов, имеющих другую температуру. Не следует размещать датчик непосредственно над работающими увлажнителями, так как он будет измерять концентрацию водяного пара в их прямом "плюме", а не в основном объёме воздуха ^{8 62}. Аналогично, нельзя устанавливать его на внешней стене, особенно на холодной зимой, так как контакт с холодной поверхностью может вызвать конденсацию влаги на сенсоре, что приведёт к ложно завышенным показаниям ⁸. То же самое касается и радиаторов отопления — датчик, расположенный над ними, будет измерять горячий и, соответственно, более сухой воздух, что вызовет ложное снижение показаний влажности ⁹³. Относительная влажность — это отношение текущего содержания водяного пара в воздухе к максимально возможному при данной температуре. Поэтому даже небольшое локальное изменение температуры воздуха вокруг сенсора может существенно повлиять на его показания. Для корректной интерпретации данных по влажности необходимо знать целевой диапазон. Согласно рекомендациям Агентства по охране окружающей среды США (EPA), Центров по контролю и профилактике заболеваний (CDC) и ASHRAE, оптимальный диапазон внутренней влажности составляет 30% до 50% ^{7 9 64 119}. Значения ниже 30% считаются слишком сухими и могут вызывать дискомфорт в дыхательных путях, сухость кожи и глаз ¹⁸. Напротив, постоянное пребывание в условиях влажности выше 50% создаёт благоприятные условия для развития плесени, грибка и размножения пылевых клещей, что негативно сказывается на здоровье, особенно у людей с аллергиями и астмой ⁶⁴. Таким образом, задача пользователя — не просто наблюдать за цифрами, а активно поддерживать их в этом целевом диапазоне, используя увлажнители, осушители или улучшая вентиляцию в зависимости от ситуации.

Размещение и интерпретация данных по CO₂ несколько сложнее из-за наличия противоречивой информации в источниках. Подавляющее большинство рекомендаций, включая руководства производителей и стандарты, сходится во мнении, что CO₂-сенсор следует устанавливать в "зоне дыхания", то есть на высоте 0.9–1.8 метра от пола ^{23 54 112153184}. Такое расположение является наиболее репрезентативным для человека, который проводит время в положении стоя или сидя, и позволяет точно отследить качество того воздуха, который он вдыхает. Однако один из источников предлагает совершенно иную точку зрения, рекомендуя размещать CO₂-сенсоры на высоте всего 12–16 дюймов (30–40 см) от пола, чтобы первыми обнаружить рост концентрации газа ²⁵. Наиболее вероятное объяснение этого расхождения кроется в различии целей применения. Для систем автоматического управления вентиляцией (CRB) в крупных зданиях, где цель — эффективно управлять воздушными потоками в объёме всего помещения, размещение сенсора внизу может быть оправдано для своевременного запуска системы до того, как уровень CO₂ достигнет критической точки на уровне людей. Для конечного потребителя, стремящегося понять, какой именно воздух он сам вдыхает в своей спальне или гостиной, высота в 1.2–1.5 метра является безусловно более релевантной и предпочтительной. Как и для других параметров, CO₂-датчик должен быть расположен вдали от источников потоков (вентиляция) и потенциальных источников самого CO₂, хотя последнее менее актуально в жилом контексте ^{26 183}.

Интерпретация данных по CO₂ — одно из самых мощных инструментов для управления качеством воздуха. CO₂ сам по себе является нетоксичным газом, и его концентрация в воздухе используется в качестве удобного и надёжного индикатора эффективности вентиляции ¹⁷⁰. Человек постоянно выдыхает CO₂, поэтому его концентрация в замкнутом помещении напрямую зависит от числа людей и их метаболической активности. Во время сна, когда человек неподвижен, выработка CO₂ может быть особенно высокой, что приводит к значительному накоплению газа в течение ночи ²⁰⁷²⁰⁸. Длительное пребывание в условиях повышенной концентрации CO₂, даже на уровне 1000–1200 ppm, считается приемлемым для комфорта, может приводить к снижению когнитивных функций, усталости и головным болям ²⁰⁴²²⁶. Таким образом, показания CO₂ — это не абсолютный показатель опасности для жизни, а скорее индикатор "свежести" или "старости" воздуха в помещении. Резкий скачок концентрации CO₂ сразу после того, как в комнату вошли люди и закрыли окна, является прямым и неопровержимым сигналом о необходимости немедленного проветривания. Постоянно высокие значения CO₂ в спальне на протяжении ночи

— это однозначный знак того, что в течение дня в доме была недостаточная вентиляция, и воздух успевает сильно "задохнуться" ²². Сравнивая показания CO₂ в разных комнатах, можно выявить "слабые" зоны в системе вентиляции дома. Например, если в спальне уровень CO₂ постоянно выше, чем в гостиной, это может указывать на более низкую эффективность притока свежего воздуха именно в эту комнату.

Размещение и интерпретация данных по летучим органическим соединениям (ЛОС/ЛОС)

Летучие органические соединения (ЛОС) представляют собой одну из самых сложных групп загрязнителей воздуха, что обуславливает специфику как их размещения, так и интерпретации данных. Это огромное количество различных химических веществ, испаряющихся с широчайшего круга предметов и материалов, находящихся в любом современном жилом помещении. Они могут поступать в воздух из мебели, отделочных материалов, чистящих средств, косметики, парфюмерии, продуктов питания и даже самих людей ^{56 102116118}. Бытовые датчики, как правило, не способны идентифицировать конкретные ЛОС, а измеряют суммарную концентрацию, известную как общие летучие органические соединения (ОЛОС). Ценность таких датчиков заключается не в предоставлении точных концентраций в мг/м³, а в возможности отслеживать изменения во времени и пространстве, что делает их отличным инструментом для выявления источников загрязнения.

Принципы размещения ЛОС-датчика в целом совпадают с общими правилами: он должен находиться в "зоне дыхания" на высоте 0.9–1.8 метра и в центре помещения, чтобы давать представление о том, какой воздух вдыхают люди ²⁴⁵. Однако, учитывая природу ЛОС, для них существует ещё одна, не менее важная рекомендация: необходимо максимально избегать размещения датчика в непосредственной близости от потенциальных источников их выбросов. ЛОС — это вещества, концентрации которых могут меняться очень быстро, иногда за считанные минуты ²²². Поэтому даже небольшое расстояние до источника выброса может дать ложноположительный результат, который не будет отражать реальную ситуацию в остальной части комнаты. Например, если датчик ЛОС стоит на столе рядом с новым книжным шкафом, который активно отдаёт формальдегид, он будет постоянно показывать высокие значения, не

давая представления о качестве воздуха на диване или в кресле, где человек обычно проводит время. Аналогично, нельзя размещать датчик рядом с местом мытья полов химическими средствами, готовки пищи на масле или использованием бытовой химии, так как он будет регистрировать только локальный пик, а не среднее по комнате состояние ^{57 59 115}. Чтобы получить репрезентативный фоновый уровень, датчик следует располагать на расстоянии не менее 1 метра от всех очевидных и подозреваемых источников ЛОС ¹⁸²¹⁸³.

Интерпретация данных по ЛОС — это процесс, близкий к детективной работе, где целью является поиск и локализация источников загрязнения. Концентрации многих ЛОС внутри помещений могут быть в 2-5 раз и даже десять раз выше, чем снаружи ^{41 66}. Это связано с тем, что современные материалы строительства и мебели, а также продукты бытового использования являются постоянными источниками испарений ¹¹⁸. Человеческая деятельность, такая как готовка, глубоко влияет на уровни ЛОС в доме ¹⁷. Поэтому ключевая стратегия интерпретации — это анализ временных совпадений. Если пользователь видит резкий и значительный скачок значений TVOC сразу после того, как он использовал аэрозольный спрей для уборки, это однозначно указывает на данный спрей как на причину ⁵⁹. Если скачок происходит во время жарки на сковороде, проблема, скорее всего, в кулинарном процессе ¹¹⁵. После проведения чистки или ремонта, если показания остаются высокими на протяжении нескольких дней или недель, это может указывать на "тихие" источники, такие как новая мебель или отделочные материалы, которые продолжают отдавать ЛОС в воздух ¹¹⁶. Постоянно высокие фоновые значения, не связанные с явными событиями, также являются сигналом к расследованию — возможно, в доме есть источник, который ранее не был замечен ⁶⁰.

