

УДК 504.75.05, 614.71

ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ВОЗДУХЕ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА КОГНИТИВНУЮ СПОСОБНОСТЬ ШКОЛЬНИКОВ

© 2015 г. Д.И. Сидорин

Гимназия № 1522, г. Москва, Россия

С помощью бездисперсного инфракрасного регистратора углекислого газа (CO_2) исследуется интенсивность выделения CO_2 учеником средней школы при деятельности разного рода: релаксации, умственной и физической нагрузке. В проведенных экспериментах интенсивность выделения CO_2 при умственной нагрузке превышала на 24 % соответствующие показания состояния релаксации, а при физической нагрузке – более чем в 2.5 раза. Измерена динамика концентрации CO_2 в воздухе классного помещения типового здания московской школы. Установлено, что даже при проветривании помещения между уроками концентрация CO_2 в классе превышает 2100 м.д., что существенно выше допустимых норм, установленных в развитых странах. Для разных условий концентрации CO_2 в воздухе (менее 1000 м.д. и более 2000 м.д.), проведено тестирование учеников 7-х классов школы на способность решать задачи, требующие умственной сосредоточенности. В качестве таких задач использовались анаграммы пятибуквенных слов. Статистический анализ полученных данных показал значимое снижение количества правильных ответов и увеличение количества ошибок при содержании CO_2 в воздухе выше 2000 м.д.

Ключевые слова: углекислый газ, школа, мониторинг, влияние на человека, когнитивная деятельность школьника.

Введение

Влияние экстремальных уровней концентрации углекислого газа (CO_2) в воздухе на организм человека известно давно и принимается во внимание при разработке систем жизнеобеспечения (шахты, космические станции, подводные лодки и т.п.). Однако лишь относительно недавно внимание исследователей стало привлекать влияние умеренных уровней (менее 3000 миллионных долей (м.д.)) содержания CO_2 в воздухе на самочувствие человека, его работоспособность, время реакции и внимание. Такие уровни легко достигаются в бытовых и производственных условиях, поэтому изучение их влияния на человека – задача исключительно важная.

Различные исследователи отмечали негативное влияние повышенных концентраций CO_2 на здоровье людей и их способность принимать решения, время реакции на внешние стимулы [Елисеева, 1964; Robertson, 2006; Робертсон, 2008; Шилькрот, Губернский, 2008; Satish et al., 2012]. Повышенные концентрации CO_2 в воздухе помещений рассматриваются в качестве одной из основных причин «синдрома больных зданий» [Redlich et al., 1997; Гурина, 2010; Norbäck, Nordström, 2012], возникающего, видимо, из-за повышенного уровня герметичности современных зданий.

Особое внимание уделяется изучению влияния уровня концентрации CO_2 на детей [Myhrvold et al., 1996; Shendell et al., 2004; Badly..., 2006; Celis-Mercier et al., 2009]. Это связано не только с возможностью более серьезных последствий вредных воздействий на формирующийся организм, но и с тем, что дети могут проводить значительную часть времени в плохо проветриваемых помещениях, например, детских садов и школ.

Однако автору не удалось найти каких-либо работ по мониторингу уровня углекислого газа в российских школах за исключением нескольких работ школьников, которые ограничились единичными измерениями, характеризующимися большой погрешностью. Слабо исследован вопрос о влиянии содержания CO_2 в воздухе классных помещений на способность учеников воспринимать учебный материал.

В данной работе предпринята попытка осуществить пробный мониторинг CO_2 в школьном классе с помощью значительно более точных методов измерений и оценить влияние уровней содержания CO_2 в воздухе на внимание и способность учеников решать задачи, требующие умственной концентрации.

Влияние углекислого газа на человека

Повышенная концентрация CO_2 во вдыхаемом человеком воздухе может вызвать негативные изменения состава крови; в частности происходит увеличение ее кислотности – ацидоз. Из-за этого организм плохо усваивает различные минералы, а длительный ацидоз провоцирует возникновение заболеваний сердечно-сосудистой системы, диабета, приводит к снижению иммунитета, общей слабости. Особенно вредно воздействие повышенных концентраций CO_2 на людей, страдающих различными хроническими заболеваниями, в частности аллергией или астмой.

Идеальной для здоровья человека и обеспечения его хорошего самочувствия принято считать концентрацию углекислого газа во вдыхаемом воздухе на уровне 380–400 м.д. (0.038–0.04 %). В помещениях с людьми нормальным по качеству считается воздух при содержании в нем CO_2 в пределах 400–600 м.д. Именно такой уровень рекомендуется обеспечивать в детских учреждениях. Повышение концентрации CO_2 до уровня 600–1000 м.д. приводит к появлению у некоторых людей различных жалоб на ухудшение общего самочувствия, у больных астмой возникают приступы.

Дальнейший рост концентрации углекислого газа в воздухе помещения до уровня 1000–2000 м.д. (0.1–0.2 %) приводит к тому, что степень общего ухудшения самочувствия и дискомфорт людей нарастают, возникают головные боли и слабость. Негативные ощущения проявляются у все большего количества людей, практически у всех. При этом заметно падает концентрация внимания, растет количество ошибок при выполнении работ, требующих концентрации внимания и сосредоточенности. Важно отметить, что уже при таком уровне концентрации CO_2 могут возникать проблемы в дыхательной и кровеносной системах, ДНК [Гурина, 2010].

Длительное воздействие на человека воздуха с концентрацией в нем CO_2 выше 2000 м.д. вызывает серьезные отклонения в его здоровье. Даже кратковременное пребывание в такой атмосфере приводит к тому, что количество ошибок в работе сильно возрастает, более 2/3 сотрудников не могут сосредоточиться на работе [Тиунов, Кустов, 1980; Robertson, 2006; Гурина, 2008, 2010].

