Разработка цифрового модуля датчиков газа, предназначенного для систем промышленной безопасности, и их применение

Абдазимов Шавкат Хакимович[1]
Гафуров Бахтиёр Менглиевич[2]
Мусаев Шахриддин Гуламович[3]
Ташкентский государственный транспортный университет,
Ташкент, Узбекистан
https://doi.org/10.5281/zenodo.7870058

Аннотация:В статье рассматривается разработка беспроводной системы мониторинга для контроля токсичных и горючих газов для решения актуальной задачи автоматизированного контроля газовой среды на опасных производственных объектах. Описана архитектура системы мониторинга, которая состоит из беспроводных газоанализаторов с подключенными выносными цифровыми модулями. В статье рассмотрены конструктивно-схемотехнические решения по разработке цифрового модуля газовых датчиков, в состав которого входит: микроконтроллер, приемопередатчик RS-485, интегрированный источник питания на основе импульсного преобразователя, блок с цифровыми газовыми датчиками. Рассмотрен принцип комбинированной защиты от электростатики и микросекундных помех, а также концепция цифровых газовых сенсоров с чувствительными элементами различного физического типа. Разработанный модуль позволяет выявлять в атмосфере взрывоопасные и токсичные газы, и может использоваться в системах предотвращения аварийных ситуаций на производстве совместно с исполнительными устройствами.

Ключевые слова: система мониторинга, производственная безопасность, газовый датчик, интеллектуальный цифровой датчик, zigbee, микросборка, RS-485, токсичный газ, взрывоопасный газ.

Введение. Задача предупреждения и предотвращения опасных ситуаций, связанных с наличием горючих и токсичных газов в атмосфере, является актуальной и своевременной. В настоящее время на крупных производственных объектах химической промышленности используются проводные автоматизированные системы контроля токсичных и взрывоопасных газов[1,2]. В технологических процессах, связанных с добычей, транспортировкой, переработкой, получением, хранением и применением горючих и токсичных газов, всегда имеется высокая вероятность образования взрывоопасных и токсичных смесей [2,3]. Высокая концентрация горючих газов может привести к воспламенению или взрыву, когда содержание газа в воздухе находится между нижним и верхним концентрационным пределом воспламеняемости [4,5]. Высокая концентрация токсичного газа выше установленной предельно допустимой концентрации П(ДК) в производственных помещениях может быть причиной тяжёлого отравления персонала. В Узбекистан в настоящее время причинами взрывов и отравлений наиболее часто является грубое нарушение правил безопасной эксплуатации оборудования, отсутствие контроля над технологическими процессами, а также иногда низкий уровень квалификации рабочего персонала[6,7].

Таким образом, в Узбекистан задача автоматизированного контроля газовой среды на объектах промышленности является очень актуальной. На современных западных промышленных предприятиях устанавливают автоматизированные системы обнаружения токсичных и взрывоопасных газов[8,9]. Такие системы, состоящие из газоанализаторов, контроллеров, устройств оповещения и исполнительных устройств, выполняют функции раннего предупреждения о развитии опасной ситуации. Тем самым системы обнаружения газов позволяют локализовать развитие опасных ситуаций на ранних стадиях, а также увеличивают период времени для принятия соответствующих защитных мер и действий по устранению аварийных ситуаций. Для её решения необходимо постоянно усовершенствовать существующие газоанализаторы - повышать их надежность, точность измерения концентраций, а также универсальность и легкость в эксплуатации. В результате, актуальной задачей является разработка комплексных газоанализаторов, удовлетворяющих современным требованиям по быстродействию и точности, стабильно функционирующих в условиях возмущающих факторов внешней среды [9,10].

Беспроводная система мониторинга

Для обнаружения утечек токсичных и горючих газов на производственных объектах разработана специальная система на основе беспроводных газоанализаторов[11,12]. Беспроводная система мониторинга стандарта IEEE 802.15.4 состоит из сетевого координатора, маршрутизатора и конечного устройства [4,5]. В топологии сети маршрутизатор и конечное устройство представляют собой многоканальные и энергонезависимые газоанализаторы. Стандарт IEEE 802.15.4 ZigBee позволяет обеспечивать передачу данных на больших расстояниях при низком энергопотреблении приемопередатчиков [13,14]. Особенность стандарта IEEE 802.15.4 ZigBee состоит в том, что для повышения дальности связи устройства поддерживают функции ретрансляции и маршрутизации. Архитектура системы мониторинга представлена.