При интерпретации данных важно понимать их ограниченные возможности. Большинство бытовых датчиков ЛОС имеют погрешность, которая может составлять +20% и более ¹⁴². Они не предоставляют информации о конкретных химических веществах, а только о суммарной массе. Поэтому их нельзя использовать для оценки риска, связанного с конкретным токсичным веществом, например, формальдегидом. Однако для практической цели — выявления и устранения источников загрязнения — они являются чрезвычайно ценным инструментом. Пользователь может не просто видеть высокие цифры, но и понимать, что нужно сделать: проветрить помещение, использовать вытяжку, заменить чистящее средство на менее агрессивное или принять

другие меры для снижения выбросов ⁵⁹. Кроме того, многие ЛОС-датчики требуют времени для адаптации. После первого включения или после длительного простоя (например, на выходных) сенсору может потребоваться около семи дней, чтобы "научиться" воспринимать локальный фоновый уровень и сформировать новый базовый показатель ²²⁹²³⁷²³⁸. Поэтому делать окончательные выводы о качестве воздуха сразу после установки датчика не следует.

Размещение и интерпретация данных по твёрдым частицам (PM2.5/PM10)

Твёрдые частицы, в частности фракции PM2.5 (частицы диаметром 2.5 микрометра и меньше) и PM10 (до 10 микрометров), являются одними из самых распространённых и опасных загрязнителей воздуха как внутри, так и вне помещений. Их источники в жилом доме многообразны: от готовки (особенно жарки и выпечки), курения, использования свечей и каминов до пыли, образующейся при ходьбе и уборке, и проникновения из уличного воздуха через неплотности в конструкции здания и системы вентиляции ^{76 87 126}. Размещение датчика РМ и интерпретация его показаний требуют учёта физических свойств самих частиц и их динамики в воздухе.

Основной принцип размещения датчика РМ — это установка в "зоне дыхания" на высоте 0.9–1.8 метра от пола ^{73 75}. Этот принцип основан на том, что именно на этой высоте находится дыхательная система человека, и именно там должна оцениваться потенциальная доза вдыхаемых частиц. Однако, в отличие от газов, таких как CO₂, которые хорошо перемешиваются в объёме комнаты, твёрдые частицы подвержены процессам оседания. Частицы имеют тенденцию медленно опускаться на пол под действием силы тяжести. Это приводит к тому, что их концентрация в воздухе обычно выше у поверхности пола и ниже у потолка ¹⁹⁶. Одно из исследований показало, что для PM2.5 с увеличением высоты на каждый процент концентрация в воздухе уменьшается примерно на 5.44% ¹⁹⁷. Таким образом, размещение датчика слишком высоко может привести к ложно заниженным показаниям, так как он будет "ловить" воздух, уже частично очищенный от частиц, которые осели. С другой стороны, установка датчика на самом полу приведёт к ложно завышенному показанию из-за пыли, постоянно находящейся в воздухе вблизи этой поверхности. Поэтому высота

1.2–1.5 метра представляет собой компромисс, позволяющий получить наиболее репрезентативные данные о концентрации частиц, вдыхаемых человеком в положении стоя или сидя.

При интерпретации данных по РМ ключевую роль играет анализ временных рядов и сопоставление с происходящими в доме событиями. Резкий пик концентрации РМ_{2.5} во время готовки является классическим и самым частым примером ^{87 115}. Сравнивая показания датчика во время готовки с показаниями снаружи (если есть второй датчик или доступ к данным городской метеостанции), можно оценить эффективность работы кухонной вытяжки. Если концентрация РМ_{2.5} быстро падает после включения вытяжки, значит, она работает хорошо. Если же пик остаётся высоким или спадает очень медленно, это говорит о недостаточной мощности или проблемах с вытяжкой.

Деятельность человека, такая как ходьба по комнате, также может вызывать кратковременные, но заметные всплески концентрации частиц, так как движение поднимает пыль с поверхностей (ковров, полов, мебели) ¹²⁰. Исследования показывают, что кухня, как правило, является наиболее загрязнённой по частицам комнатой в доме из-за готовки, в то время как спальня может иметь самые низкие фоновые уровни ²³⁰. Это делает мониторинг в разных комнатах особенно информативным.

Необходимо также учитывать ограничения бытовых датчиков РМ. Большинство из них используют оптические принципы (лазерную светорассеяние) для подсчёта частиц. Их производительность может зависеть от размера и состава частиц ¹⁶². Бюджетные модели могут быть чувствительны к высокой относительной влажности, что может приводить к заниженным показаниям, так как влага на частицах изменяет их оптические свойства ^{95 163216}. Также следует отметить, что некоторые бюджетные датчики могут некорректно измерять концентрацию частиц в диапазоне РМ_{2.5}–10 (так называемый "промежуточный режим"), и сообщества энтузиастов по мониторингу воздуха рекомендуют не доверять этим показаниям ¹⁶⁶. Тем не менее, для концентраций РМ_{2.5} выше 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (уровень, при котором начинаются серьёзные риски для здоровья) большинство бытовых датчиков работают достаточно надёжно и хорошо отслеживают динамику загрязнения ¹⁶². Главная ценность такого датчика — в его способности в реальном времени показать, когда уровень загрязнения становится опасным, и помочь пользователю понять, что именно стало причиной этого загрязнения и как с ним бороться.

Факторы, влияющие на точность измерений и методы коррекции

Для того чтобы данные, полученные от бытовых датчиков, были действительно полезными, а не просто источником беспокойства, необходимо понимать и учитывать ряд факторов, которые могут влиять на точность и достоверность измерений. Помимо правильного размещения, ключевую роль играют физические условия окружающей среды, такие как температура и влажность, а также внутренние характеристики самого датчика, включая необходимость калибровки и адаптации. Честное освещение этих аспектов помогает пользователю правильно интерпретировать данные и не приписывать им большую точность, чем они на самом деле имеют.

Один из наиболее значимых внешних факторов — это температура и влажность окружающего воздуха. Эти два параметра тесно взаимосвязаны и могут оказывать прямое влияние на работу сенсоров, измеряющих другие вещества. Для гигрометров (датчиков влажности) температура является вторым по важности измеряемым параметром, так как относительная влажность определяется как отношение текущей плотности водяного пара к максимальной плотности при данной температуре ⁷². Поэтому для корректной работы датчики влажности должны быть изолированы от прямого воздействия экстремальных температур, будь то солнечный свет, холодные стены или работающие отопительные приборы ^{93 143}. Для датчиков твёрдых частиц (PM) высокая относительная влажность может стать серьёзной проблемой. Влага в воздухе может оседать на мелких частицах, увеличивая их размер и массу. Оптические сенсоры, основанные на рассеивании света, могут ошибочно интерпретировать этот эффект как увеличение концентрации частиц, хотя на самом деле общая масса твёрдого вещества не изменилась. Более того, некоторые исследования показывают, что высокая влажность может приводить к систематическому занижению показаний PM_{2.5} у некоторых моделей бюджетных датчиков ^{95 141163}. Для датчиков летучих органических соединений (ЛОС) температура и влажность также могут играть роль. Например, повышение температуры может ускорить процесс выделения ЛОС из материалов (процесс, известный как "выделение газов"), что приведёт к росту их концентрации в воздухе ⁵⁸. Таким образом, при интерпретации данных по ЛОС, PM и даже CO₂ следует всегда обращать внимание на показания встроенных в датчик термометра и гигрометра.