Методика измерения концентрации CO_2 в воздухе помещений

Все измерения проводились с помощью регистратора CO_2 , температуры и влажности производства фирмы Perfect Prime (рис. 1). Датчик концентрации CO_2 в приборе основан на принципе бездисперсной инфракрасной технологии. В подобных датчиках инфракрасный свет от встроенной лампы пропускается через камеру с исследуемым воздухом, а уровень концентрации CO_2 определяется по степени поглощения инфракрасного излучения спектральным анализатором, установленным за камерой. Для этого перед анализатором устанавливается оптический фильтр, блокирующий все излучение, за исключением излучений, длина волны которых соответствовала поглощению света молекулами углекислого газа.

Прибор позволяет вести непрерывный мониторинг параметров воздуха, записывая во внутреннюю память данные с интервалом от 1 с с фиксированием времени измерения. Прибор подключается к сети 220 В и имеет резервное питание от батареек. Для задания параметров мониторинга и экспорта данных в Excel прибор имеет USB интерфейс и специальное приложение для MS Windows.

Заявленное производителем время отклика прибора на изменение уровня CO_2 составляет 10 с, а погрешность измерения ± 50 м.д. в диапазоне 0–2000 м.д. Перед проведением исследования автор дополнительно откалибровал прибор, проведя мониторинг CO_2 в помещении совместно с прибором другой модели (AZ-77232 производства AZ Instrument). За 7 ч наблюдений диапазон изменения уровня CO_2 составил 450–2200 м.д., а разность показаний двух приборов, стоявших в непосредственной близости друг от друга, не превысила 20 м.д.



Рис. 1. Использованный для измерений регистратор концентрации CO_2 , влажности и температуры производства фирмы Perfect Prime. Для масштаба приложен iPhone 4

Изменения уровня CO_2 в воздухе помещений при разных видах деятельности человека

Перед тем как исследовать концентрацию CO_2 в классных помещениях и ее влияние на учащихся, необходимо оценить вообще насколько интенсивно углекислый газ выделяется человеком при разных видах его деятельности. Такие оценки были выполнены автором применительно к самому себе в изолированном подсобном помещении, использованном в качестве лаборатории.

Помещение представляло собой комнату без окон и имело площадь 10.5 м^2 и высоту потолка 2.6 м . Таким образом, общий объем помещения составлял 27.3 м^3 . Помещение оснащено приточной вентиляцией, позволяющей достаточно быстро провентилировать его. При этом входные и выходные отверстия вентиляции можно было легко перекрыть, изолируя помещение.

Для оценки интенсивности выделения углекислого газа при деятельности разного рода было проведено три эксперимента. В первом автор находился в помещении в состоянии релаксации, читая художественную литературу. Во втором эксперименте проверялось влияние умственной активности на интенсивность выделения CO_2 . Автор решал математические тесты (SAT MathLevel 2), при этом для создания элемента стресса была поставлена задача решить 3 теста за 2 ч (в условиях экзамена SAT на каждый тест отводится 1 ч). В третьем эксперименте изучалась интенсивность выделения CO_2 при физической активности. Автор каждые 5 мин совершал по 10 отжиманий и 10 приседаний. Перед каждым экспериментом помещение проветривалось, после чего дверь закрывалась и по периметру обклеивалась скотчем для лучшей герметизации помещения. Первые два эксперимента проводились в течение 2 ч; эксперимент с физической нагрузкой проводился в течение 1 ч, так как уровень углекислого газа в помещении уже при такой длительности эксперимента делал нахождение там крайне некомфортным.

Результаты измерений представлены на рис. 2. Анализ графиков изменения концентрации углекислого газа во времени показывает, что скорость роста содержания CO_2 в воздухе возрастает при активной умственной концентрации. При физической нагрузке концентрация CO_2 растет еще интенсивнее. Изменение концентрации CO_2 в помещении для всех трех экспериментов, за исключением начального периода стабилизации после герметизации помещения, имеет практически линейный характер. Это свидетельствует о хорошей герметизации помещения и минимальном воздухообмене с соседними помещениями. Если бы снаружи поступали существенные объемы свежего воздуха, насыщение воздуха в помещении углекислым газом со временем бы замедлялось, так как эффективность разбавления воздуха в помещении свежим воздухом должна увеличиваться по мере роста разности концентраций CO_2 снаружи и внутри помещения. Таким образом, полагая, что весь выдыхаемый CO_2 остается в помещении, можно оценить интенсивность выделения углекислого газа участником экспериментов:

$$Q(t) = \frac{\Delta\eta}{\Delta t} \frac{V}{1000} 60, \quad (1)$$

где $Q(t)$ – интенсивность (л/ч) выделения CO_2 в момент времени t ; $\frac{\Delta\eta}{\Delta t}$ – производная измеренной концентрации (м.д./мин) CO_2 в момент времени t (рассчитывается как отношение изменения концентрации ко времени на отрезке в 5 мин); $V = 27/3 \text{ м}^3$ – объем помещения; множитель 60 и делитель 1000 требуются для приведения размерности к размерности литр в час (л/ч).