Разработанная система мониторинга на основе беспроводных энергонезависимых газоанализаторов предназначена для измерения концентрации токсичных и горючих газов, сигнализации превышения уровней концентрации и управления исполнительными элементами систем вентиляции, звуковой и световой сигнализации и автоматики[15,16]. Основными компонентами в системе мониторинга являются многоканальные беспроводные энергонезависимые газоанализаторы, каждый из которых состоит из: источника питания с аккумуляторами, ZigBee приемопередатчика, управляющего микроконтроллера, микросборки силовых ключей, блока гальванической развязки с драйверами цифровых интерфейсов RS-485, USB. К беспроводным газоанализаторам подключаются специализированные цифровые модули газовых датчиков[17,18]. В свою очередь многоканальный беспроводной газоанализатор обеспечивает питание для выносных цифровых датчиков, обработку сигнала и индикацию измеренных концентраций газа, прием и передачу данных в беспроводную сеть, срабатывание устройств аварийной сигнализации при достижении пороговых значений концентраций измеряемых газов и диагностического самоконтроля[19,20].

Цифровой модуль газовых датчиков.

Правильное размещение газовых сенсоров различного физического типа является залогом эффективной работы системы мониторинга. В настоящее время наиболее хорошо себя зарекомендовали многоканальные цифровые модули с интерфейсом RS-485, которые подключаются к стационарным, либо мобильным устройствам[21,22]. На рис. 1. представлен внешний вид разработанного цифрового модуля газовых датчиков для беспроводных газоанализаторов и для промышленных стационарных систем существующего вида.

Рис. 1. — Внешний вид цифрового газового модуля с 4 датчиками.

Выносные газовые модули устанавливают вблизи зоны возможного газовыделения и подключают к беспроводному газоанализатору. Высота установки выносного модуля полностью зависит от физических свойств контролируемых газов[23,24]. Поскольку газы, более тяжёлые, чем воздух (диоксид углерода, пропан, хлор и др.), будут скапливаться в нижней части помещения, то чувствительные элементы устанавливают на высоте не более 1 метра от пола. Более лёгкие газы будут подниматься в верхнюю часть помещения и датчики надо ставить вблизи потолка. Для газов, имеющих плотность близкую к воздуху, место расположения может быть любое. Для токсичных газов датчики располагают на уровне дыхания человека[25,26]. При получении информации и ее интерпретации с выносного газового модуля требуется руководствоваться общими санитарно-гигиеническими требованиями к воздуху рабочей зоны ГОСТ 12.1-005-88. Подключать цифровой модуль газовый датчиков можно только в взрывобезопасной атмосфере. На реальном объекте количество блоков датчиков и их расположение определяется проектом и нормативными документами. Каждый выносной цифровой модуль газовых датчиков соединен с автономным основным газоанализатором при помощи витой пары, по которой осуществляется питание и передача служебной информации по стандарту RS-485. Использование стандарта RS-485 для передачи данных между беспроводным энергонезависимым газоанализатором и выносным датчиком позволяет реализовать недорогую и надёжную передачу данных в среде с высоким уровнем шума и неблагоприятными условиями, такими как помещения с большим количеством промышленных установок[27,28]. Уменьшение восприимчивости к внешним помехам на шине RS-485 достигается благодаря дифференциальному способу передачи сигналов. В состав цифрового модуля входит: микроконтроллер, приемопередатчик RS-485, интегрированный источник питания, блок с цифровыми газовыми датчиками. В настоящее время при разработке цифрового газового модуля требуется строго учитывать энергопотребление всех входящих в него компонентов для увеличения времени автономной работы системы. Практически все электронные компоненты, которые были созданы более 5 лет назад не подходят к применению в автономных устройствах из-за высокого уровня энергопотребления. На рис.2 представлена электрическая схема интегрированного источника питания, реализованная в разработанном модуле[29,30].