Второй важный аспект — это калибровка и адаптация датчика к локальным условиям. Современные датчики, особенно бюджетные, не являются эталонными измерительными приборами и их показания могут отличаться от истинных значений. Производители часто не выполняют индивидуальную заводскую калибровку каждого сенсора из-за экономических соображений. Вместо этого, датчику необходимо дать время "адаптироваться" к своему новому окружению. Этот процесс особенно важен для VOC-сенсоров. После первого включения или после длительного простоя (например, на несколько дней) датчику требуется время, обычно около одной недели, чтобы сформировать новый базовый фоновый уровень (baseline) для ЛОС ²²⁹²³⁷²³⁸. За это время сенсор "привыкает" к химическому составу воздуха в конкретном доме и начинает корректно измерять отклонения от этого местного стандарта. Если датчик отключали на выходные или путешествовали с ним, этот процесс адаптации может начаться заново ⁶⁰. Поэтому пользователю не следует делать поспешных выводов о качестве воздуха сразу после установки нового датчика или его повторного включения. Необходимо дать ему поработать без перебоев как минимум неделю, чтобы он дал стабильные и релевантные показания. Для CO₂-сенсоров на основе технологии NDIR (нелинейная инфракрасная абсорбция) этот процесс также происходит, хотя и может занимать до 30 дней для полной стабилизации, особенно для радон-датчиков, которые часто идут в комплекте с мониторами качества воздуха ²²⁹. Понимание этого процесса позволяет избежать ложной тревоги и правильно оценить долгосрочные тенденции.

Наконец, необходимо честно говорить о ограничениях бытовых датчиков. Они являются прекрасным инструментом для мониторинга, выявления источников загрязнения и отслеживания изменений во времени, но они не заменяют профессиональное лабораторное оборудование ¹¹⁷. Их точность, как правило, ниже, а погрешность может быть значительной, особенно для ЛОС, где она может достигать $\pm 20\%$ и более ¹⁴². Они не предназначены для юридических или медицинских целей, требующих абсолютной точности. Их главная ценность заключается в их способности предоставить пользователю наглядную, доступную и своевременную информацию, которая позволяет ему взять под контроль микроклимат в своём доме. Объясняя эти ограничения клиентам, компания airzamer.ru может повысить доверие к своим продуктам и услугам, обучая пользователей не просто читать цифры, а понимать их смысл и использовать их для принятия практических шагов по улучшению качества воздуха.

Стратегии мониторинга и анализа данных для формирования целостной картины

Если один датчик, установленный по всем правилам, способен дать объективную картину качества воздуха в одной конкретной точке, то для получения всестороннего и целостного понимания состояния воздушной среды в жилом пространстве этого недостаточно. Анализ научных исследований и экспертных мнений показывает, что качество воздуха внутри дома является переменной величиной, сильно зависящей от местоположения. Воздух в кухне, где происходят процессы готовки, может быть кардинально отличаться от воздуха в спальне, где человек проводит 8 часов подряд в сутки. Поэтому наиболее эффективной стратегией является переход от мониторинга в одной точке к созданию сети из нескольких датчиков, размещённых в ключевых зонах жилого пространства.

Это решение основано на убедительных доказательствах пространственной гетерогенности (неравномерности) загрязнителей внутри одного здания. Исследования демонстрируют, что концентрации таких веществ, как CO₂, PM и VOCs, могут значительно различаться в разных комнатах и даже в разных частях одной и той же комнаты [100][103][104][186]. Например, кухня, как правило, имеет самую высокую концентрацию PM_{2.5} из-за готовки [230], а также повышенные уровни ЛОС [115]. Спальня, напротив, может иметь самые низкие фоновые уровни частиц, но зато часто страдает от высоких концентраций CO₂ из-за недостаточной ночного проветривания [22]. Жилые комнаты и офисы также могут иметь свои уникальные профили загрязнения, зависящие от деятельности [28][29]. Таким образом, установка единственного датчика в холле или гостиной даст лишь фрагментарную, искажённую картину. Она может показать хороший уровень влажности, но пропустить пересыхание воздуха и высокий уровень CO₂ в спальне, или, наоборот, зарегистрировать норму, в то время как на кухне уровень PM_{2.5} достигает опасных значений. Создание многокомнатной сети датчиков позволяет преодолеть этот недостаток и получить комплексное представление о микроклимате во всём доме.

Выбор мест для установки сетевой системы должен быть продуманным. Ключевыми зонами для мониторинга являются те, где люди проводят наибольшее количество времени, и те, где возникают локальные источники загрязнения. Наиболее логичным выбором являются: 1. Главное жилое помещение: Это комната, где семья проводит больше всего времени днём,

например, гостиная или кабинет. Размещение датчика здесь даёт представление о базовом качестве воздуха в основной зоне проживания ^{37 63}.

2. Спальня: Поскольку человек проводит в спальне треть своей жизни, качество воздуха в этой комнате имеет первостепенное значение для здоровья и сна. Мониторинг в спальне позволяет отслеживать ночной уровень CO₂, влажности и температуры, а также выявлять проблемы с вентиляцией ^{22 114}.

3. Кухня: Это обязательная точка для мониторинга из-за высокого риска образования РМ (от готовки) и VOCs (от продуктов питания, чистящих средств) ^{87 115}.

4. Подвал или другие помещения: В зависимости от планировки дома, может быть полезно разместить датчик и в подвале, чтобы отслеживать уровень влажности и предотвращать сырость и плесень.

Такая распределённая система позволяет не только получать данные из каждой отдельной комнаты, но и анализировать их в совокупности. Пользователь может увидеть, как проветривание одной комнаты влияет на показания в соседней, или как включение вентиляции на кухне снижает пик РМ в этой же комнате, но не обязательно в спальне, если воздух там не перемешивается. Современные мониторы часто имеют приложения, которые собирают данные со всех датчиков в едином интерфейсе, позволяя строить графики, сравнивать уровни в разных зонах и получать комплексные отчёты ^{34 124}.

Ключевой аспект успешного мониторинга — это переход от простого наблюдения за цифрами к их глубокому анализу. Простое чтение показаний малоинформативно. Гораздо ценнее научиться интерпретировать исторические данные. Запись и анализ данных в течение нескольких дней или недель позволяет установить "базовый уровень" загрязнителей в доме, который будет служить отправной точкой для дальнейших действий ⁸³. Анализируя данные в дневном и ночном циклах, можно выявить закономерности: например, пик CO₂ каждую ночь в спальне или ежедневный всплеск РМ по вечерам во время готовки. Сопоставление показаний датчика с конкретными событиями (когда включалась вытяжка, когда проветривали, когда использовали чистящие средства) позволяет точно локализовать источники загрязнения и оценить эффективность принимаемых мер ¹²⁵. Именно такой подход, сочетающий многокомнатный мониторинг с глубоким анализом данных во времени, позволяет перейти от концепции "средней по больнице" к получению реальной, персонализированной и действенной картины качества воздуха в каждом уголке дома. Для компании airzamer.ru это открывает возможность не только продавать отдельные устройства, но и предлагать клиентам комплексные

системы и программное обеспечение для сбора, анализа и интерпретации данных, становясь настоящим партнёром в вопросах здоровья и благополучия семьи.