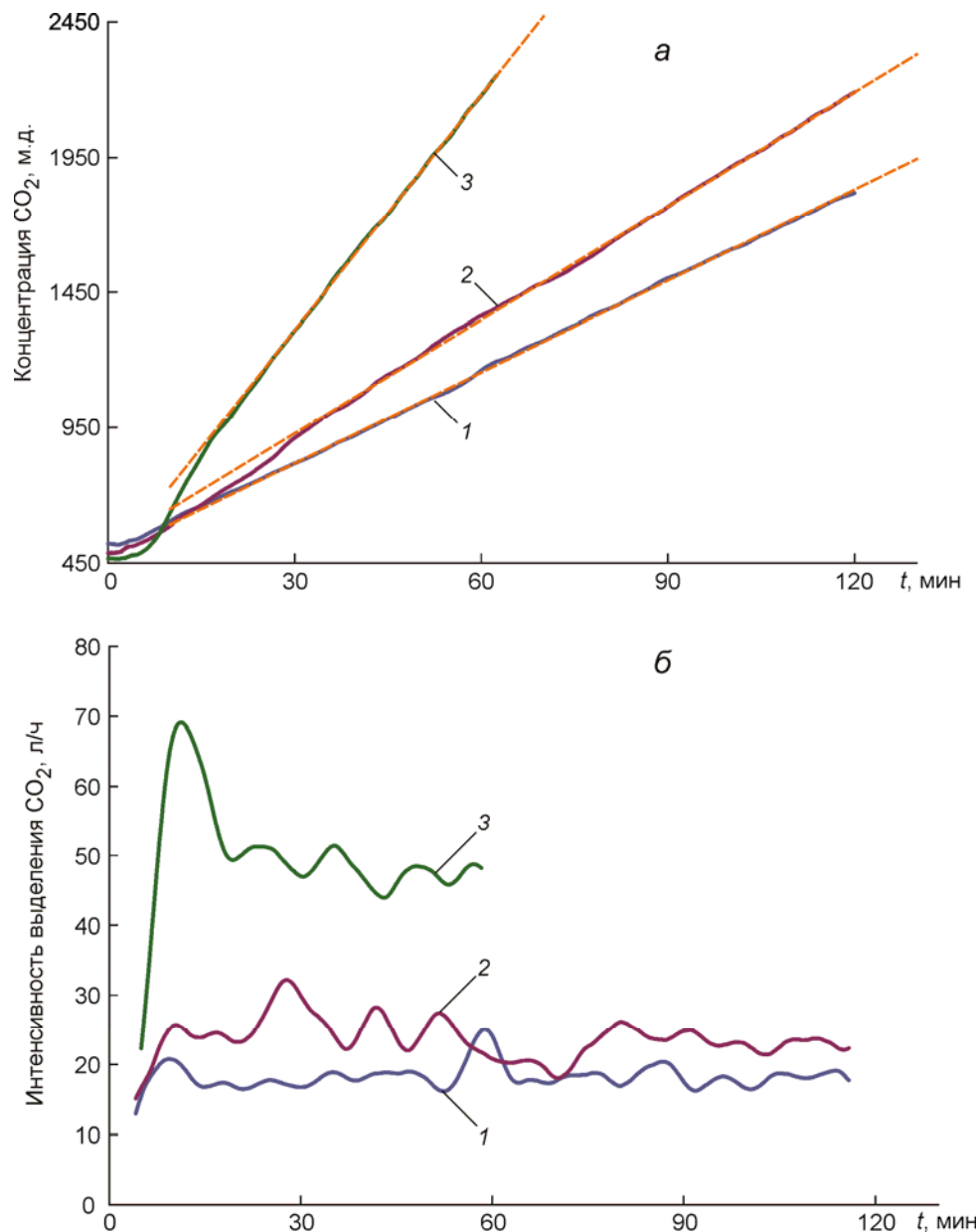


Рис. 2. Изменения концентрации углекислого газа в помещении (а) и интенсивности его выделения участником эксперимента (б) в трех экспериментах с различными видами деятельности: 1 – состояние покоя (чтение); 2 – умственная нагрузка; 3 – физическая нагрузка

Пунктиром изображены линейные тренды, рассчитанные с помощью регрессии для линейных участков графиков изменения концентрации, интенсивность рассчитана по изменениям концентрации CO_2 (а) с помощью формулы (1)

Рассчитанные таким образом интенсивности выделения углекислого газа для трех экспериментов представлены на рис. 2, б. Средние значения, рассчитанные с помощью угловых коэффициентов регрессионных прямых, проведенных через линейные участки графиков изменения концентрации CO_2 (см. рис. 2, а), представлены в табл. 1.

Так, интенсивность выделения углекислого газа при физической нагрузке значительно повышается относительно состояния релаксации (в проведенном эксперименте – на 157 % (в 2.57 раза)), но следует учитывать, что в эксперименте отжимания/приседания выполнялись не непрерывно, а с периодичностью 5 мин. При непрерывной нагрузке следует ожидать еще более высокую интенсивность выделения CO_2 .

Таблица 1. Угловые коэффициенты линейного тренда, рассчитанные для линейных участков кривых на рис. 2, *a*, и соответствующие им интенсивности выделения CO_2 , вычисленные по формуле (1), для разных видов деятельности

Показатель	Чтение	Умственная нагрузка	Физическая нагрузка
Угловой коэффициент рассчитанного линейного тренда, м.д./мин	11.3	14.0	29.0
Средняя интенсивность выделения CO_2 , л/ч	18.5	23.0	47.5

Повышение интенсивности выделения CO_2 при умственной нагрузке также значительно (24 % относительно состояния релаксации). Оно хоть и не такое значительное, как при физической нагрузке, но вызывает удивление, так как в целом человек не производит большего количества движений. Повышение выделения CO_2 в этом случае, очевидно, вызвано мобилизацией внутренних процессов в организме человека, связанной с интенсивной работой мозга. Заметим, что в эксперименте с умственной нагрузкой стресс был искусственно имитирован. Вероятно, в условиях реального стресса (важная контрольная работа или экзамен) организм мобилизуется еще активнее и следует ожидать еще большего повышения интенсивности выделения CO_2 .

