

УРОВЕНЬ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В УЧЕБНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ И СТЕПЕНЬ КОМФОРТА УЧАЩИХСЯ

Пронина Т.Н., Карпович Н.В., Полянская Ю.Н.

Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь

Контактная информация: Пронина Татьяна Николаевна. E-mail: deti@rspch.by

Результаты инструментальных исследований уровня содержания углекислого газа в учебных помещениях школ позволили определить концентрацию углекислого газа в диапазоне 865,5–2412 ppm. В динамике учебного дня уровень углекислого газа в классе повышался в 1,4–2,9 раза, достигая максимума в конце учебного дня (до 2412 ppm). Большинство учащихся младших классов (88%) обучалось в учебных помещениях со средней концентрацией углекислого газа более 1000 ppm. Учебных помещений с высоким качеством воздуха не обнаружено, низкое качество воздуха зафиксировано в 37% учебных помещений. При обучении во вторую смену в учебных помещениях зафиксированы исходно высокие уровни CO₂ на начало учебного дня (1200–1686 ppm), что позволяет предположить нарушение санитарно-гигиенического режима. Изучение степени комфорта выполняли с помощью опросника состояния комфорта, ощущений и симптомов состояния здоровья, возникающих при нахождении в определенном учебном помещении, и путем мониторинга уровней содержания углекислого газа в динамике учебного дня. Опрос также включал изучение субъективной оценки теплового комфорта, уровня шума, достаточности освещения в классе. Качественные субъективные характеристики степени комфорта по оцениваемым параметрам микросреды класса ранжировались по пятибалльной шкале от 1 (очень плохо) до 5 (очень хорошо). Применили интегральный подход к оценке параметров микросреды учебных помещений (свежести воздуха, теплового комфорта, уровня шума, достаточности освещения в классе). Предложен интегральный показатель – «индекс комфорта», который варьировал у учащихся от 1,3 до 5 баллов, в среднем составил 3,83 балла.

Ключевые слова: внутришкольная среда; качество воздуха; уровень углекислого газа; степень комфорта

CARBON DIOXIDE LEVEL IN SCHOOL PREMISES AND COMFORT ASSESSMENT OF CHILDREN

T. Pronina, N. Karpovich, Y. Polyanskaya

National Scientific Practical Centre of Hygiene of the Ministry of Health of the Republic of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus

Contacts: Tatyana Pronina. E-mail: deti@rspch.by

Measurements of carbon dioxide level in the indoor air of school classroom were performed. The carbon dioxide concentrations at the school classes were higher than recommended level established in the other countries (1305ppm), the maximum level – 2412 ppm – was revealed. During classes the carbon dioxide level had increased up to 2.9 times. The most of schoolchildren (88%) have stayed at the classes with higher than recommended level of carbon dioxide. School classes with highest indoor air quality were not found. The lowest indoor air quality was revealed in 37% of monitored classes. When studying at the second part of the school day the high levels of CO₂ at the beginning of the school day (1200-1686 ppm) were recorded, that pointed about non observance of the sanitary rules and norms. Measurements of children's comfort namely comfort assessment had two phases: evaluation of the questionnaire and monitoring of the relative humidity and CO₂ level in the classroom. The questionnaire also included a study of the subjective evaluation of the thermal comfort, noise level, adequate lighting in the classroom. We determine the change in the degree of comfort in lower grades, depending on the specific indoor quality. Qualitative characteristics of the subjective degree of comfort estimated parameters microenvironment class were ranked on a scale from 1 (very poor) to 5 (very good). Integral estimation of comfort and energy assessment was created. Average index of comfort was 3.83 points at maximum value – 5 points.

Keywords: school environment; indoor air quality; outdoor air quality, CO₂ level, comfort assessment of children

Всемирная организация здравоохранения признает загрязнение воздуха внутри и вне помещений важнейшим отдельно взятым экологическим фактором риска для здоровья в мире (решение 68-й сессии ВОЗ, WHA 68.8, 26 мая 2015 г.).

Одним из традиционных методов оценки качества воздуха внутри помещений является определение уровня CO_2 [1, 2]. Критерием определения является уровень превышения CO_2 по сравнению с наружным воздухом. Помимо этого, уровень содержания CO_2 является индикатором эффективности вентиляции.

По мнению Ю.Д. Губернского (2014), содержание CO_2 в воздушной среде является одним из первых гигиенических показателей, характеризующих качество воздуха внутри помещений, и уровень его 1000 ppm может рассматриваться как критерий безопасного качества воздушной среды общественных зданий [2].