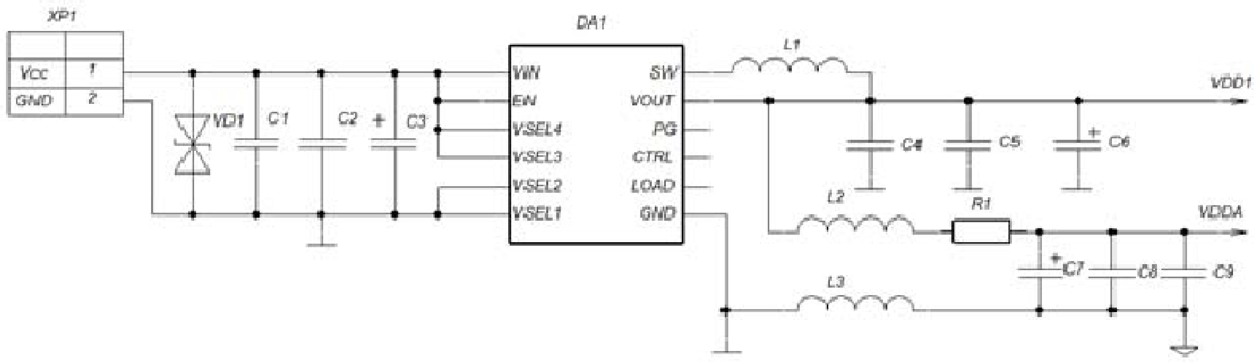

Рис. 2. — Часть схемы электрической принципиальной источника питания.

Интегрированный источник питания цифрового модуля получает внешнюю энергию по витой паре длинной не более 10 метров от беспроводного газоанализатора и формирует на выходе постоянное аналоговое и цифровое питание 3В для управляющего микроконтроллера, газовых датчиков, микросхемы драйвера RS-485[31,32]. На стороне беспроводного газоанализатора, к которому подключается цифровые выносные модули, установлен блок гальванической развязки для защиты основного изделия. На входе источника питания установлены конденсаторы и специализированный супрессор (VD1) для подавления импульсных помех. В разработанном источнике питания использован импульсный регулятор напряжения (DA1 в схеме) TPS62740. Миниатюрный импульсный регулятор имеет собственный ток потребления всего 360нА, его коэффициент полезного действия (КПД) преобразования достигает 95% при номинальной нагрузке до 100мА [33,34]. Такие показатели достигаются за счёт использования архитектуры управления DCS-Control, объединяющей в себе преимущества истерезисного управления и режима управления по напряжению [35,36]. Выходное напряжение импульсного регулятора напряжения задается четырехбитным сочетанием. Фильтрация помех осуществляется как по питанию (L2), так и по общему проводу (L3). Антизвонный резистор R1 служит плавким предохранителем, а конденсаторы различной емкости (C4-C9) подавляют высокочастотные и низкочастотные помехи на цифровой и аналоговой линии питания. Использование именно такого регулятора позволяет уменьшить энергопотребление модуля в несколько раз, так как цифровые газовые датчики имеют импульсный режим работы. В импульсном режиме работы большее количество времени цифровые газовые датчики находятся в «спящем режиме», и лишь просыпаются по таймеру раз в 15-30 секунд для измерения концентрации токсичных и взрывоопасных газов[38,39].

Энергопотребление цифрового модуля газовых датчиков.

Общая тенденция развития приборостроения идет в направлении миниатюризации и уменьшения энергопотребления. В современных системах мониторинга используются беспроводные системы с аккумуляторным питанием. Из-за этого остро стоит вопрос уменьшения энергопотребления составных частей изделия и увеличения тем самым времени работы изделия. В газоаналитических приборах, которые контролируют горючие газы с полупроводниковыми и термокаталитическими чувствительными элементами самый энергоемкий объект — чувствительный элемент, который должен быть разогрет до рабочей температуры, достигающей 400-500 °С. В газоаналитических приборах, которые контролируют токсичные газы уже самый энергоемкий компонент — управляющий микроконтроллер и микросхема драйвера RS-485[40].

Энергопотребление разработанного цифрового модуля можно разделить на 2 части — активный режим и спящий режим. В активном режиме микроконтроллер STM32L011, работающий от внутреннего источника тактовых сигналов, потребляет всего 76 мкА/1 МГц тактовой частоты, в спящем режиме всего 0,29 мкА с включенными опциями пробуждения от внешнего прерывания и UART приема посылки от микросхемы драйвера RS-485. Микросхема драйвера RS485 в активном режиме потребляет не меньше 1,1 мА, в спящем режиме всего от 10нА до 5мкА. К сожалению, микросхему драйвера RS-485 невозможно отключить, так как в любой момент от ведущего устройства может прийти посылка с важными данными. В спящем режиме цифровые газовые датчики потребляют менее 0,1 мА[41].