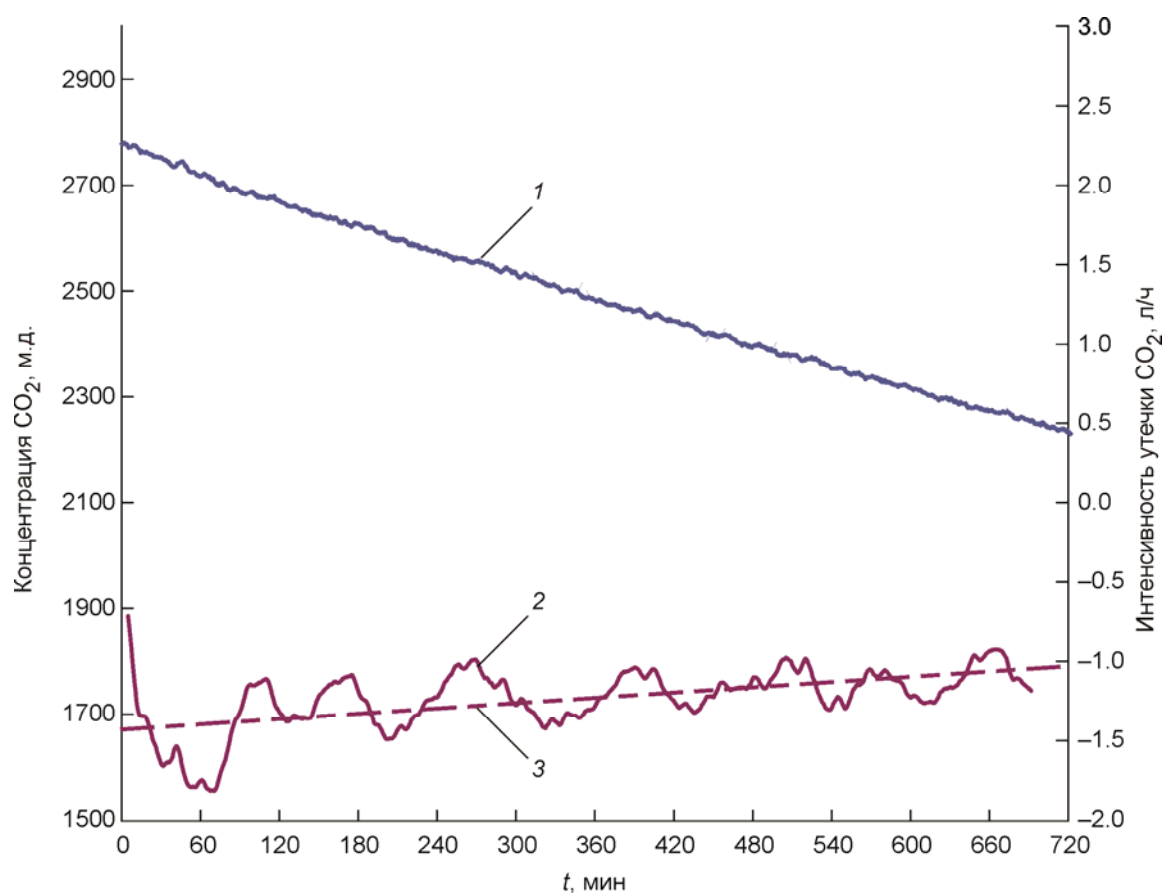


Рис. 3. График изменения концентрации CO_2 в пустом помещении (1) и рассчитанный по нему график зависимости от времени интенсивности утечки CO_2 из помещения (2)
3 — линия тренда для интенсивности утечки

Как отмечалось выше, линейность роста концентрации углекислого газа в помещении во всех трех экспериментах свидетельствует о незначительности воздухообмена с внешними помещениями. Тем не менее для оценки воздухообмена и его возможного влияния на проведенные эксперименты был проведен отдельный опыт. После окончания эксперимента с физической нагрузкой физические упражнения продолжались более активно в течение нескольких минут. В результате уровень концентрации углекислого газа в помещении был доведен до значений, превышающих 2700 м.д., после чего был включен регистратор концентрации CO_2 и экспериментатор покинул помещение, закрыв снаружи дверь и проклеив ее по периметру скотчем. В этом состоянии помещение было оставлено на 12 ч.

Результаты измерения уровня CO_2 в этом опыте и рассчитанная по формуле (1) интенсивность уменьшения углекислого газа в помещении представлены на рис. 3. В этом случае никаких внутренних источников CO_2 в помещении нет, а все изменения уровня CO_2 вызваны воздухообменом с соседними помещениями. Как видно, при концентрациях $\text{CO}_2 < 2500$ м.д. (что соответствует условиям всех описанных выше экспериментов) интенсивность потери CO_2 в помещении не превышает 1.5 л/ч и имеет тренд к уменьшению с уменьшением концентрации CO_2 в помещении. Таким образом, утечки CO_2 из помещения действительно незначительны во всем диапазоне концентраций проводимых выше экспериментов с разными видами деятельности и ими можно пренебречь.

Изучение уровня CO_2 в школе и его влияния на работоспособность учеников

Динамика уровня концентрации CO_2 в учебных классах

Для общей оценки динамики концентрации уровня CO_2 в течение учебного дня был проведен мониторинг в кабинете физики. Полученный график приведен на рис. 4. Контролируемый эксперимент (где окна открывались только на переменах) проводился лишь в течение первых двух уроков. После этого окна открывались и во время уроков по мере возможности и необходимости (что, в принципе, легко просматривается на графике).