В Республике Беларусь отсутствует гигиенический норматив содержания CO_2 в воздухе. Сравнительный анализ выполняли с учетом рекомендованных уровней содержания CO_2 в воздухе школьных помещений других стран – США, Эстонии (1000 ppm), Великобритании (1500 ppm), Голландии (1200 ppm).

Материалы и методы исследования. Инструментальные измерения выполнены в 38 учебных помещениях 10 школ г. Минска, различных по проектной вместимости и наполняемости учебных помещений в отопительный период. Объем исследования составил 1460 измерений, в помещениях – 260 измерений, на улице – 1200 измерений. Замеры концентраций CO_2 в воздухе учебных помещений школ и атмосферном воздухе выполнялись на протяжении всего учебного дня при помощи прибора $\text{CO-CO}_2/\text{T/RH}$ monitor TSI IAQ (Indoor Air Quality) (TSI Inc. USA).

Степень комфорта оценивалась путем интервьюирования 779 учащихся с помощью опросника состояния комфорта, ощущений и симптомов состояния здоровья, возникающих при нахождении в определенном учебном помещении.

Исследования выполнялись в рамках международного проекта «Внутришкольная среда и заболеваемость органов дыхания у детей», координируемого Региональным экологическим центром по Центральной и Восточной Европе (Венгрия).

Статистическая обработка полученных данных осуществлялась при помощи пакета прикладных программ STATISTICA (StatSoft Inc., версия 6.0)

с применением параметров описательной статистики (среднее арифметическое и стандартное отклонение – для данных, подчиняющихся закону нормального распределения, медиана и интерквартильный размах – для данных, имеющих распределение отличное от нормального). Вид распределения определяли по результатам теста Шапиро-Уилка. Для сравнения групп использовались тесты Краскелла-Уолиса и Манна-Уитни при уровне статистической значимости 0,05.

Результаты и их обсуждение. В процессе анализа изменений уровней CO_2 установлено, что минимальные значения отмечены в начале учебных занятий (865,5–1686 ppm). В динамике учебного дня (4–5 часов) уровень CO_2 в классе повышался в 1,4–2,9 раза, достигая максимума в конце учебного дня (2089–2412 ppm). Средний уровень CO_2 в воздухе учебных помещений составил 1305 ppm. Необходимо отметить, что уровень CO_2 вне школьных помещений составлял от 370,5 ppm до 424,3 ppm. Закономерно, что снижение уровня CO_2 отмечалось во время перемен при сквозном проветривании помещения.

Следует отметить, что большинство детей (88%) обучалось в помещениях со средней концентрацией CO_2 более 1000 ppm. Наблюдалась прямая зависимость уровня CO_2 от наполняемости класса, объема воздуха на одного человека, площади открываемой части окна, режима проветривания, функционирования вентиляции. Так, при количестве учащихся в классе до 18 человек средняя концентрация CO_2 составила 905,4 ppm, площадь помещения на 1 человека – 3,2 м², площадь открываемой части окна – 0,72 м²; при количестве учащихся в классе больше 21 человека – соответственно 1775,7 ppm, 2,6 м² и 0,58 м².

В учебных помещениях, в которых обучаются учащиеся во вторую смену, зафиксированы исходно высокие уровни CO_2 в начале учебного дня (1686 ppm), что позволяет предположить нарушение санитарно-гигиенического режима содержания учебных помещений.

Согласно Европейскому стандарту EN 13779:2005, который описывает создание здорового и комфортного микроклимата, наружный воздух разделен на 5 уровней от ODA 1 (чистый воздух, за исключением временных загрязнений, например, пыльцы) до ODA 5 (воздух с высокой концентрацией CO_2 и частиц). Установлено, что воздух высокого качества в помещении должен отличаться от

наружного воздуха населенного пункта всего на 350 ppm CO₂. Нами определено, что категория качества воздуха на обследованных пришкольных территориях г. Минска (в ареале учреждений образования) соответствует ODA 2/3 (качество воздуха для небольших городов, при уровнях концентрации CO₂ 400 ppm). Обращает на себя внимание, что на территориях каждой второй из школ средняя концентрация CO₂ составила менее 350 ppm, что классифицируется Европейским стандартом как норматив для воздуха сельской местности без значительных источников загрязнения.

Категоризация помещений по качеству воздуха в соответствии с классификацией EN 13779:2005 установила отсутствие среди обследуемых классов помещений, соответствующих требованиям к помещениям первой категории – IDA 1 (высокое качество воздуха, превышение концентрации CO₂ в помещении относительно концентрации в наружном воздухе менее 400 ppm). В большинстве учебных классов качество воздуха было средним и приемлемым (IDA 2 и IDA 3), соответственно в 13% и 50% помещений. Низкое качество воздуха IDA 4 (превышение концентрации CO₂ в помещении относительно концентрации в наружном воздухе более 1000 ppm) зафиксировано в 37% помещений.