Справка

1. Ten questions concerning low-cost indoor air quality sensors <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132326005421>
2. [PDF] Complying with ASHRAE Guidelines for Indoor Air Quality ... - Belimo https://www.belimo.com/mam/americas/technical_documents/Support%20material/belimo_PF-53-iaq_brochure_fr-ca.pdf
3. [PDF] ASHRAE STANDARD Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality <https://aws.state.ak.us/OnlinePublicNotices/Notices/Attachment.aspx?id=113385>
4. Relevant ASHRAE Standards and Guidelines <https://www.ashrae.org/technical-resources/infection-control/relevant-ashrae-standards>
5. Towards Personalization of Indoor Air Quality: Review of Sensing ... - PMC <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9104953/>
6. Indoor Air Quality Management: IoT Monitoring, ASHRAE Standards ... <https://oxmaint.com/industries/facility-management/indoor-air-quality-management-monitoring-standards>
7. Care for Your Air: A Guide to Indoor Air Quality <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/care-your-air-guide-indoor-air-quality>
8. Tracking Humidity Levels: Essential Equipment at Home https://www.davisinstruments.com/pages/home-weather-tips/tracking-humidity-levels-essential-equipment-at-home?srsId=AfmBOooJYWZR22kolgla08pYO0WFRUbOw25aE8_K17wdi40BYLLkksIA
9. What are the EPA guidelines for humidity? <https://thedryair.com/blogs/news/what-are-the-epa-guidelines-for-humidity>
10. Where should a thermo hygrometer be placed? <https://blog.switch-bot.com/thermo-hygrometer-placement-guide/>
11. Best Practices for Hygrometer Placement <https://www.facebook.com/fb-answers/best-practices-for-hygrometer-placement/>
12. How to Measure Humidity in Your Home <https://humidityathome.com/how-to-measure-humidity-in-your-home/>

13. Low-Cost Air Pollution Monitors and Indoor Air Quality | US EPA <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/low-cost-air-pollution-monitors-and-indoor-air-quality>
14. Placement Guide - Atmocube - ATMO Support Center <https://support.atmotube.com/en/articles/10442284-placement-guide>
15. Sources of Indoor Particulate Matter (PM) <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/sources-indoor-particulate-matter-pm>
16. A Guide to Siting and Installing Air Sensors <https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox/guide-siting-and-installing-air-sensors>
17. Yearlong study of indoor VOC variability <https://eprints.whiterose.ac.uk/id/eprint/228979/1/d4em00756e.pdf>
18. Tracking Humidity Levels: Essential Equipment at Home <https://www.davisinstruments.com/pages/home-weather-tips/tracking-humidity-levels-essential-equipment-at-home?srsId=AfmBOopgmErWdZoLSdBm29CggHiVf9PiuxOyyvhOIoxeXPepAV6xTs8j>
19. Standards 62.1 & 62.2 <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standards-62-1-62-2>
20. The spatial distribution of carbon dioxide in rooms with ... https://www.researchgate.net/publication/263239235_The_spatial_distribution_of_carbon_dioxide_in_rooms_with_particular_application_to_classrooms
21. Associations of bedroom air temperature and CO2 ... <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33620120/>
22. Bedrooms often have high CO2 levels at night <https://www.facebook.com/Traningkosthalsa/posts/in-more-than-four-out-of-five-homes-the-carbon-dioxide-co%E2%82%82-in-the-air-remained-a/1642107364586994/>
23. HVAC Indoor Air Quality | The Critical Role of CO2 Sensors <https://blog.amphenol-sensors.com/industrial-blog/hvac-indoor-air-quality-co2-sensors>
24. indoor carbon dioxide, ventilation and indoor air quality <https://www.ashrae.org/file%20library/about/government%20affairs/public%20policy%20resources/briefs/approved-ppib---indoor-carbon-dioxide.pdf>
25. CO2 Sensor Placement: Where Should ... <https://analogxgroup.com/co2-sensor-placement/>
26. CO2 Sensors for HVAC Systems: A Guide - Veris Industries <https://www.veris.com/blog/achieve-better-indoor-air-quality-with-veris-co2-sensors>
27. Understanding the patterns and health impact of indoor air ... <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10711829/>

28. Multivariate structure and time-segmented exposure ... <https://www.nature.com/articles/s41598-026-45168-y>
29. Investigation of indoor air quality in university residences ... <https://pubs.rsc.org/ea/article/3/2/347/767013/Investigation-of-indoor-air-quality-in-university>
30. evidence from an indoor air quality experiment <https://www.cambridge.org/core/journals/behavioural-public-policy/article/power-of-personalised-feedback-evidence-from-an-indoor-air-quality-experiment/177F59D40B52749A1AAB4392B1006B80>
31. Assessment of indoor and outdoor air quality using low-cost ... <https://link.springer.com/article/10.1007/s44274-025-00400-w>
32. Exploring Children's Engagement in Monitoring Indoor Air ... <https://formative.jmir.org/2022/1/e32404/>
33. Using Sensor Data to Identify Factors Affecting Internal Air ... <https://www.mdpi.com/1660-4601/20/2/1075>
34. Co-Designing an Air Quality Web App with School Pupils ... <https://theoryandpractice.citizenscienceassociation.org/articles/10.5334/cstp.620>
35. Performance of Four Consumer-grade Air Pollution ... <https://aaqr.org/articles/aaqr-19-01-lcs-0045>
36. (PDF) Evaluating Indoor Air Quality Monitoring Devices for ... https://www.researchgate.net/publication/377023511_Evaluating_Indoor_Air_Quality_Monitoring_Devices_for_Healthy_Homes
37. Your Guide to Using a uHoo Air Quality Monitor for Better ... <https://getuhoo.com/blog/home/your-guide-to-using-a-uhoo-air-quality-monitor-for-better-health/>
38. Indoor Air Quality | US EPA <https://www.epa.gov/report-environment/indoor-air-quality>
39. The Inside Story: A Guide to Indoor Air Quality <https://www.cpsc.gov/Safety-Education/Safety-Guides/Home/The-Inside-Story-A-Guide-to-Indoor-Air-Quality>
40. Household air pollution <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>
41. Why The New EPA Air Quality Standards Are Important For ... <https://filterbuy.com/resources/air-filter-basics/epa-indoor-air-quality-standards/>
42. Air Quality Inside Your Home: 10 Powerful Ways to Avoid ... <https://www.aaastl.com/blog/air-quality-inside-your-home>
43. What Causes Poor AQI and How to Protect Your Family https://www.intellipure.com/blogs/all-articles/what-causes-poor-aqi-and-how-to-protect-your-family?srsId=AfmBOorIZQyi0DSu6Q7e3GWMGKBXH1xo3I-XoV_8JgxQJw-TM_GasgPj
44. Indoor Air Quality - Overview <http://www.osha.gov/indoor-air-quality>

45. What is causing high air quality readings in my home? <https://www.facebook.com/groups/MyAirQualityAustralia/posts/1957791108396464/>
46. ASHRAE Standard 241, Control of Infectious Aerosols <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/ashrae-standard-241-control-of-infectious-aerosols>
47. ASHRAE Standard 241 Explained for Engineers <https://gpsair.com/blogs/the-role-of-ashrae-standard-241>
48. Understanding ASHRAE Standard 241: Control of ... <https://www.linkedin.com/pulse/understanding-ashrae-standard-241-control-ymcpcf>
49. Understanding ASHRAE Standard 241: Controlling ... <https://learn.kaiterra.com/en/resources/understanding-ashrae-standard-241-controlling-infectious-aerosols-for-healthier-indoor-air>
50. Introduction to ASHRAE Standard 241 <https://airmidhealthgroup.com/ashrae-standard-241-control-of-infectious-aerosols-understanding-its-impact-2.html>
51. New ASHRAE Standard 241 for Indoor Air Quality <https://blogs.duanemorris.com/esg/2023/09/24/new-ashrae-standard-241-for-indoor-air-quality-increasing-exterior-fresh-air-or-purifying-existing-indoor-air/>
52. EPA AND CDC Embrace ASHRAE 241 <https://ebtron.com/epa-cdc-ashrae-standard-241/>
53. ASHRAE Standard 241: Revolutionizing Indoor Air Quality ... <https://grummanbutkus.com/blog/ashrae-standard-241-iaq/>
54. Mandatory Requirements for Ventilation and Indoor Air ... <https://up.codes/s/mandatory-requirements-for-ventilation-and-indoor-air-quality>
55. The effect of ventilation on volatile organic compounds ... <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590162120300083>
56. Why does my air quality monitor shows high VOCs every ... https://www.reddit.com/r/homeautomation/comments/tefkvs/why_does_my_air_quality_monitor_shows_high_vocs/
57. How to Test for VOCs in Your Home & How to Measure ... https://www.healthierhomes.com/post/how-to-test-for-vocs-in-your-home?srsltid=AfmBOoqwHntOc44-f7Fc6Qbf8SE3ji2ItjO-NAbTm0J6qjbpTdgLRZ_P
58. VOCs: what causes spikes in VOC levels? <https://help.airthings.com/en/articles/7328130-vocs-what-causes-spikes-in-voc-levels>
59. VOC Sensor Spiking? 8 Hidden Sources at Home <https://indoorhumidity.com/indoor-air-quality/voc-sensor-spiking-randomly-hidden-sources/>
60. Deep dive: VOCs • AirSuite Support <https://www.airsuite.com/support/vocs>
61. The Itch Podcast | What are volatile organic compounds ... <https://www.instagram.com/reel/DaSlQDvzJ12/>