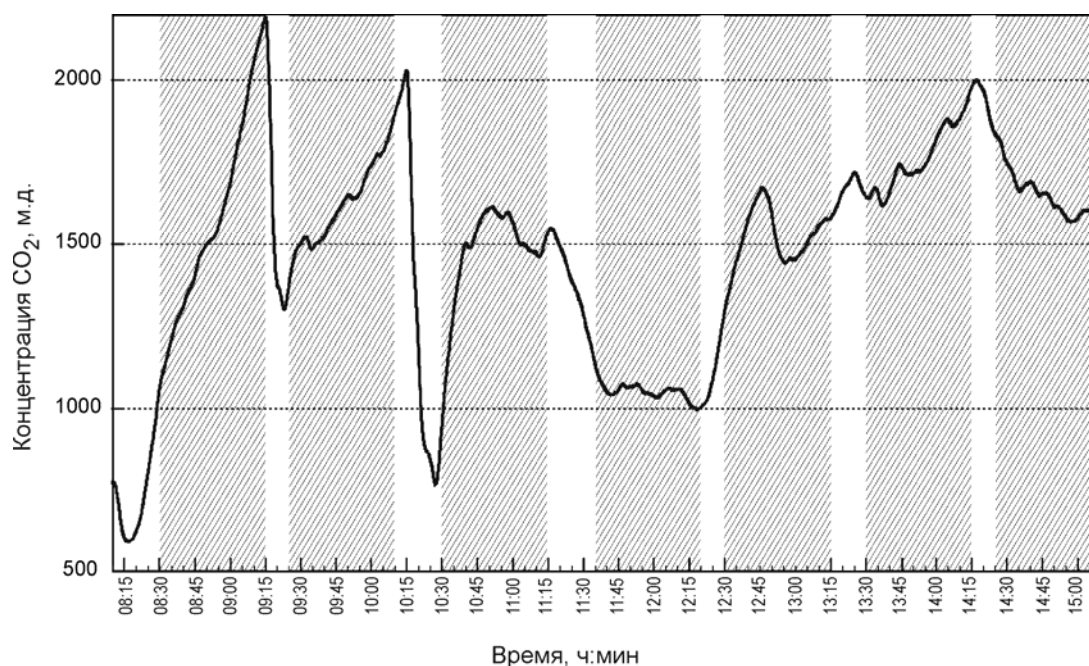


Рис. 4. Уровень концентрации CO_2 в кабинете физики в течение учебного дня

Уроки обозначены заштрихованными областями; пробелы между ними соответствуют переменам

Как видно, даже проветривание помещения между уроками допускает повышения концентрации углекислого газа выше 2000 м.д. В зимнее же время проветривание между уроками может быть проблематичным.

Тестирование влияния концентрации CO₂ на работоспособность учеников

Для исследования влияния уровней концентрации CO₂ в воздухе классного помещения на умственную работоспособность учащихся необходимо было провести эксперименты, в которых сравнивалась бы способность учеников решать определенные задачи при относительно низких и относительно высоких концентрациях CO₂. Подобный подход весьма широко и достаточно успешно применяется для оценки влияния внешних факторов на человека [Хорсева, 2006, 2013]. При этом задачи должны быть достаточно простыми, чтобы на результатах опытов не сказывались общий уровень интеллекта или эрудиции отдельных учеников, но в то же время требующими внимания и концентрации. В качестве таких задач автор решил использовать анаграммы – слова с перемешанными буквами. Эти задачи просты и понятны даже тем, кто никогда с ними не сталкивался, но в то же время требуют серьезной концентрации, чтобы быстро распознать правильное слово среди всех возможных комбинаций.

С учетом условий задачи (возраст учеников и необходимость получить значительный статистический разброс количества правильных ответов за 5 мин тестирования) были выбраны 5-буквенные анаграммы. Предварительное оценочное тестирование на десятиклассниках показало, что 4-буквенные анаграммы слишком просты, в то время как 6-буквенные вызывают существенные трудности.

Список 5-буквенных существительных (порядка 5000) был скачан с одного из интернет-сайтов [www.bezbukv.ru]. Список подвергся ручной обработке с целью адаптации для уровня учеников 7-х классов – из него были удалены все сложные слова (устаревшие, профессиональные термины и т.д.). В результате в списке осталось 450 слов. Далее с помощью программы, написанной на языке Java, слова были зашифрованы в анаграммы. Как показало предварительное тестирование на десятиклассниках, анаграммы гораздо легче разгадываются, если первая буква совпадает с первой буквой исходного слова. Поэтому алгоритм шифрования случайным образом перемешивал буквы слов, при этом обеспечивая перемещение первой буквы на какую-то другую позицию. После этого полученные анаграммы были перемешаны и сформатированы для распечатки так, чтобы на каждом листе формата А4 уместилось 63 анаграммы, причем ни один из листов не повторялся (менялись как сами слова на листках, так и их порядок и даже «зашифровка» одних и тех же слов). Это делалось как для придания однообразия (в смысле уровня сложности) всем заданиям, так и для исключения списывания, которое, к сожалению, возможно даже в условиях анонимного тестирования.

В идеале одна и та же группа людей должна была делать одно и то же задание в разных условиях (низкой и высокой концентрации CO₂). Однако в этом случае было бы сложно оценить влияние на результаты эксперимента эффекта обучаемости: пройдя тест один раз, ученик, даже решая совершенно другие анаграммы в менее комфортных условиях (повышенный уровень CO₂), мог на самом деле показать лучшие результаты за счет приобретенного опыта.

