

СУЛАКОВА
Сентябряна Владимировна

магистратура, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Россия),
sulakova.sentyabrina@yandex.ru

СИДОРОВ
Никита Андреевич

выпускник, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Россия),
nikasidorov92@gmail.com

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ДЛЯ РАБОТНИКОВ КАТЕГОРИИ IA

Научный руководитель:

Ершова Наталья Юрьевна

Рецензент:

Семенов Александр

Владимирович

Статья поступила: 08.11.2023;

Принята к публикации: 28.06.2024;

Размещена в сети: 30.06.2024.

Аннотация. В статье описывается создание автоматизированного на базе микроконтроллера устройства для обеспечения комфортных условий труда в офисных помещениях работникам категории Ia. Проектирование аппаратного и программного обеспечения выполнялось параллельно. Датчики устройства измеряют температуру, влажность, освещенность, коэффициент пульсаций освещенности, уровень шума и CO₂. Программное обеспечение микроконтроллера обрабатывает входные значения с датчиков, анализирует, информирует о текущем микроклимате и сигнализирует при выходе показаний датчиков за оптимальные согласно требованиям СанПиНа.

Ключевые слова: этапы проектирования, микроконтроллер, аппаратное обеспечение, программное обеспечение, микроклимат, датчики, система автоматизированного проектирования, принципиальная электрическая схема

Для цитирования: Сулакова С. В., Сидоров Н. А. Устройство контроля параметров микроклимата индивидуальной рабочей зоны для работников категории Ia // StudArctic Forum. 2024. Т. 9, № 2. С. 90–99.

«Здоровье и работоспособность человека в значительной степени определяются условиями микроклимата и воздушной среды в производственных зданиях и помещениях», – отмечается на сайте Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Карелия¹. Поскольку человеческий ресурс является самым главным в экономике страны, проведем прикладное исследование для реализации конкретной практической цели – обеспечения комфортных условий труда работника, изучив достижения фундаментальных исследований в этой области [Мансуров: 1-4], [Митрофанова: 253-258], [Килиба: 158-161], [Дементьева: 984-988].

Известно, что оптимальные параметры микроклимата (температура, относительная влажность и т. п.), обеспечивающие нормальное тепловое состояние и минимальное напряжение, способствуют хорошей производительности труда. Действующие нормы

микроклимата рабочих мест представлены в Санитарных правилах и нормах (СанПиН)².

Анализ литературных источников позволил определить полный перечень параметров, влияющих не только на физическое самочувствие, но и непосредственно на психику работника. Так, например, установлено, что свет воздействует через нервную оптико-вегетативную систему на эндокринную систему, систему формирования иммунной защиты, влияет на многие основные процессы жизнедеятельности, регулируя обмен веществ и устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды [Кудряшов: 1]. Пульсации светового потока частотой от 25-30 Гц до 300 Гц детектируются зрительными рецепторами глаза (чувствительными к свету клетками сетчатки), но не воспринимаются мозгом как визуальная информация, что влияет на другие участки головного мозга, которые не связаны с обработкой изображения. Длительное воздействие таких пульсаций может привести к хроническим заболеваниям, а также к заболеваниям, не связанным напрямую с аппаратом зрения человека [Менумеров: 149-152]. Превышение уровня CO₂ и шумовое загрязнение приводит к таким симптомам, как головная боль, усталость, слабость, повышенная утомляемость [Минаева: 56-58], снижение производительности труда и физическим и нервным заболеваниям [Губернский: 37-41], т. е. в целом снижает качество условий работы сотрудника.

Таким образом, под микроклиматом в работе подразумевается анализ следующих показателей:

- 1) температура воздуха;
- 2) относительная влажность воздуха;
- 3) освещенность рабочих поверхностей;
- 4) коэффициент пульсаций;
- 5) уровень CO₂;
- 6) уровень шума в рабочем помещении.

Целью прикладного исследования являлось создание устройства индивидуального контроля офисного микроклимата работника категории Ia на базе встроенного микроконтроллера и системы датчиков.

Для достижения поставленной цели будем использовать функциональный подход к построению цифровых систем, последовательно решая следующие задачи – последовательные этапы теоретической и экспериментальной работы, выполнение которых позволит достичь цели исследования:

- 1) сформировать требования и разработать концепцию цифрового устройства,
- 2) разработать структуру и архитектуру устройства,
- 3) спроектировать и изготовить аппаратные средства и программное обеспечение системы,
- 4) провести отладку программно-аппаратной части, приемосдаточные испытания и ввод устройства в эксплуатацию.