62. Tracking Humidity Levels: Essential Equipment at Home https://www.davisinstruments.com/pages/home-weather-tips/tracking-humidity-levels-essential-equipment-at-home?srsltid=AfmBOorR06OcJE-IXYvPQV6dRgUOPNuVou6UHPQ3eubneldpDUrs7C_p
63. Recommended Indoor Humidity Levels: EPA, CDC & ASHRAE <https://indoorhumidity.com/indoor-humidity/recommended-indoor-humidity-levels-epa-cdc-ashrae/>
64. CDC Recommended Indoor Humidity 30-50 Percent - Facebook <https://www.facebook.com/fb-answers/cdc-recommended-indoor-humidity-30-50-percent/>
65. Yearlong study of indoor VOC variability: insights into spatial ... <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11921335/>
66. Volatile Organic Compounds' Impact on Indoor Air Quality <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>
67. Building and Environment <https://infoscience.epfl.ch/record/303849/files/1-s2.0-S0360132323004869-main.pdf>
68. Breathing Zone definition - LeedUser - BuildingGreen <https://leeduser.buildinggreen.com/forum/breathing-zone-definition>
69. Where to Place Air Quality Monitors for WELL Certification <https://learn.kaiterra.com/en/resources/where-to-place-air-quality-monitors-for-well-certification>
70. Variation in Room Temperature with Height <https://protonsforbreakfast.wordpress.com/2026/01/06/variation-in-room-temperature-with-height/>
71. Indoor temperature and humidity prediction in residential ... <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132325015914>
72. What does absolute humidity do in a large space with a ... <https://physics.stackexchange.com/questions/353143/what-does-absolute-humidity-do-in-a-large-space-with-a-temperature-gradient>
73. Quantifying the dynamic characteristics of indoor air ... <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412023002076>
74. Numerical Investigation of Indoor Particle Behaviors in ... <https://link.springer.com/article/10.1007/s44408-025-00041-x>
75. Evaluating Indoor Air Quality in Residential Environments <https://www.mdpi.com/2076-3298/11/11/237>
76. Impact of Wildfire Smoke Events on Indoor Air ... <https://aaqr.org/articles/aaqr-21-03-tn-0046>
77. indoor air quality guidelines and standards – challenges, ... <https://d-nb.info/136167766X/34>

78. What are ideal locations for indoor air quality monitors in ... <https://www.facebook.com/groups/1854210748209867/posts/2891134797850785/>
79. Evaluating Indoor Air Quality Monitoring Devices for ... <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/1/102>
80. Indoor Air Quality Monitoring for Commercial Buildings ... <https://aethair.io/resources/indoor-air-quality-monitoring-commercial-buildings/>
81. Low-Cost Sensor Systems and IoT Technologies for Indoor Air ... <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12737076/>
82. How to Benefit From An Indoor Air Quality (IAQ) ... <https://www.monnit.com/blog/take-action-to-improve-indoor-air-quality-in-your-facility/?srsltid=AfmBOoprVQazmy2uhbkPnhjUpECYd1UQ9ZrK10II4RmVr1wJP5DfnjZG>
83. Indoor Air Quality: Why It's Important and How to Manage It <https://www.nar.realtor/news/real-estate-news/technology/manage-indoor-air-quality>
84. 8 tactics to monitor and maintain Indoor Air Quality (IAQ) <https://www.seeleyinternational.com/us/blog/improve-monitor-indoor-air-quality-iaq/>
85. Leveraging Low-Cost Sensor Data and Predictive ... <https://www.mdpi.com/2624-6511/8/6/200>
86. Indoor air quality during cooking and cleaning - CentAUR <https://centaur.reading.ac.uk/129949/1/d5em00987a.pdf>
87. Impact of Cooking Methods on Indoor Air Quality https://www.researchgate.net/publication/386125786_Impact_of_Cooking_Methods_on_Indoor_Air_Quality_A_Comparative_Study_of_Part particulate_Matter_PM_and_Volatile_Organic_Compound_VOC_Emissions
88. Residential Indoor and Outdoor PM Measured Using Low ... <https://aaqr.org/articles/aaqr-22-05-oa-0210>
89. d3em00512g.pdf <https://eprints.whiterose.ac.uk/id/eprint/210767/1/d3em00512g.pdf>
90. Reference Guide for Indoor Air Quality in Schools <https://www.epa.gov/iaq-schools/reference-guide-indoor-air-quality-schools>
91. State Guide for Clean Indoor Air <https://www.eli.org/sites/default/files/files-pdf/State%20Guide%20for%20Clean%20Indoor%20Air%20-%20ELI%20Website.pdf>
92. 10 Tips for Home Indoor Air Quality <https://www.ashrae.org/technical-resources/free-resources/10-tips-for-home-indoor-air-quality>
93. Air Quality Sensors Explained: What, Why, and How? - Ruuvi <https://ruuvi.com/air-quality-sensors-explained/?srsltid=AfmBOoodyjI1NhFDkJ-HfKuibeytIbA5aQY2pOmuyTBPNX92ipRvWwQO>

94. Correction of PM 2.5 underestimation in low-cost sensors under elevated ... <https://amt.copernicus.org/articles/19/1077/2026/>
95. Low-Cost Indoor Sensor Deployment for Predicting PM2.5 Exposure - PMC <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11321336/>
96. 5 Common Mistakes When Placing an Outdoor Air Quality Monitor <https://www.airgradient.com/blog/five-mistakes-when-placing-an-outdoor-air-quality-monitor/>
97. Utilizing Low-cost Mobile Monitoring to Estimate the PM2.5 Inhaled Dose ... <https://aaqr.org/articles/aaqr-22-02-ssea-0079>
98. Variability of indoor and outdoor VOC measurements: An analysis using ... <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4317467/>
99. [PDF] Investigating Indoor CO2 Heterogeneity <https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/be616674-1148-4a0f-8813-ec774280d746-MECA.pdf?abstractid=6890043&mirid=1>
100. Quantification of the Spatial Heterogeneity of PM 2.5 to Support ... <https://www.mdpi.com/2073-4433/16/9/998>
101. Spatial heterogeneity in CO2, CH4, and energy fluxes - ESPO https://espo.nasa.gov/content/Spatial_heterogeneity_in_CO2_CH4_and_energy_fluxes_insights_from_airborne_eddy_covariance
102. The Effect of Human Occupancy on Indoor Air Quality through Real ... <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.2c04609>
103. [PDF] Indoor spatial distribution of CO2 and effect of sensor location on the ... <https://d-nb.info/1386378607/34>
104. Indoor Air Quality - University of Edinburgh Research Explorer <https://www.research.ed.ac.uk/en/publications/indoor-air-quality>
105. [PDF] Monitoring VOCs' concentrations in a circular biobased residential ... - AIVC <https://www.aivc.org/sites/default/files/055.pdf>
106. Spatial-temporal Characteristics and Source Apportionment of Ambient ... <https://aaqr.org/articles/aaqr-22-01-0a-0016>
107. ASHRAE Standard 241-2023 <https://smartairdefense.com/wp-content/uploads/2025/10/ASHRAE-241-Official-copy.pdf>
108. ASHRAE Standard 241 Compliance <https://tsi.com/ashrae241>
109. ASHRAE Announces Groundbreaking Standard to Improve ... <https://rzero.com/blog/ashrae-announces-groundbreaking-standard-to-improve-indoor-air-quality/>
110. EVALUATING ASHRAE 241 STANDARD FOR ... https://hammer.purdue.edu/articles/thesis/_b_DECISION-