Поэтому были проведены два отдельных эксперимента, в каждом из которых задания выполнялись двумя разными группами – одной при низкой концентрации CO_2 , другой – при высокой. Тестирование было полностью анонимным, а ученикам были даны лишь общие разъяснения о проводимом исследовании, т.е. они не осознавали, что тестируется именно их работоспособность в зависимости от качества воздуха.

В первом эксперименте один и тот же 7-й класс был случайным образом (по списку журнала класса, который составлен в алфавитном порядке по фамилии) разделен на две группы по 10 учащихся в каждой. Первая группа учеников выполняла задания в течение 5 мин в начале урока (низкая концентрация CO_2 после проветривания класса на перемене), вторая – в течение того же времени в конце урока (высокая концентрация CO_2).

Во втором эксперименте задания выполняли два разных 7-х класса, практически равных по уровню развития и успеваемости учеников, согласно оценке, данной учителями. Один класс (19 учащихся) выполнял задание в начале урока после проветривания классного помещения на перемене, другой (25 учащихся) – в начале урока без проветривания помещения на перемене (таким образом, возможное влияние на результаты эффекта утомления за время урока было исключено).

Анализ результатов тестирования учеников

Результаты выполненных заданий каждой группой для каждого из двух тестов систематизированы в табл. 2. Данные (количество правильных ответов и ошибок для каждого ученика) экспортировались в Microsoft Excel, где были обработаны с помощью функций программы. Результаты статистической обработки данных представлены в табл. 3, а на рис. 5 изображены гистограммы соответствующих распределений (для обеспечения возможности сопоставления гистограммы были нормализованы делением количества результатов в каждой ячейке на общее количество результатов).

Результаты статистического анализа данных показывают, что средние значения количества правильных ответов, данных учениками в условиях низкой концентрации CO_2 , превышают соответствующие значения, полученные в условиях высокой концентрации в обоих тестах (13.5 против 10.5 в тесте № 1 и 13.7 против 11.0 в тесте № 2). Та же закономерность наблюдается и для медиан распределений (11.5 против 11.0 в тесте № 1 и 14.0 против 12.0 в тесте № 2).

Смещение распределения количества правильных ответов в сторону низких значений в условиях повышенной концентрации CO_2 в воздухе визуально просматривается и на гистограммах распределений количества правильных ответов. Так, например, в тесте № 1 (см. рис. 5, а) 50 % значений количества правильных ответов для условий низкой и высокой концентрации CO_2 приходятся на диапазон 10–13. Однако видно, что распределение значений для высокой концентрации CO_2 смещено влево от этого максимума, а для низкой концентрации – вправо. То же самое наблюдается и для теста № 2 (см. рис. 5, б): распределение значений для условий с высокой концентрацией смещено влево, в сторону меньших значений правильных ответов, относительно распределения для условий с низкой концентрацией.

Об этом же свидетельствует и статистический анализ асимметричности распределения, характеризуемой коэффициентом асимметрии (см. табл. 3). Значение этого коэффициента равно нулю для нормального распределения, принимает положительные значения для распределения, вытянутого вправо относительно максимума, и отрицательные значения – для распределения, вытянутого влево.

Таблица 2. Результаты выполнения заданий каждой из групп в двух тестах

Тест № 1				Тест № 2			
650 м.д. CO ₂		2050 м.д. CO ₂		700 м.д. CO ₂		2150 м.д. CO ₂	
Число правильных ответов	Число ошибок	Число правильных ответов	Число ошибок	Число правильных ответов	Число ошибок	Число правильных ответов	Число ошибок
28	1	4	3	10	3	12	0
11	1	19	1	14	1	14	1
14	0	12	0	19	1	18	1
12	0	12	1	8	0	15	1
10	2	5	1	15	1	5	0
15	2	10	2	14	0	7	0
15	0	10	2	22	0	6	0
8	0	12	0	6	0	7	2
11	0	14	1	16	1	9	0
10	0	7	0	15	0	9	1
				10	3	7	25*
				16	0	13	1
				15	1	8	2
				11	0	14	1
				16	0	17	0
				10	0	6	2
				11	1	6	2
				22	0	14	0
				11	0	9	1
						14	7
						3	1
						13	1
						17	1
						14	0
						18	4

* Результаты тестирования этого участника эксперимента очень сильно отличаются от остальных данных выборки.

Таблица 3. Результаты статистической обработки результатов для каждой из групп в двух тестах

Параметр	Тест №1		Тест №2	
	Низкая концентрация CO ₂	Высокая концентрация CO ₂	Низкая концентрация CO ₂	Высокая концентрация CO ₂
Число участников	10	10	19	25
Среднее число правильных ответов	13.4	10.5	13.7	11.0
Среднеквадратичное отклонение	5.3	4.2	4.2	4.4
Медиана числа правильных ответов	11.5	11	14	12
Среднее число ошибок	0.60	1.10	0.63	1.21*
Коэффициент асимметрии	2.23	0.29	0.33	-0.01

*Явно выпадающее из общего распределения значение в 25 ошибок (выделено в табл. 2) в расчет не принималось.