* * * * *

Разрабатываемое устройство является индивидуальным и узкоспециализированным и отвечает требованиям поставленной точности. Устройство производит контроль параметров путем считывания значений с датчиков, установленных в корпусе. Оптимальные значения измеряемых параметров представлены в таблице 1.

Для датчиков температуры и влажности выбран цифровой датчик, объединяющий в себе термистор и емкостной датчик влажности – **ДНТ11**, измерение освещенности и коэффициента пульсаций производится аналоговым фототранзистором **ТЕМТ6000**, звука – аналоговым датчиком типа «микрофон» **КУ-037**, а уровень углекислого газа – цифровым химическим датчиком **MQ-135**. Обоснованием выбора этих датчиков являются диапазон

значений и точность датчика, ценовой сегмент, а также время разогрева датчика (там, где оно есть). В качестве контроллера выбран **Arduino UNO** – доступный и простой в использовании вариант для создания проектов, позволяющий модифицировать устройство под расширение функционала.

Таблица 1

Оптимальные значения измеряемых величин³

№	Показатель	Единица измерения	Минимальный оптимальный показатель	Максимальный оптимальный показатель
1	Температура	°С	21	25
2	Влажность	%	15	75
3	Освещенность	Лк	200	400
4	Коэффициент пульсаций освещенности	%	0	15
5	Уровень шума	дБ	0	80
6	Углекислый газ	ppm	380	1000

Принципиальную электрическую схему устройства разрабатывали в системе автоматизированного проектирования (САПР) **KiCad**, печатную плату – в **Sprint Layout**. Среди преимуществ этих САПР можно выделить наличие бесплатной и открытой лицензии, обучающих материалов и форумов в свободном доступе. Для моделирования дизайна устройства выбрана программа **SketchUp**, отличающаяся простотой интерфейса и доступностью.

В САПР KiCad была разработана принципиальная электрическая схема устройства, по которой в среде Sprint Layout разведена печатная плата (рисунок 1).

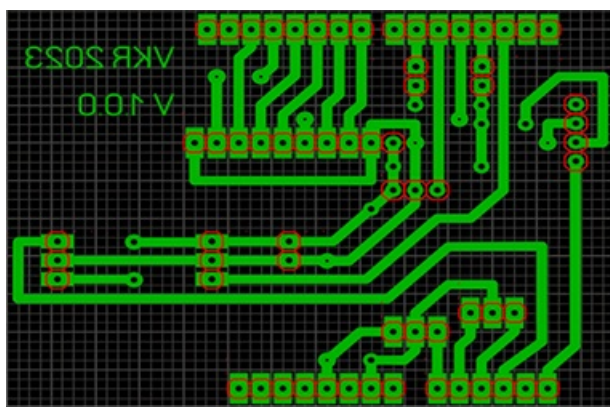


Рис.1. Разведенная в Sprint Layout печатная плата

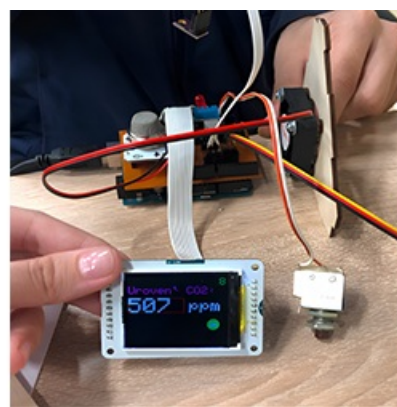


Рис. 2. Конечный вариант пайки: припаяны шлейфы, элементы и переключки

После трассировки печатной платы методом изготовления ЛУТ (лазерно-утюжная технология) выполняется пайка и далее монтаж платы в корпус (рисунок 2).

На этапе отладки было выявлено, что датчик VT900 не соответствовал требованиям скорости измерений. В результате фоторезистор был заменен на подходящий датчик освещенности ТЕМРТ-6000. Также возникла проблема с датчиком звука – выяснилось, что датчиком можно регистрировать изменения, но не уровень шума, что сделало датчик непригодным для измерений. Как результат – было решено отказаться от его использования.