MAKING_IN_INDOOR_AIR_QUALITY_EVALUATING_ASHRAE_241_STANDARD_FOR
_INFECTIOUS_AEROSOL_CONTROL_b_/28818434/1/files/53761928.pdf

111. Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Residential ... https://www.academia.edu/43828601/Ventilation_and_Acceptable_Indoor_Air_Quality_in_Residential_Buildings
112. Building Indoor Air Quality and Ventilation Requirements <https://energycodeace.com/content/114-building-indoor-air-quality-and-ventilation-requirements>
113. Ventilation Strategies for Healthy Homes and Code ... <https://www.broan-nutone.com/en-us/home/learn/ventilation-strategies-code-compliance>
114. The impact of automated control of indoor air pollutants on ... <https://www.frontiersin.org/journals/built-environment/articles/10.3389/fbuil.2023.1117992/full>
115. Is it normal for VOCs to get to an unhealthy range when ... https://www.reddit.com/r/homeowners/comments/17wzr17/is_it_normal_for_vocs_to_get_to_an_unhealthy/
116. Top five tips on how to reduce airborne chemicals (VOCs) ... <https://www.airthings.com/resources/top-five-tips-avoid-voc-contamination?srsltid=AfmBOoqSZ4uEL7GDD6RF0HPTlpzGbCqC-IgAlvijB81bCQ7PGWXDT4Ig>
117. Home VOC testing: Avoid 2026's Hidden Dangers. <https://gpmoldinspection.com/article/home-voc-testing/>
118. Volatile Organic Compounds in Your Home <https://www.health.state.mn.us/communities/environment/air/toxins/voc.htm>
119. How to Optimize Your Home's Indoor Humidity <https://www.americanstandardair.com/resources/blog/achieve-ideal-indoor-humidity/>
120. Indoor/Outdoor Particulate Matter and Related Pollutants in ... <https://www.mdpi.com/1660-4601/22/8/1175>
121. Indoor Air Quality Data Insights are Key for HVAC ... <https://tadiran-international.com/indoor-air-quality-data-hvac-professionals/>
122. How to test indoor air quality in your home <https://www.airthings.com/resources/how-to-test-air-quality-in-your-home?srsltid=AfmBOorftwwb2lOwnCj0Rkh2g0VksIIWSmZ2hO0-yPfUi4Iikb9Z2-s->
123. Implementation of an Internet of Things Architecture to Monitor ... <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11945692/>
124. Smart Home Air Quality Monitoring: Your Complete Guide ... <https://www.filterfactory.com/smart-home-air-quality-monitoring?srsltid=AfmBOooyKMX2DkK2NTzbZbF8ibKtlnepxWOtaigSrEcD4iKdtTNZXSB0>
125. What to Do With Your Indoor Air Quality (IAQ) Data <https://www.arm-environments.com/resources/what-to-do-with-your-iaq-data>

126. Indoor Exposure to Selected Air Pollutants in the Home ... - PMC <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7729884/>
127. Modern buildings act as a dynamic source and sink for ... [https://www.cell.com/cell-reports-sustainability/fulltext/S2949-7906\(24\)00163-0](https://www.cell.com/cell-reports-sustainability/fulltext/S2949-7906(24)00163-0)
128. Contributions of Indoor Household Activities to Inhalation ... <https://aaqr.org/articles/aaqr-23-03-0a-0063>
129. The surprising dangers of cooking and cleaning <https://www.bbc.com/future/article/20200909-why-indoor-air-pollution-is-an-overlooked-problem>
130. Toward Health-Oriented Indoor Air Quality in Sports Facilities <https://www.mdpi.com/2075-5309/15/17/3168>
131. Indoor Air Quality in Buildings: A Comprehensive Review on ... <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8004912/>
132. State Guide for Clean Indoor Air https://pandemics.sph.brown.edu/sites/default/files/pdfs/AUG_2025_State%20Guide%20for%20Clean%20Indoor%20Air%20-%20converted.pdf
133. HVAC's Role in Indoor Air Quality Regulations <https://cadencenow.com/hvacs-role-in-indoor-air-quality-regulations/>
134. Investigating Indoor CO₂ Heterogeneity: The Impact of ... https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=6890043
135. Bedroom Concentrations and Emissions of Volatile Organic ... <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11080066/>
136. Residential air – change rates : Indoor Air <https://www.ovid.com/00025549-202104000-00003>
137. Investigating the Effects of Occupancy and Natural ... <https://www.mdpi.com/2075-5309/15/6/896>
138. Investigating indoor VOC complexities in rural Beijing <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2025BuEnv.27913042M/abstract>
139. Spatial Heterogeneity In Co₂, Ch₄, And Energy Fluxes <https://ameriflux.lbl.gov/community/publication/spatial-heterogeneity-in-co2-ch4-and-energy-fluxes-insights-from-airborne-eddy-covariance-measurements-over-the-mid-atlantic-region/>
140. A Study on Pollutant Levels and Air Quality Assessment in ... <https://press.ierek.com/index.php/ESSD/article/view/47-57>
141. Calibration of Low-cost Sensors for Measurement of Indoor ... <https://aaqr.org/articles/aaqr-23-04-jk-0097>
142. Your AQI Monitors are probably Garbage and here ... https://www.reddit.com/r/AirQuality/comments/1jo60ue/your_aqi_monitors_are_probably_garbage_and_here/

143. Air Quality Sensors Explained: What, Why, and How? <https://ruuvi.com/air-quality-sensors-explained/?srsltid=AfmBOopmCQED32fGkLyvivFuwarb26JfksigGTqrSDjez6RcW-ljXe0e>
144. Which device to measure PM2.5 and PM10 <https://community.homey.app/t/which-device-to-measure-pm2-5-and-pm10/66168>
145. 4.6 Indoor Air Quality and Mechanical Ventilation <https://energycodeace.com/site/custom/public/reference-ace-2013/Documents/46indoorairqualityandmechanicalventilation.htm>
146. ASHRAE Standard 241-2023: Building Readiness Plans <https://activepure.com/blog/new-iaq-standards-ashrae-241-2023/>
147. Mechanical ventilation and indoor air quality in recently ... <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132323005073>
148. VOCs from Furniture | Create a Healthier Home <https://eurekaergonomic.com/blogs/eureka-ergonomic-blog/vocs-furniture-health-guide>
149. Indoor Particulate Matter during HOMEChem - ACS Publications <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.0c00740>
150. Indoor air concentrations of PM 2.5 quartz fiber filter- ... <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2025/em/d4em00359d>
151. Indoor Air Quality <https://www.research.ed.ac.uk/en/publications/indoor-air-quality/>
152. 2025 ASHRAE Ventilation Standards for Commercial Buildings Guide <https://www.whitescarverengineering.com/post/ashrae-ventilation-standards-for-commercial-buildings>
153. Where to Put CO₂ Sensors? - Ollie - Webflow HTML Website Template <https://www.airtest.com/post/where-to-put-co2-sensors>
154. Investigation of Indoor Air Quality in Residential Buildings by ... <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9570953/>
155. (PDF) An analysis of spatial-temporal variation in indoor air ... https://www.researchgate.net/publication/366513601_An_analysis_of_spatial-temporal_variation_in_indoor_air_quality_based_on_field_measurements_of_an_apartment
156. Natural Ventilation Reduces Cooking-Related PM2.5 Peaks ... <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsestair.5c00427>
157. Spatiotemporal Variations and Contributing Factors of Air ... <https://aaqr.org/articles/aaqr-19-09-0a-0464>
158. Mechanical Ventilation Strategies in Buildings <https://www.mdpi.com/2075-5309/15/14/2579>