Заключение. На основе современной ЭКБ разработан малопотребляющий цифровой модуль газовых датчиков для системы промышленной безопасности и экологического мониторинга. Конструктивно-схемотехнические решения позволяют разработанному модулю газовых датчиков функционировать в условиях неблагоприятной электромагнитной обстановки на реальных промышленных объектах. Использование концепции цифровых интеллектуальных сенсоров газа позволяют значительно упростить обслуживание готовой системы мониторинга. Разработанный модуль позволяет выявлять в атмосфере взрывоопасные и токсичные газы и может использоваться в системах предотвращения аварийных ситуаций на производстве совместно с исполнительными устройствами. Системы мониторинга на основе разработанного модуля позволяют локализовать развитие опасных ситуаций на ранних стадиях, а также увеличивают период ремени для принятия соответствующих защитных мер и действий по устранению аварийных ситуаций. Результаты работы могут быть использованы в различных отраслях производства, на предприятиях: газовой и нефтяной промышленности, нефтеперерабатывающей и химической промышленности, энергетики, горнодобывающей и угольной промышленности, металлургии, пищевой промышленности.

References:

1. Ogli, Z. K. Q. (2022). MA’LUMOTLARNI OPTIK DATCHIKLAR YORDAMIDA YETKAZISH VA O ‘LCHASH TIZIMLARINI ISHLAB CHIQISH. Трансформация моделей корпоративного управления в условиях цифровой экономики, 1(1), 237-241.
2. Zuhriddinov, H. (2022). ELIMINATION OF VARIOUS HAZARDS THROUGH THE USE OF OPTICAL SENSORS IN THE ENERGY, CIVILIAN AND TRANSPORT SECTORS. Academic research in modern science, 1(9), 433-441.
3. Qaxramonjon o’g’li, Z. H. MA’LUMOTLARNI OPTIK DATCHIKLAR YORDAMIDA YETKAZISH VA O ‘LCHASH TIZIMLARINI ISHLAB CHIQISH. Iqtisodiyotni raqamlashtirish sharoitida korporativ boshqaruv modellarining transformatsiyasi xalqaro ilmiy-amaliy anjumani, 10.
4. Qaxramonjon o’g’li, Z. H. HOZIRGI ZAMONAVIY RIVOJLANAGAN DAVRDA OPTIK DATCHIKLARDAN FOYDALANIB TURLI SOHALARDAGI HAVFLARNI OLDINI OLISHNI O’RGANISH. Iqtisodiyotni raqamlashtirish sharoitida korporativ boshqaruv modellarining transformatsiyasi xalqaro ilmiy-amaliy anjumani, 10.
5. Alimovich, M. O., & Qaxramonjon o’g’li, Z. H. QISHLOQ XO’JALIGIDA NAMLIK DATCHIKLARIDAN OQILONA FOYDALANISH USULLARI. Journal of Advanced Research and Stability.
6. Qaxramonjon o’g’li, Z. H. OPTIK TOLALI DATCHIKLARNING BOSHQADATCHIKLARDAN FOYDALANISHDAGI AFZALLIKLARI. ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ, (25).
7. Qaxramonjon o’g’li, Z. H. (2022). ANALYSIS OF SAFETY IN CONSTRUCTION SITES USING OPTICAL SENSORS. Web of Scientist: International Scientific Research Journal, 3(6), 131-140.
8. O’G’li, Z. H. Q. (2022). Analysis of safety in construction sites using optical sensors.
9. Ogli, Z. K. Q. (2022). HOZIRGI ZAMONAVIY RIVOJLANAGAN DAVRDA OPTIK DATCHIKLARDAN FOYDALANIB TURLI SOHALARDAGI HAVFLARNI OLDINI OLISHNI O’RGANISH. Трансформация моделей корпоративного управления в условиях цифровой экономики, 1(1), 231-236.

10. Xakimovich, A. S., & Qaxramonjon o'g'li, Z. H. (2022). Prediction of Situations That May Occur in Emergency Situations of Bridges by Means of Optical Sensors. Texas Journal of Engineering and Technology, 13, 55-59.

11. Qaxramonjon o'g'li, Z. H., & Xakimovich, A. S. Prediction of Situations That May Occur in Emergency Situations of Bridges by Means of Optical Sensors. 55-59 page.

12. Xakimovich, A. S., & Qaxramonjon o'g'li, Z. H. (2022). Analyzing the Results of Monitoring the Situations that May Occur in Emergency Situations of Bridges Through Various Optical Sensors. Global Scientific Review, 8, 80-88.