В качестве датчиков-эталонов, по которым были откалиброваны датчики в

устройстве, использованы детектор углекислого газа **Даджет** и люксметр **RGK LM-20**.

Для питания устройства выбран USB 2.0 тип В на плате Arduino. Питание можно подключить к разъему USB или к стандартному питанию 220 В. Такой выбор обоснован тем, что датчик уровня CO₂ имеет высокий показатель потребляемого тока, что создало бы проблему при необходимости автономного питания. Так как прибор измеряет показатели внутри помещений, стандартное питание от розетки является доступным решением.

Диаграмма состояний устройства индивидуального контроля микроклимата и ее описание приведены в таблицах 2–5 соответственно.

Таблица 2

Описание состояний устройства

№	Состояние	Описание
1	«Выключен экран»	Состояние, при котором экран устройства гаснет. Переход из состояния 1 и состояние 2 возможен в двух случаях: при нажатии на кнопку пользователем, либо при триггере «Случилась тревога».
2	«Включен экран»	Состояние, при котором экран устройства загорается и показывает измеряемые величины. В зависимости от текущего номера экрана, а также нажатия кнопок «Влево» и «Вправо», экран будет показывать либо несколько величин (3 шт.) одновременно, либо какую-то одну конкретно (подробное содержание экранов см. табл. 4). При нажатии на кнопку включения/выключения может перейти в состояние № 1.

Таблица 3

Описание триггер-события

№	Триггер-событие	Описание
1	«Случилась тревога»	Событие означает, что в данный момент датчики показывают, что хотя бы одна из измеряемых величин вышла за пределы оптимальных значений. Это событие приводит экран из состояния «Выключен экран» во «Включен экран» Состояние тревоги определяется через введенный параметр Δ . Оно будет показывать допустимый разброс между измерением i и $i-1$ (текущим и предыдущим). В разных случаях он будет разный; но в случае, когда значение оказывается больше Δ , это означает, что мы вышли за оптимальные значения.

Таблица 4

Описание кнопок устройства индивидуального контроля микроклимата

№	Название кнопки	Описание/назначение
1	«Кнопка включения/выключения»	Отвечает за переход из состояния 1 – «Выключен экран» в состояние 2 – «Включен экран», а также наоборот – из состояния № 2 в состояние № 1. При включении, выключении замыкается ключ (?)
2	«Кнопка влево»	Отвечает за переход по панели экранов (всего экранов 8). Переход осуществляется в сторону +1 от состояния текущего экрана. Панели экранов зациклены
3	«Кнопка право»	Отвечает за переход по панели экранов (всего экранов 8). Переход осуществляется в сторону -1 от состояния текущего экрана. Панели экранов зациклены

Таблица 5

Описание экранов устройства индивидуального контроля микроклимата

№	Название экрана	Описание/назначение
1	Быстро меняющиеся параметры	Измеряет такие параметры, как освещенность, коэффициент пульсации и уровень шума. На экране отображаются: символьное обозначение измеряемой величины, значение величины, единицы измерения, в которых она измеряется
2	Медленно меняющиеся параметры	Измеряет такие параметры, как температура, влажность и CO ₂ . На экране отображаются: 1) символьное обозначение измеряемой величины, 2) значение величины, единицы измерения, в которых она измеряется

3	Освещенность	Выводит на экране только значение температуры/влажности/освещенности/коэффициента пульсации/CO ₂ /уровня шума. Данные о параметре: 1) название параметра; 2) значение параметра; 3) единица измерения параметра; 4) индикатор оценки значения (стрелка, градиентно увеличивающаяся от стороны отклонения от оптимального значения к оптимальному значению; заметная зеленая точка посередине); 5) значение mute (если параметр поставлен на игнорирование).
4	Коэффициент пульсации освещенности	
5	Уровень шума	
6	Температура	
7	Влажность	
8	CO ₂	

В основной программе (модуль **main**) производится подключение публично доступных библиотечных модулей, таких как:

- **DHT.h** (взаимодействие с датчиком DHT11 для получения данных о температуре и влажности);
- **TFT.h** (взаимодействие с TFT-экраном);
- **Adafruit_Sensor.h** (вспомогательная библиотека для обеспечения взаимодействия с экраном);
- **SPI.h** (передача информации по интерфейсу SPI для взаимодействия с дисплеем). Доработана публично доступная библиотека;
- **MQ135.h** (взаимодействие с датчиком MQ135): добавлена фильтрация данных методом усреднения.