159. Quantifying the co-benefits of a tropical urban park in São ... <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S259025202600067X>
160. Research on Factors Influencing Indoor Air Quality in Houses <https://www.scitepress.org/Papers/2024/130359/130359.pdf>
161. Spatiotemporal risk assessment of the relationships ... https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10193561/2/PhD_thesis_Complete_version_SCH.pdf
162. Low-cost PM2.5 Sensors: An Assessment of their Suitability ... <https://aaqr.org/articles/aaqr-18-10-lcs-0390>
163. Performance Assessment of Low- and Medium-Cost PM2.5 ... <https://www.mdpi.com/2073-4433/16/7/796>
164. Evaluation of Emerging Air Sensor Performance <https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox/evaluation-emerging-air-sensor-performance>
165. What are some affordable air quality sensor options that ... <https://www.facebook.com/groups/HomeAssistant/posts/3810663772538298/>
166. Air quality sensor (pm2.4 and VOC) : r/homeassistant https://www.reddit.com/r/homeassistant/comments/18et7kd/air_quality_sensor_pm24_and_voc/
167. New Sonoff "AirGuard" Device Compatibility SAWF-08P ... <https://community.home-assistant.io/t/new-sonoff-airguard-device-compatibility-sawf-08p-co2-sawf-07p-pm2-5-pm10/962128>
168. Low-cost PM2.5 sensors can help identify driving factors of ... <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10559280/>
169. Atmospheric Environment <https://nwfirescience.org/sites/default/files/publications/Network%20of%20low-cost%20air%20quality%20sensors%20for%20monitoring%20indoor%2C%20outdoor%2C%20and%20personal%20PM2.5%20exposure%20in%20Seattle%20during%20the%202020%20wildfire%20season.pdf>
170. Carbon dioxide generation rates for building occupants - PMC - NIH <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5666301/>
171. Modeling ventilation rates in bedrooms based on building ... <https://hero.epa.gov/reference/2692130/>
172. ASHRAE 241 Guide: ECAi Values, IRMM Triggers & Filtration <https://envigilance.com/compliance/ashrae-241/>
173. ASHRAE Takes the Lead In Providing Technical ... <https://www.ashrae.org/about/news/2024/ashrae-takes-the-lead-in-providing-technical-resources-for-controlling-infectious-aerosols>
174. Understanding ASHRAE Standard 241: A Boon for ... <https://seetheair.org/2023/08/08/understanding-ashrae-standard-241-a-boon-for-building-occupants/>

175. ASHRAE 241 - The new standard on Indoor Air Quality ... <https://casprtech.com/insights/ashrae-241-the-new-standard-on-indoor-air-quality-focused-on-infectious-aerosols/>
176. Equivalent Clean Airflow Rates from ASHRAE 241 Control ... <https://itsairborne.com/ashrae-241-control-of-infectious-aerosols-part-2-equivalent-clean-airflow-rates-76a511769d4d>
177. ASHRAE-Standard 241 2023 Control of Infectious Aerosols <https://www.scribd.com/document/731396763/ASHRAE-Standard-241-2023-Control-of-Infectious-Aerosols>
178. ASHRAE 62.2-2016 - Residential Ventilation for ... <https://www.efficiencymaine.com/docs/ASHRAE-62-2-Presentation.pdf>
179. Guide to ASHRAE 62.2 residential ventilation <https://hvac.solver360.com/blog/ashrae-62-2-ventilation-residential-complete-guide>
180. The Complete Homeowner's Guide to Hygrometers for ... <https://ctmoldremediationspecialists.com/the-complete-homeowners-guide-to-hygrometers-for-mold-prevention/>
181. ASHRAE Publishes Standard 241, Control of Infectious ... <https://www.ashrae.org/about/news/2023/ashrae-publishes-standard-241-control-of-infectious-aerosols>
182. View Plus starter guide <https://help.airthings.com/en/articles/10290029-view-plus-starter-guide>
183. Installing CO2 sensors – Help Center <https://support.disruptive-technologies.com/hc/en-us/articles/9854879279004-Installing-CO2-sensors>
184. How to Set Up Your uHoo Caeli Smart Air Quality Monitor <https://getuhoo.com/blog/home/uhoo-smart-air-monitor-setup-guide/>
185. Quantifying indoor PM2.5 levels and its sources in schools <https://www.sciencedirect.com/science/article/am/pii/S1309104222000617>
186. Spatial distribution of CO2 Impact on the indoor air quality of ... <https://centaur.reading.ac.uk/116045/8/1-s2.0-S2352710224008143-main.pdf>
187. Analysis of Indoor Air Pollution by CO and VOC in a Smart ... https://ros.edu.pl/images/roczniki/2025/031_ROS_V27_R2025.pdf
188. Sensors, Volume 26, Issue 16 (August-2 2026) – 171 articles <https://www.mdpi.com/1424-8220/26/16>
189. HUMAN EXPOSURE ASSESSMENT <https://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc214.htm>
190. ieee - sensors 2025 https://confcats-siteplex.s3.us-east-1.amazonaws.com/sensors25/SENSORS_2025_Program_Final_f10d3b0e4f.pdf
191. Smart Manufacturing, Structural Health Monitoring and ... <https://hal.science/hal-05331422v1/file/9781643686301.pdf>

192. The sustainable materials roadmap - IOPscience <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2515-7639/ac4ee5>
193. Industry News <https://www.aecdaily.com/news.php>
194. Harmony in Architectural Science and Design: Sustaining ... <https://archscience.org/wp-content/uploads/2025/03/1-ASA-PROCEEDINGS-2024-FINAL.pdf>
195. Particulate Matter in the United Kingdom - DEFRA UK Air https://uk-air.defra.gov.uk/library/assets/documents/reports/aqeg/Particulate_Matter_in_The_UK_2005.pdf
196. Vertical Distribution of Air Particulate Matter (PM1, PM2.5, ... <https://aaqr.org/articles/aaqr-24-02-0a-0036>
197. Observed Vertical Dispersion Patterns of Particulate Matter ... <https://www.mdpi.com/1999-4907/15/8/1319>
198. How to Calculate And Reduce Your Home's Humidity Level <https://sensibo.com/blogs/articles/how-to-calculate-and-reduce-your-homes-humidity-level?srsltid=AfmBOoq6Gxb-MOmipFeGSWitk-taho5FXNLQ3ORxLVrGRybLIBSHgDkh>
199. Airthings for Business: Device Installation <https://businesshelp.airthings.com/en/articles/77639-airthings-for-business-device-installation>
200. ASHRAE STANDARD Ventilation for Acceptable Indoor Air ... <https://aws.state.ak.us/OnlinePublicNotices/Notices/Attachment.aspx?id>
201. How to test indoor air quality in your home <https://www.airthings.com/resources/how-to-test-air-quality-in-your-home?srsltid=AfmBOooi8ffx3EnXABJ8hd7qnDr82Ivp3VXJWtI2Y71jEKVnPW-YOUwf>
202. A Beginner's Guide to Reading Indoor Air Quality Data <https://www.hibouair.com/blog/a-beginners-guide-to-reading-indoor-air-quality-data/>
203. Understanding Indoor Air Quality (IAQ) Monitoring <https://www.linkedin.com/pulse/understanding-indoor-air-quality-iaq-monitoring-what-you-need>
204. Indoor Air Quality Monitoring Parameters: 2026 Complete ... <https://aethair.io/resources/indoor-air-quality-monitoring-parameters/>
205. Delta UNOnext Indoor Air Quality Monitor, your intelligent ... <https://www.facebook.com/DeltaElectronicsIndia/posts/delta-unonext-indoor-air-quality-monitor-your-intelligent-solution-for-healthier/1338190295010380/>
206. Indoor Air Quality (IAQ) & Ventilation Solutions <https://renewaire.com/indoor-air-quality/>
207. Carbon dioxide emission rates during sleep under different ... <https://orbit.dtu.dk/files/453907706/1-s2.0-S2666123326000462-main.pdf>
208. Comparing CO2 Profiles, Ventilation in Bedrooms <https://www.ashrae.org/news/ashraejournal/natural-vs-mechanical-ventilation-comparing-co2-profiles-ventilation-in-bedrooms>