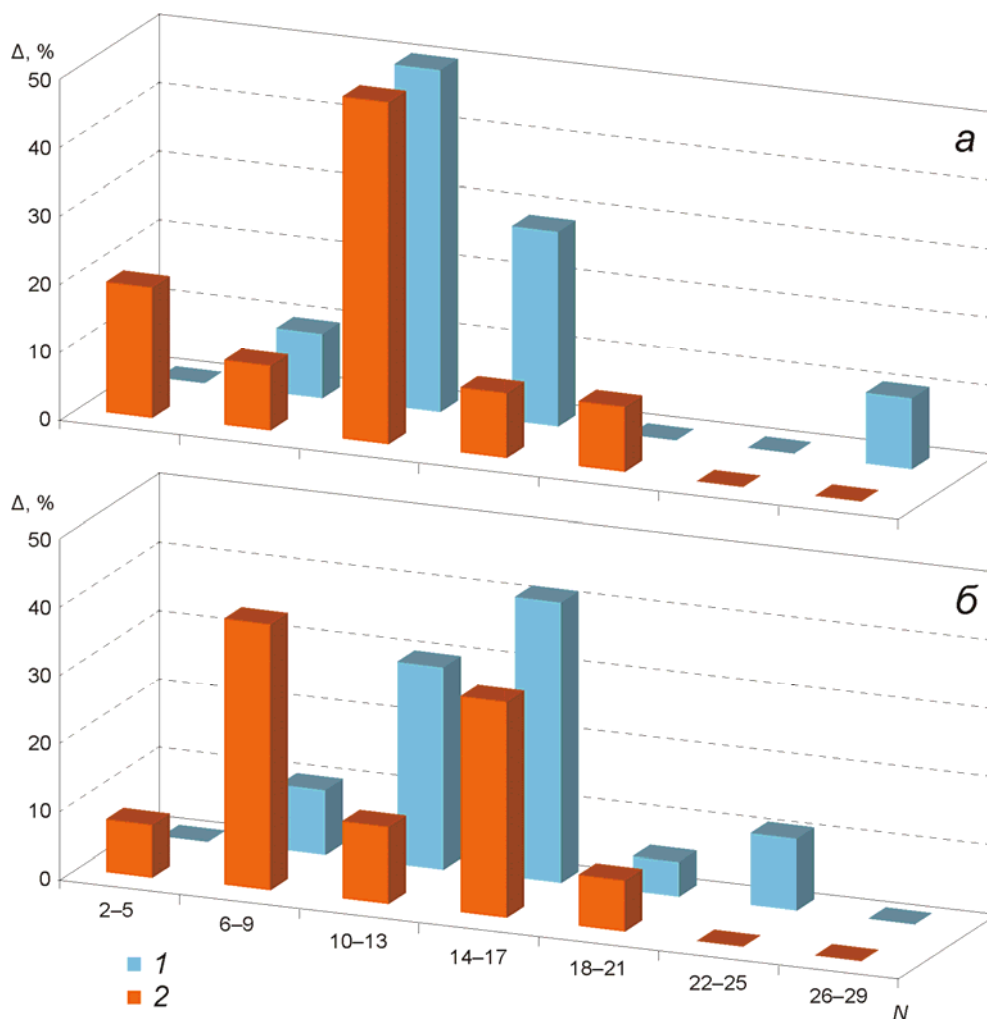


Рис. 5. Гистограммы распределения количества правильных ответов (в % от общего числа правильных ответов в группе), данных учениками из групп, выполнявших задания в условиях высокой и низкой концентрации CO_2 : *а* – тест № 1; *б* – тест № 2

1, 2 – концентрация CO_2 в воздухе: *1* – низкая; *2* – высокая

Значения коэффициента асимметрии для условий с низкой концентрацией CO_2 превышают соответствующие значения для условия с высокой концентрацией в обоих тестах. Это дополнительно свидетельствует о тенденции смещения количества правильных ответов в сторону меньших значений в условиях повышенного содержания углекислого газа в помещении.

Заслуживает внимания и сопоставление среднего количества допущенных ошибок (из-за невнимательности ученики могли указать слова, не соответствующие приведенной анаграмме). Это значение практически в 2 раза больше для условий с высокой концентрацией CO_2 в обоих тестах (см. табл. 2).

Таким образом, несмотря на ограниченность статистической представительности тестируемых данных, просматривается четкая тенденция снижения количества правильно данных ответов и увеличения количества ошибок в условиях концентраций углекислого газа, достигаемых в классе за время одного урока, даже если класс хорошо проветрен на перемене.

Заключение

Умственная деятельность человека, особенно в стрессовой ситуации (контрольные, экзамены), вызывает повышенное выделение в помещении углекислого газа. В условиях типовой московской школы даже при проветривании класса между уроками концентрация углекислого газа к концу урока может достигать уровней более 2000 м.д. Проведенное исследование показало, что уже при этих значениях содержания CO_2 в воздухе помещения нарушается внимание учащихся, повышается количество ошибок при выполнении заданий, требующих умственной концентрации.

Мониторинг уровня содержания углекислого газа в классе позволил сделать вывод, что проветривание помещения с помощью открытия окон достаточно эффективно и способно привести концентрацию CO_2 к приемлемым уровням за длинную перемену (20 мин). Однако короткой перемены (10 мин) уже недостаточно, и следующий урок начинается в классе с повышенной концентрацией CO_2 . Кроме того, даже при полноценном проветривании помещения перед уроком концентрация CO_2 в течение урока вырастает до уровней выше 2000 м.д., что существенно выше рекомендуемых норм.

Таким образом, можно сделать вывод, что принятая в типовых школах практика проветривания классных помещений с помощью окон не отвечает требованиям обеспечения необходимого качества воздуха. Поэтому требуется оборудование школ системами приточной вентиляции с предварительным подогревом входящего воздуха до комнатной температуры в холодное время года или использование в классах систем поглощения углекислого газа, как принято в некоторых странах.