Самостоятельно разработаны следующие модули:

- **Sensor.h** (взаимодействие с датчиками, интерпретация и первичная обработка данных, получаемых с датчиков). Представляет собой реализацию идеи единой программной обертки для физически разных датчиков, дающую возможность работать со всеми используемыми датчиками единообразно;
- **keys_control.h** (интерпретация данных, получаемых с энкодера). Для реализации данной задачи используется программный опрос в совокупности с конечными автоматами;
- **tft_code.h** (отображение значений параметров и анализ полученных данных). Кроме непосредственного вывода модуль осуществляет анализ данных: отображает с помощью соответствующих иконок на экране предупреждение о выходе параметра текущей страницы за границы оптимальных значений и положение текущего значения параметра сенсора относительно оптимальных границ, отвечает за вывод дополнительной информации – вывод иконки установки игнорирования параметра (блокировка изменения параметра);
- **ed.h** (управление светодиодом в текущий момент времени). Для снижения нагрузки устройства произведена оптимизация работы светодиода в режиме «синусоида»: требуемые значения синуса были пересчитаны и занесены в массив, который впоследствии используется для реализации светодиода в данном режиме. Также, как и все самостоятельно разработанные модули, модуль led.h создан с использованием метода конечных автоматов. Кроме режима «синусоида» реализован режим «тревога»: в данном режиме светодиод работает в зависимости от получаемого из основной программы (модуля main) параметра уровня тревоги (количество параметров, вышедших за границы оптимальных значений);
- **rus_words.h** (передача в модуль tft_code.h строк в кодировке ANSI для отображения кириллицы). Функция возвращает строку символов кириллицы по полученному через параметр номеру строки. Тип возвращаемого значения функции – const char*, что важно при выводе данных средствами библиотеки TFT.h. Особенность данного модуля состоит в том, что его текст написан в кодировке ANSI. Именно благодаря кодировке данного модуля возможен вывод кириллицы средствами библиотеки TFT.h.

При разработке программного обеспечения периодически возникали трудности, связанные с некорректной обработкой данных, получаемых с датчиков, фиксацией состояний средств вывода, а также с ошибками в интерпретации информации от устройств управления. Ошибки решены путем добавления переменных и временных задержек.

Среди ошибок, возникших при отладке программно-аппаратной части в целом можно выделить, например, неисправность датчика DHT11, который имел более тонкие выводы, что приводило к потере контакта между соответствующим выводом и клеммой соединительного элемента. Решение – датчик был припаян непосредственно к шлейфу, сверху покрыт термоусадочной изоляцией.

Создание модели корпуса проводилось в программной среде SketchUp. Модель представлена на рисунках 3, 4.

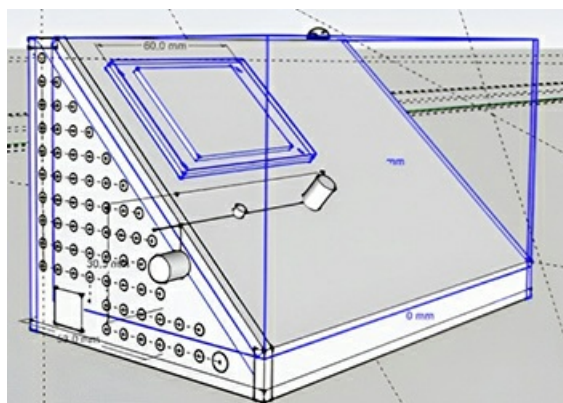


Рис. 3. Внешний вид корпуса устройства, нарисованный в программе SketchUp

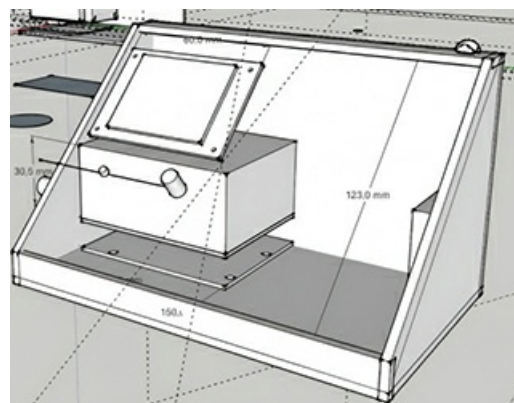


Рис. 4. Внешний вид корпуса устройства, нарисованный в программе SketchUp

Корпус выпилен из трехмиллиметровой фанеры с помощью лазера. Детали корпуса поставлялись в разобранном виде (рисунок 6), поэтому далее корпус был собран и склеен, задняя стенка корпуса сделана съемной, что позволяет заменять датчики или любую другую съемную часть устройства в случае поломки.