13. Abdazimov, S. X., & Zuhriddinov, H. (2022). CONTINUOUS MONITORING SYSTEM ON BRIDGES TO PREVENT EMERGENCIES. Journal of Integrated Education and Research, 1(6), 95-99.

14. Abdazimov, S. X., & Zuhriddinov, H. (2022). REVIEW THE BRIDGE MONITORING SYSTEM ON A REGULAR BASIS TO PREVENT EMERGENCY SITUATIONS. Journal of Integrated Education and Research, 1(6), 90-94.

15. Musayev, S. G., & Zuhriddinov, H. (2022). BINOLARDA KELIB CHIQISHI MUMKIN BO'LGAN FAVQULODDAGI VAZIYATLARDA YONG'IN HODISALARINI OPTIK HARORAT DATCHIKI ORQALI ANIQLASH. Journal of Integrated Education and Research, 1(6), 85-89.

16. Kamilov, X., & Zuhriddinov, H. (2022). CALCULATION MODEL OF THE EFFICIENCY OF THE MEANS OF PROTECTION AGAINST THE ELECTROMAGNETIC FIELD (BY THE EXAMPLE OF A TRAIN DISPATCH WORKSTATION). Zamonaviy dunyoda ilm-fan va texnologiya, 1(6), 183-189.

17. Abdazimov, S., & Zuhriddinov, H. (2022). MONITORING USING FIBER BRAGG GRID SENSORS IN EMERGENCY PREVENTION OF BRIDGES. Eurasian Journal of Academic Research, 2(11), 1066-1075.

18. угли Зухриддинов, Х. Қ., & Амиров, М. У. (2022). АНАЛИЗ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ. INNOVATIVE DEVELOPMENT IN THE GLOBAL SCIENCE, 1(6), 150-158.

19. Gulamovich, M. S., & O'G'Li, Z. H. Q. (2022). PEDAGOG XODIMLARDAGI ERGONOMIK BILIM VA KO'NIKMALARINI ZAMONONAVIY OLIY TA'LIM MUASSASALARIDAGI HOLATINI O'RGANISH. Ta'lim fidoyilari, 28, 21-29.

20. Xakimovich, A. S., & Qaxramonjon o'g'li, Z. H. CONSIDERATION OF THE USE OF OPTICAL SENSORS IN EMERGENCY PREVENTION AND METHODS FOR USE IN WATER.

21. Zuhriddinov, H., Davrenov, S., & Seylbekov, Y. (2023). ISH JOYLARIDAGI HOLATLARNI ERGONOMIKA ASOSIDA O'RGANISH. Наука и технология в современном мире, 2(9), 55-57.

22. Абдазимов, Ш., & Зухриддинов, Х. (2023). АНАЛИЗ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ. Theoretical aspects in the formation of pedagogical sciences, 2(2), 80-84.

23. Abdazimov, S., & Zuhriddinov, H. (2023). ANALYSIS OF MONITORING AND FORECASTING OF EMERGENCY SITUATIONS IN RAILWAY TRANSPORT. Theoretical aspects in the formation of pedagogical sciences, 2(2), 85-88.

24. Zuhriddinov, H. (2023). АНАЛИЗ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ОБЪЕКТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА УЗБЕКИСТАНА. Scienceweb academic papers collection.