Благодарности

Автор выражает глубокую благодарность заслуженному учителю Российской Федерации, преподавателю физики гимназии № 1522 г. Москвы Татьяне Борисовне Мельниковой за помощь в проведении эксперимента и обработке данных, а также всем учащимся гимназии, принявшим участие в анонимном тестировании.

Литература

- Гурина И.В. Безопасный уровень углекислого газа требует ревизии. Ч. 1 // Экологический вестник России. 2008. № 9. URL: <http://enontek.ru/publikacii/ehkovestnik-9-2008>; Ч. 2 // Экологический вестник России. 2008. № 10. URL: <http://www.enontek.ru/publikacii/ehkovestnik-10-2008>
- Гурина И.В. Кто ответит за духоту в помещении // Химия и жизнь. 2010. № 2. С. 22–25.
- Елисеева О.В. К обоснованию ПДК двуокиси углерода в воздухе // Гигиена и санитария. 1964. № 8.
- Робертсон Д.С. О том, как влияет растущий уровень CO_2 в атмосфере на организм человека // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. 2008. № 4. URL: <http://www.c-o-k.ru/articles/o-tom-kak-vliyaet-rastuschiy-uroven-co2-v-atmosfere-na-organizm-cheloveka>
- Тиунов Л.А., Кустов В.В. Токсикология окиси углерода. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Медицина, 1980. 288 с.

- Хорсева Н.И.* Психофизиологические показатели как критерий оценки экологической безопасности места проживания // Климат, качество атмосферного воздуха и здоровье москвичей / Под ред. Б.А. Ревича. М.: Адамантъ, 2006. С. 225–240.
- Хорсева Н.И.* Возможность использования психофизиологических показателей для оценки влияния космофизических факторов (обзор) // Геофизические процессы и биосфера. 2013. Т. 12, № 2. С. 34–56.
- Шилькрот Е.О., Губернский Ю.Д.* Сколько воздуха нужно человеку для комфорта? // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2008. № 4. URL: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3996
- Badly polluted air in Europe's classrooms: Italian team presents study results to ERS Congress // European Respiratory Society Annual Congress, September 2–6, 2006. Press Release September 6, 12:00 GMT. URL: dev.ersnet.org/uploads/Document/WEB_CHEMIN_89_1161864847.doc
- Celis-Mercier S., Potvin A., Tardif M.* Air temperature and CO₂ variations in a naturally ventilated classroom under a nordic climate // PLEA2009 – 26th Conference on passive and low energy architecture, Quebec City, Canada, 22–24 June 2009. URL: <http://www.plea2009.arc.ulaval.ca/papers/2.strategies/2.3%20post-occupancy%20evaluation/oral/2-3-17-plea2009quebec.pdf>
- Myhrvold A.N., Olsen E., Lauridsen O.* Indoor environment in schools – pupils health and performance in regard to CO₂ concentrations // Indoor Air '96: Proc. of the 7th Intern. conference on indoor air quality and climate, July 21–26, 1996, Nagoya, Japan. V. 4. P. 369–374.
- Norbäck D., Nordström K.* Sick building syndrome in relation to air exchange rate, CO₂, room temperature and relative air humidity in university computer classrooms: an experimental study // Intern. Archives of Occupational and Environmental Health. 2008. V. 82, N 1. P. 21–30.
- Redlich C.A., Sparer J., Cullen M.R.* Sick-building syndrome // The Lancet. 1997. V. 349, N 9057. P. 1013–1016.
- Robertson D.S.* Health effects of increase in concentration of carbon dioxide in the atmosphere // Current Science. 2006. V. 90, N 12. P. 1607–1609.
- Satish U., Mendell M.J., Shekhar K., Hotchi T., Sullivan D., Streufert S., Fisk W.J.* Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance // Environ Health Perspect. 2012. V. 120, N 12. P. 1671–1677. DOI:10.1289/ehp.1104789
- Shendell D.G., Prill R., Fisk W.J., Apte M.G., Blake D., Faulkner D.* Associations between classroom CO₂ concentrations and student attendance in Washington and Idaho // Indoor Air. 2004. V. 14, N 5. P. 333–341. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0668.2004.00251.x/abstract?deniedAccessCustomisedMessage=&userIsAuthenticated=false>

Сведения об авторе

СИДОРИН Дмитрий Игоревич – учащийся, гимназия № 1522 г. Москвы. 123423, г. Москва, ул. Народного Ополчения, д. 16, корп. 4. E-mail: dimsidorin@mail.ru

DYNAMICS OF CARBON DIOXIDE CONCENTRATION IN THE AIR AND ITS EFFECT ON THE COGNITIVE ABILITY OF SCHOOL STUDENTS

D.I. Sidorin

Gymnasium 1522, Moscow, Russia

Abstract. CO₂ production intensity by a secondary school student is studied using a non-dispersive infrared CO₂ logger for different conditions: relaxation, mental stress, and physical stress. CO₂ production measured for mental stress is 24 % higher than that for relaxation, while CO₂ production for physical stress is more than 2.5 times higher than relaxation levels. Dynamics of CO₂ concentration in the classroom air is measured for a typical school building. It is shown that even when the classroom is ventilated between classes, CO₂ concentration exceeds 2100 ppm, which is significantly higher than the recommended limits defined in developed countries. The ability of 7th grade school students to perform tasks requiring mental concentration is tested under different CO₂ concentration conditions (below 1000 ppm and above 2000 ppm). 5-letter word anagrams are used as test tasks. Statistical analysis of the test results revealed a significant reduction in the number of provided correct answers and increase in the number of errors when CO₂ levels exceed 2000 ppm.

Keywords: carbon dioxide, school, monitoring, impact on humans, cognitive activity of students.