

Амплитуда вибраций:

$$\gamma = 2\kappa_{\rho} A_0, \quad (4)$$

где $A_0 = |(\nabla f(0))|$ – амплитуда угловых колебаний вектора нормали к поверхности в точке наблюдения; $\nabla f(0)$ – градиент функции.

Из формулы (5) следует, что отношение сигнал/шум является монотонно возрастающей функцией радиуса апертуры фотодетектора d и достигает максимума, когда величина d равна радиусу изображения освещенного участка поверхности объекта. С другой стороны, δ_I растет с увеличением освещенности E_0^2 на поверхности объекта, которая при фиксированной мощности лазерного излучения обратно пропорциональна площади освещенного участка. Следовательно, для увеличения δ_I следует стремиться как можно лучше сфокусировать лазерный пучок на поверхности объекта. В случае равенства размеров изображения светового пятна на поверхности и размеров апертуры фотодетектора справедливо следующее соотношение между излучаемой мощностью лазерного излучения P_L и освещенностью на поверхности E_0 :

$$P_L = \pi d^2 E_0 \frac{\ell_1^2}{\ell_2^2}, \quad (6)$$

В результате, максимально возможное отношение сигнал/шум определяется величиной

$$\delta_I = \frac{e \eta_0^2 G_{от} P_L q^2 A_0^2}{\varepsilon_{\phi} \varepsilon_{\phi}^2 B_n \ell_1^2 \left[\frac{e \eta_0 G_{от} P_L q^2}{\varepsilon_{\phi}} + j m \right]}. \quad (7)$$

Если расстояние ℓ_1 не слишком велико, то постоянная составляющая сигнального тока существенно больше j_t . В этом случае формула (7) упрощается:

$$\delta_I = \frac{\eta_0 G_{от} P_L A_0^2}{\varepsilon_{\phi} B_n}, \quad (8)$$

и отношение сигнал/шум не зависит от расстояния до объекта, а определяется только параметрами поверхности объекта и приемно – детектирующей системы. Для надежной регистрации виброколебаний отношение сигнал/шум должно быть не менее 3. В случае применения фотодетектора с квантовой эффективностью $\eta_0 = 0,5$, мощности лазерного излучения $P_L = 30$ мВт ($\lambda = 0,694$ нм.), $G_{от} = 0,3$ и $B_n = 10^3$ Гц; из формулы (8) имеем, что $A_{0 \min} = 3,6 \cdot 10^{-7}$ рад. Полученные расчетные и экспериментальные оценки указывают на высокую чувствительность метода, что позволяет дистанционно фиксировать вибрации и смещения поверхности объектов на уровне 350–400 нм.

Литература

1. Франсон, М. Оптика спеклов / М. Франсон. – М.: Мир, 1980. – 171 с.
2. Джоунс, Р. Голографическая спекл – интерферометрия / Р. Джоунс, К. Уайкс. – М.: Мир, 1986. – 327 с.
3. Пресняков, Ю. П. Использование спекл – эффекта для анализа колебаний шероховатой поверхности / Ю. П. Пресняков, В. П. Щепинов // Журнал технической физики. – 1997. – Т. 67, № 8. – С. 71–75.

УДК 621.38

УЧЕБНАЯ АУДИТОРИЯ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ ПРОЕКТУ «УМНЫЙ КЛАСС»
Микитевич В.А., Свистун А.И., Исаев А.В., Воробей Р.И., Тьявловский К.Л., Тьявловский А.К.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Учебная аудитория по проекту «Умный класс» предназначена для проведения лекционных занятий, семинаров, конференций. Разработаны основные составляющие: адаптивное освещение, система контроля микроклимата и концентрации углекислого газа, рабочий стол преподавателя.

Ключевые слова: умный класс, адаптивное освещение, адаптивный электропривод.

LEARNING AUDIENCE FOR THE EXPERIMENTAL PROJECT "SMART CLASS"

Mikitsevich U., Svistun A., Isaev A., Vorobey R., Tyavlovsky K., Tyavlovsky A.

Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The classroom for the "Smart Class" project is intended for lectures, seminars, conferences. The main components have been developed: adaptive lighting, a microclimate and carbon dioxide concentration control system, and a teacher's desktop.

Key words: smart class, smart lighting, smart electric drive.

Адрес для переписки: Микитевич В.А., пр. Независимости, 65, Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: mikitevichva@bntu.by

Назначение аудитории. Учебная аудитория предназначена для проведения лекционных и практических учебных занятий с использованием

интерактивных средств обучения, информационных технологий, дополнительного программного обеспечения (САПР, CAD, CAM, CAE и т.п.).