25. Gulamovich, M. S., & O'G'Li, Z. H. Q. (2023). LEARNING THE SKILLS OF ERGONOMIC KNOWLEDGE IN PRODUCTION THROUGH DIGITALIZATION. Ta'lim fidoyilari, 16, 137-144.
26. Gulamovich, M. S., & O'G'Li, Z. H. Q. (2023). ERGONOMIC PERSONAL DEVELOPMENT OF TEACHERS THROUGH DIGITALIZATION OF MODERN EDUCATION. Ta'lim fidoyilari, 16, 130-136.
27. Kamilov, X., & Zuhriddinov, H. (2022). TEXNOLOGIYALAR VA BARQAROR RIVOJLANISH; ELEKTROMAGNIT MAYDON TA'SIRIDAN HIMOYALASH VOSITASI SAMADORLIGINI HISOB MODELI (TEMIR YO 'L STANSIYASI NAVBATCHISI ISH JOYI MISOLIDA). Zamonaviy dunyoda ilm-fan va texnologiya, 1(6), 176-182.
28. угли Зухриддинов, Х. Қ., & Амиров, М. У. (2022). АНАЛИЗ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ. INNOVATIVE DEVELOPMENT IN THE GLOBAL SCIENCE, 1(6), 150-158.
29. Xakimovich, A. S., & Qaxramonjon o'g'li, Z. H. CONSIDERATION OF THE USE OF OPTICAL SENSORS IN EMERGENCY PREVENTION AND METHODS FOR USE IN WATER.
30. Akhatov, A., Gafurov, B., Jakhonov, A., & Khalimbetov, A. (2020, June). Distribution of the forms of reserves of humus in typical seroms formed in geomorphological areas Tashkent-Keles. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 869, No. 4, p. 042018). IOP Publishing.
31. Гафуров, Б. М. (2023). Изучение чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Ta'lim fidoyilari, 4(1), 161-169.
32. Gafurov, B. (2023). TEMIR YO'L TRANSPORTIDA FAVQULODDA VAZIYATLARNI BARTARAF ETISHDA QUTQARUV VA SHOSHILINCH ISHLARNI TASHKIL ETISHNI TAKOMILLASHTIRISH. Наука и инновация, 1(1), 59-63.
33. Gafurov, B. (2023). TEMIR YO'LDAGI AVARIYALAR VA OFATLARNING OQIBATLARINI BARTARAF ETISH BO'YICHA QUTQARUV ISHLARINI TASHKIL ETISHNI O'RGANISH. Наука и инновация, 1(1), 54-58.
34. Gulamovich, M. S., & O'G'Li, Z. H. Q. (2022). Pedagog Xodimlardagi Ergonomik Bilim Va Ko'nikmalarini Zamononaviy Oliy Ta'lim Muassasalaridagi Holatini O'rganish. Ta'lim fidoyilari, 28, 21-29.
35. Musayev, S. G., & Zuhriddinov, H. (2022). Binolarda Kelib Chiqishi Mumkin Bo'lgan Favquloddagi Vaziyatlarda Yong'in Hodisalarini Optik Harorat Datchiki Orqali Aniqlash. Journal Of Integrated Education And Research, 1(6), 85-89.
36. Камилов, Х. М. (2022). ТЕМИР ЙЎЛ ТРАНСПОРТИ ҲАРАКАТЛАНУВЧИ ТАРКИБИДА ЁНҒИННИ БОШЛАНҒИЧ БОСҚИЧДА ОЛДИНИ ОЛИШ. BARQARORLIK VA YETAKCHI TADQIQOTLAR ONLAYN ILMIY JURNALI, 2(1), 177-179.
37. Musayev, S. G., & Hamroyeva, M. A. Q. (2023). Ishlab chiqarishdagi baxtsiz xodisalar va mehnat muhofazasi bo'yicha samarali natijaga erishish borasidagi sayharakatlarni yanada maqsadli tashkil etish. Science and Education, 4(1), 1141-1146.
38. Gulamovich, M. S., & O'G'Li, Z. H. Q. (2023). LEARNING THE SKILLS OF ERGONOMIC KNOWLEDGE IN PRODUCTION THROUGH DIGITALIZATION. Ta'lim fidoyilari, 16, 137-144.
39. Gulamovich, M. S., & O'G'Li, Z. H. Q. (2023). ERGONOMIC PERSONAL DEVELOPMENT OF TEACHERS THROUGH DIGITALIZATION OF MODERN EDUCATION. Ta'lim fidoyilari, 16, 130-136.

40. Камилов, Х. М., Мусаев, Ш. Ғ., & Холбоева, М. О. Қ. (2021). ЭЛЕКТРОМАГНИТ МАЙДОН ТАЪСИРИДАН ҲИМОЯЛАШ ВОСИТАСИ САМАДОРЛИГИНИ ҲИСОБ МОДЕЛИ (ТЕМИР ЙЎЛ СТАНЦИЯ НАВБАТЧИСИ ИШ ЖОЙИ МИСОЛИДА). Scientific progress, 2(8), 872-877.

41. Аблялимов, О. С., Хисматулин, М. И., Зоирхонов, С. Т., Эркинов, Б. Х., Мусаев, Ш. Г., & Ишбутаев, Х. Ғ. (2018). ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕПЛОВОЗОВ UZTE16M3 НА УЧАСТКЕ МАРОКАНД-КАТТАКУРГАН УЗБЕКСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ. In АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ (pp. 58-70).