В конце сборки корпус имеет вид, показанный на рисунке 6.



Рис. 5. Детали корпуса устройства (3 мм фанера)



Рис. 6. Собранный корпус устройства (вид спереди)

Для эксплуатации устройства написано «Руководство пользователя». Экспериментальное тестирование было выполнено в различных помещениях, включая офисное пространство и три рабочих пространства в различных квартирах. В ходе эксплуатации устройства в двух квартирах было обнаружено превышение уровня CO₂ (на 100–300 ppm), а также температуры (на 2–3 °C). В одной из квартир освещенность не являлась достаточной в вечернее время суток. Эти данные учтены, параметры рабочего пространства приведены к более оптимальным значениям – введен график проветривания помещений. Превышение значений параметра температуры требует более детальной проверки причин превышения, в квартире с недостаточной освещенностью принято решение поменять лампу накаливания на более мощную.

Перспективами развития устройства являются:

1. Добавление датчика шума в рабочем помещении;
 2. Добавление управления активностью пользователя (рекомендации технологических перерывов, зарядка для глаз);
 3. Добавление датчика давления воздуха;
 4. Добавление работы с флэш-памятью (запись и хранение статистических данных).
- Полученные данные могут быть визуализированы и представлены в приложении для удобства анализа и управления рабочей средой.

* * * * *

В статье подробно рассмотрены этапы реализации прикладного исследования с использованием функционального подхода при построении цифрового устройства, т. е. устройство проектировалось исходя из его назначения с учетом свойств структурного базиса – набора различных элементов (датчиков, микроконтроллера, устройств вывода данных и т. п.), на основе которого строится устройство. Выбор всех элементов структурного базиса обоснован, создана структурная схема устройства. В соответствующих САПР разработаны принципиальная электрическая схема и печатная плата, корпус устройства. Изготовление устройства контроля параметров микроклимата выполнено по технологии ЛУТ. Печатная плата посредством припаянных разъёмов подключена к Arduino UNO. Корпус устройства выпилен лазером из трехмиллиметровой фанеры. Алгоритм управляющей программы реализован на языке Arduino. При разработке программного обеспечения использованы метод нисходящего проектирования, объектно-ориентированное программирование, метод конечных автоматов. Разработанное программное обеспечение содержит 4 готовые библиотеки и 4 библиотеки, написанные самостоятельно авторами работы. Выполнена отладка программного и аппаратного обеспечения, опытная эксплуатация в нескольких рабочих помещениях.

Таким образом, в результате прикладного исследования была решена конкретная практическая проблема – спроектировано и создано устройство индивидуального контроля рабочей среды, обеспечивающее измерение и анализ параметров офисного микроклимата и не имеющее прямых аналогов на рынке. Устройство введено в эксплуатацию в офисе компании «Неосистемы Северо-Запад ЛТД». Важным фактором является наличие перспективы развития устройства, что в последующем поможет более эффективно анализировать и управлять параметрами индивидуальной рабочей среды.

Примечания

¹ О требованиях к микроклимату производственных помещений // Управление федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по республике Карелия [Электронный ресурс]. URL: https://10.rospotrebnadzor.ru/news/novosti/o_trebovaniyakh_k_mikroklimatu_proizvodstvennykh

[_pomeshcheniy/](#) (дата обращения: 17.05.2023)

² Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 18.05.2023)

³ Там же.

Список литературы

Губернский Ю.Д. Обоснование допустимого уровня содержания диоксида углерода в воздухе помещений жилых и общественных зданий / Ю.Д. Губернский, Н.В. Калинина, Е.Б. Гапонова, И.М. Банин // Гигиена и санитария. Т. 93. 2014. № 6. С. 37-41.

Дементьева В.И. Влияние влажности воздуха на жизнедеятельность человека // XLIX Огарёвские чтения. 2021. № 3. С. 984-988.

Килиба Н.А. Влажность воздуха и влияние её на здоровье человека / Н.А. Килиба, Н.П. Верчагина // Инновации в технологиях и образовании. 2019. Ч. 2. С. 158-162.