209. I used to struggle with mold sickness and high CO2 in my ... https://www.instagram.com/reel/DPTl1Zljq0_/
210. Mumbai Metro Line 10 Project Report | PDF <https://www.scribd.com/document/482747431/Metro-Line-10-Gaimukh-to-Shivaji-Chowk-Mira-Road>
211. ASHRAE standard 241-2023 Control of Infectious Aerosols ... https://www.youtube.com/watch?v=7F_F0cbmjzw
212. One Year Evaluation of Three Low-Cost PM2.5 Monitors - PMC <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7347290/>
213. A Big Data Analysis of PM2.5 and PM10 from Low Cost ... <https://aaqr.org/articles/aaqr-19-06-0a-0328>
214. Performance of low-cost indoor air quality monitors for PM2.5 ... <https://indoor.lbl.gov/publications/performance-low-cost-indoor-air>
215. Performance of low-cost indoor air quality monitors for PM2 ... https://escholarship.org/content/qt19j361z0/qt19j361z0_noSplash_be1fea77126eba0e3fd57a14981e65c5.pdf
216. (PDF) Evaluation of Low-Cost Sensors for Ambient PM2.5 ... https://www.researchgate.net/publication/328631397_Evaluation_of_Low-Cost_Sensors_for_Ambient_PM25_Monitoring
217. Good IAQ strategies have many components, including ... <https://www.facebook.com/hvacrschool/posts/good-iaq-strategies-have-many-components-including-measurement-humidity-control-/1387735666727779/>
218. How to build complete multi-room air quality monitoring for ... https://www.airthings.com/resources/complete-air-quality-monitoring-home?srsltid=AfmBOooPKSE6BG0XeL3_XAlfxFJbbZMtN7qQvD4Xah46gRDDYTcdXLyB
219. Airthings View Plus - Smart radon & air quality monitor <https://www.airthings.com/en/view-plus?srsltid=AfmBOor6emNIhm-W-For-p73Ly3jGtvdclvJBG81kZ6jY3Mq5zgIEbiH>
220. 4.6 Indoor Air Quality and Mechanical Ventilation <https://energycodeace.com/site/custom/public/reference-ace-2019/Documents/46indoorairqualityandmechanicalventilation.htm>
221. 3 Sources and Composition of Indoor Particulate Matter <https://www.nationalacademies.org/read/27341/chapter/5>
222. an examination of indoor air quality in residential homes https://rex.libraries.wsu.edu/view/pdfCoverPage?instCode=01ALLIANCE_WSU&filePid=13366309850001842&download=true
223. Evaluating the adsorption performance of functional ... <https://www.frontiersin.org/journals/built-environment/articles/10.3389/fbuil.2022.998872/full>

224. Methodologies Used to Determine the Main Markers of ... <https://www.mdpi.com/3042-6197/1/1/3>
225. How to Choose a Dyson Cool Hot Purifier — 2026 Guide <https://electronics.alibaba.com/buyingguides/dyson-cool-hot-purifier-guide-choose-right-in-2026>
226. The discrepancy between indoor air quality benchmarks ... <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2950362025000621>
227. How to test indoor air quality in your home https://www.airthings.com/resources/how-to-test-air-quality-in-your-home?srsltid=AfmBOooQScL18d6s4REAHK7ap4aZ5KA0GBVYWfOMwadlp1bwJvXJ_V8e
228. Understanding IAQ Test Results | Indoor Air Quality ... <https://modernpurair.com/understanding-iaq-test-results/>
229. How to test indoor air quality in your home <https://www.airthings.com/resources/how-to-test-air-quality-in-your-home?srsltid=AfmBOoqJ8-Tg36mOAy-CxXPiIdE5njwo5JIV60K9Q8knt3U9of4EEatC>
230. (PDF) Assessment of indoor PM2.5 in different residential ... https://www.researchgate.net/publication/257521791_Assessment_of_indoor_PM25_in_different_residential_environments
231. Changes in Aerosol Concentration in a Meeting Room with ... <https://aaqr.org/articles/aaqr-24-03-0a-0087>
232. ASHRAE 62.2-2025 https://store accuristech.com/standards/ashrae-62-2-2025?product_id=3021595&srsltid=AfmBOorIXJdgnWx0uicoJzt6B5b880B8f_Q1owpxmuzPYX34MP-8DkVv
233. Airthings Wave Enhance | User Manual <https://www.airthings.com/manuals/wave-enhance?srsltid>
234. Air quality monitor - Wave Enhance <https://www.airthings.com/wave-enhance?srsltid>
235. View: where to place your View <https://help.airthings.com/en/articles/5367260-view-where-to-place-your-view>
236. Placing and caring for your uHoo <https://getuhoo.com/blog/home/placing-and-caring-for-your-uhoo/>
237. Airthings Wave Mini | User Manual https://www.airthings.com/manuals/wave-mini?srsltid=AfmBOorYoEyZDMOib9eqZMroJ3n3uAOuwOILLwpPV-zjA8GkV_p2_kb
238. View series | User Manual <https://www.airthings.com/manuals/view-series-manual?srsltid=AfmBOorKgu5S4JkO8ZYCNROMhWZOMvwKfUwwaH8-uDi5SvyhxQvMUOXL>
239. 9 Comprehensive Air Quality Monitors for Superior Indoor ... https://www.vesternet.com/blogs/smart-home/9-comprehensive-air-quality-monitors-for-superior-indoor-pm2-5-and-voc-detection?srsltid=AfmBOopj78ZhLCtG_EBvpT9HPujYAODeUlabObtfUbUyuIZb_Y8jdAWg

240. Which Indoor Air Quality Monitors Track PM2.5 and VOCs ... <https://getuhoo.com/blog/home/which-indoor-air-quality-monitors-track-pm2-5-and-vocs-reliably/>
241. How to test indoor air quality in your home [https://www.airthings.com/resources/how-to-test-air-quality-in-your-home?](https://www.airthings.com/resources/how-to-test-air-quality-in-your-home?srsId=AfmBOooWnprc1HmVkyUvtzwPW0CV0j1LYK1pArbjuJoQQG88MaFudz01)
[srsId=AfmBOooWnprc1HmVkyUvtzwPW0CV0j1LYK1pArbjuJoQQG88MaFudz01](https://www.airthings.com/resources/how-to-test-air-quality-in-your-home?srsId=AfmBOooWnprc1HmVkyUvtzwPW0CV0j1LYK1pArbjuJoQQG88MaFudz01)
242. The Ultimate Guide to Testing Your Indoor Air Quality <https://greenworksllc.com/air-quality-check-at-home/>
243. Reengineering Indoor Air Quality Monitoring Systems ... - PMC <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11055101/>
244. Assessment of Indoor Air Quality in Residential Buildings ... <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/2/739>
245. A Practical Guide to Air Quality Sensor Placement for WELL & LEED ... <https://greenbuildingcertifications.com/well/well-leed-v5-sensor-calculator-for-air-quality-monitoring/>
246. [PDF] Indoor Air Quality (IAQ) Monitoring for Space Farming Institute <https://docs.nlr.gov/docs/fy26osti/95626.pdf>
247. A cost-effective IoT-based intelligent indoor air quality ... <https://emerginginvestigators.org/articles/23-024/pdf>
248. Reliability Assessment of Low-Cost PM Sensors under ... <https://arxiv.org/pdf/2504.06615>
249. Performance of low-cost indoor air quality monitors for PM2 ... https://www.researchgate.net/publication/338704547_Performance_of_low-cost_indoor_air_quality_monitors_for_PM25_and_PM10_from_residential_sources
250. Evaluation of calibration performance of a low-cost particulate ... <https://amt.copernicus.org/articles/17/3303/>
251. Pune Metro Corridor 1A Project Report | PDF <https://www.scribd.com/document/865976299/PCMC-Nigdi-Revised-Updated>