Изучение отношения учащихся младших классов к состоянию микроклимата помещений позволило отметить, что субъективная оценка свежести воздуха детьми снижалась к концу учебного дня. Опрос учащихся также включал изучение субъективной оценки теплового комфорта, уровня шума, достаточности освещения в классе. Треть обучающихся в классах с уровнем концентрации CO₂ более 1500 ppm отмечали головную боль.

Для оценки субъективного состояния учащихся в определенных микросредовых условиях при изучении влияния внутришкольной среды на состояние их здоровья предложен интегральный показатель индекс комфорта.

При использовании опросника предлагается семиуровневая оценка от -3 до 3, выраженная в понятных учащимся характеристиках в виде графических символов типа смайликов, что адекватно для субъективной оценки младших школьников.

Для интегральной характеристики микросреды учебных помещений оценивали свежесть воздуха, тепловой комфорт, уровень шума, достаточность освещения в классе. Качественные характеристики степени комфорта по оцениваемым параметрам микросреды класса ранжировались по пятибалльной шкале от 1 (очень плохо) до 5 (очень хорошо) (таблица).

Таблица

Качественные характеристики степени комфорта учащихся по параметрам микросреды учебного помещения

Характеристики комфорта	Оценка, баллы	Показатели							
		качество воздуха		температура		шум		освещение	
очень хорошо	5	очень хорошо	3	очень хорошо	0	очень тихо	3	нормально	0
хорошо	4	хорошо	+1 +2	хорошо	-1 +1	тихо	+1 +2	немного тускло или светло	-1 +1
нормально	3	нормально	0	–	–	нормально	0	–	–
плохо	2	плохо	-1 -2	прохладно или тепло	-2 +2	громко	-1 -2	тускло или светло	-2 +2
очень плохо	1	очень плохо	-3	холодно или очень тепло	-3 +3	очень громко	-3	очень тускло или светло	-3 +3

По субъективной оценке комфорта учащихся в конкретном классном помещении рассчитывался индекс комфорта (ИК), при расчете которого использовались поправочные коэффициенты, учитывающие вклад отдельных факторов.

$$ИК = 0,4 \times KB + 0,3 \times T + 0,2 \times Ш + 0,1 \times C,$$

где: KB – оценка качества воздуха, T – оценка температуры, Ш – оценка шума, C – оценка освещенности.

Рассчитанный для каждого учащегося ИК принимал значение от 1,3 до 5 баллов, в среднем составил 3,83 балла. У 44% школьников ИК составил 4 и более баллов, у 12% – менее 3 баллов. Средний для класса ИК колебался от 3,27 до 4,76 баллов, при этом в каждом третьем классе (29% учебных помещений) средний ИК составил 4 и более баллов, что позволяет утверждать о достаточной степени комфорта учащихся в существующих условиях.

Установлена слабая отрицательная связь ИК с фактической температурой воздуха в учебных помещениях ($r = -0,35$; $p < 0,05$).

Заключение. В результате исследований не выявлено помещений первой категории (с высоким качеством воздуха). В большинстве учебных помещений качество воздуха было средним и приемлемым (вторая и третья категория помещений, 13% и 50% соответственно). Низкое качество воздуха (четвертая категория) отмечено в 37% помещений.

Концентрация CO_2 в воздухе учебных помещений школ составила 1305 ppm.

Интегральная оценка степени комфорта учащихся по данным индекса комфорта позволила дать количественную оценку степени комфорта учащихся. Определено снижение уровня комфорта (ИК = 3,83 балла) при повышении температуры ($r = -0,35$).

Исследование выполнено при финансовой поддержке Регионального центра окружающей среды по Центральной и Восточной Европе в сотрудничестве с Министерством окружающей среды, земли и моря Италии

ЛИТЕРАТУРА

1. EN 13779:2005 «Вентиляция в нежилых зданиях. Технические требования к системам вентиляции и кондиционирования». Москва; 2008.
2. Губернский Ю.Д., Калинина Н.В., Гапонова Е.Б., Банин И.М. Обоснование допустимого уровня содержания диоксида углерода в воздухе помещений жилых и общественных зданий. Гигиена и санитария. 2014; 6: 37–41.

Пронина Т.Н., Карпович Н.В., Полянская Ю.Н. Уровень содержания углекислого газа в учебных помещениях и степень комфорта учащихся. Вопросы школьной и университетской медицины и здоровья. 2015; 3: Вопросы школьной и университетской медицины и здоровья. 2015; 3: 32-35.