Кудряшов А.В. Влияние показателей световой среды на работу операторов [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования [Сетевое издание]. 2005. № 1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=131> (дата обращения: 07.04.2023).

Мансуров Р.Ш. Влияние концентрации углекислого газа на организм человека [Электронный ресурс] / Р.Ш. Мансуров, М.А. Гурин, Е.В. Рубель // Universum: Технические науки [Сетевое издание]. 2017. № 8(41). С. 20-23. URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/5045> (дата обращения: 28.05.2024).

Минаева В.В. Влияние шума на организм человека [Электронный ресурс] / В.В. Минаева, А.В. Гапоненко // Международный студенческий научный вестник [Сетевое издание]. 2015. № 3. Ч. 1. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=12026> (дата обращения: 07.04.2023).

Митрофанова М.В. Влияние влажности воздуха в жилых помещениях на здоровье человека // Актуальные проблемы гигиены и экологической медицины. 2021. № 6. С. 253-258.

Менумеров Р.М. Пульсация освещенности как негативный фактор световой среды // Строительство и техногенная безопасность. 2019. № 16(68). С. 149-152.

Sentyabrina V. SULAKOVA

master's degree, Petrozavodsk State University
(Petrozavodsk, Russia),
sulakova.sentyabrina@yandex.ru

Nikita A. SIDOROV

master's degree, Petrozavodsk State University
(Petrozavodsk, Russia),
nikasidorov92@gmail.com

MICROCLIMATE PARAMETERS MONITORING DEVICE FOR INDIVIDUAL WORKING AREAS OF CATEGORY IA EMPLOYEES

Scientific adviser:

Natalya Y. Ershova

Reviewer:

Alexander V. Semenov

Paper submitted on: 11/08/2023;

Accepted on: 06/28/2024;

Published online on: 06/30/2024.

Abstract. The article presents the stages of creating a microcontroller-based automated device designed to monitor the current parameters of working space microclimate to ensure comfortable working conditions for category Ia employees. The design of both the hardware and software components was carried out simultaneously. The sensors of the developed device measure such parameters as temperature, humidity, illumination, illumination ripple factor, noise level, and carbon dioxide level. The embedded microcontroller software processes the input values from the sensors, analyzes them, provides real-time information on the current microclimate, and alerts users when the sensor readings exceed the optimal limits according to the requirements of Sanitary Rules and Norms.

Keywords: design stages, microcontroller, hardware, software, microclimate, sensors, computer-aided design system, circuit diagram

For citation: Sidorov, N. A. Microclimate Parameters Monitoring Device for Individual Working Areas of Category Ia Employees. *StudArctic Forum*. 2024, 9 (2): 90–99.

References

Gubernskiy Yu.D., et al. Rationale for the permissible level of carbon dioxide in indoor air in residential and public buildings with the permanent human presence. *Hygiene and Sanitation*, Vol. 93, 2014, No. 6, pp. 37-41. (In Russ.)

Dementieva V.I. Influence of air humidity on human activity. *XLIX Ogarev Readings*, 2021, No. 3, pp. 984-988. (In Russ.)

Kiliba N.A., Verchagina N.P. Air humidity and its impact on human health. *Innovations in technology and education*, 2019, part 2, pp. 158-162. (In Russ.)

Kudryashov A.V. Influence of light environment indicators on the work of operators. *Modern Problems of Science and Education*, 2005, No. 1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=131> (Accessed: 07.04.2023) (In Russ.)

Mansurov R., Gurin M., Rubel E. The effect of carbon dioxide concentration on the human body. *Universum: Technical Sciences*, 2017, No. 8(41), pp. 20-23. URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/5045> (Accessed: 28.05.2024). (In Russ.)

Minaeva V.V., Gaponenko A.V. The impact of noise on the human body. *European Student Scientific Journal*, 2015, No. 3, part 1. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=12026> (Accessed: 07.04.2023) (In Russ.)

Mitrofanova M.V. Influence of air humidity in residential premises on human health. *Current problems of hygiene and ecological medicine*, 2021, No. 6, pp. 253-258. (In Russ.)

Menumerov R.M. Pulsation of lighting as a negative light environment factor. *Construction and Industrial Safety*, 2019, No. 16(68), pp. 149-152. (In Russ.)