Основные цели:

- создание экспериментальной площадки для внедрения перспективных научных и инженерных разработок студентов и преподавателей факультета;
- создание аудитории с благоприятными комфортными условиями, соответствующими санитарным нормам;
- формирование единой образовательной среды для повышения качества образования и мотивации обучающихся, направленные на вовлечение их в научную деятельность;
- отображение учебных материалов, результатов научных исследований и моделирования в формате 3D при проведении учебных занятий;
- отображение трехмерных наглядных пособий с применением документ-камеры;
- отображение наглядных пособий микрометровых размеров с применением микроскопа.

Основные задачи. Задачи направлены на разработку и реализацию следующих систем:

- система контроля и управления доступом;
- система управления искусственным и естественным освещением;
- система управления микроклиматом, включающая кондиционер, датчики контроля температуры, влажности, концентрации углекислого газа, подсистему приводов открывания окон;
- интегрированная система управления умной аудиторией;
- рабочий стол преподавателя, оснащенный компьютером, документ-камерой, микроскопом.

Система контроля и управления доступом. Реализован доступ в аудиторию с помощью RFID-карты или по отпечатку пальца. Замок работает в режиме открыт-закрыт. Таким образом, преподаватель открывает аудиторию перед началом занятия и закрывает в конце. Во время занятий дверь остается открытой.

Система управления искусственным освещением. Реализована при модернизации светодиодных светильников путем добавления светодиодной RGB ленты, датчиков освещенности, управляющего микроконтроллера и модуля беспроводной связи. Такие изменения позволили регулировать яркость каждого светильника отдельно с целью обеспечения равномерной освещенности рабочих мест во всей аудитории независимо от наличия естественного освещения; регулировать температуру цвета света [1, 2]. Для управления всеми светильниками в автоматическом и ручном режимах предусмотрен модуль беспроводной связи (рис. 1).

Подсистема управления приводом жалюзи. Реализована путем модернизации ручных приводов жалюзи установкой электрического привода с редуктором. Предусмотрены автоматические и ручные режимы работы.

В автоматическом режиме реализовано открывание/закрывание жалюзи в зависимости от освещенности за окном.

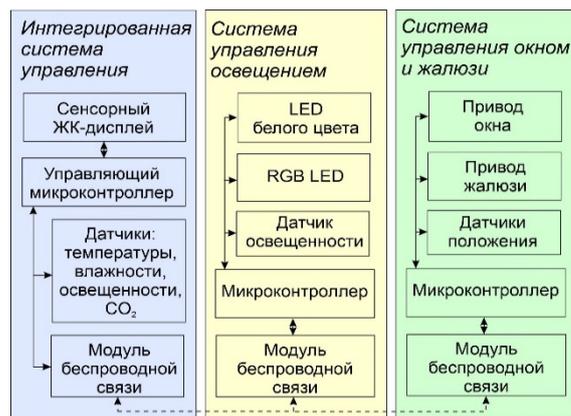


Рисунок 1 – Структурная схема рабочего стола и системы отображения информации

Система приводов открывания окна. Реализована на основе цепного электропривода. Управление реализовано на основе микроконтроллера STM32F103 и двух H-мостов.

Алгоритмически реализованы многоступенчатые режимы проветривания и автоматическое открывание окна при превышении концентрации углекислого газа в помещении.

Интегрированная система управления умной аудиторией. Реализована на основе микроконтроллера STM32F103. Используются следующие датчики:

- датчик CO₂ – SCD30;
- датчики освещенности – фоторезистор MLG4458;
- датчик влажности - HR202;
- датчики температуры – термисторы сопротивлением 10 кОм.

В качестве радиопередатчика использован модуль NRF24L01. Основные преимущества такого радиопередатчика: работа в двух направлениях, подтверждение получения данных, высокая скорость передачи (до 1,5 Мбит/с), работа на частоте 2,4 ГГц, отличный от Wi-Fi протокол обмена; поддержка 128 каналов связи и 64 битных адресов устройств.

Еще одним важным преимуществом таких модулей является относительная защищенность от несанкционированного доступа к системе управления аудиторией. Второй уровень защиты реализован с помощью уникального программно реализованного протокола обмена.

В качестве сенсорного дисплея использован человеко-машинный интерфейс (HMI) DMG80480C070_04WTC производства DWIN Technology (Китай) который состоит из цветного жидкокристаллического дисплея диагональю 7 дюймов; емкостного сенсора; управляющего микроконтроллера и памяти (16 Мбайт). Такой HMI позволяет хранить в памяти и воспроизводить на дисплее изображения, обрабатывать результаты касания сенсора и осуществлять обмен данными с микроконтроллером STM32 через UART.

Графический интерфейс разработан самостоятельно и прошит в памяти НМІ (рис. 2).

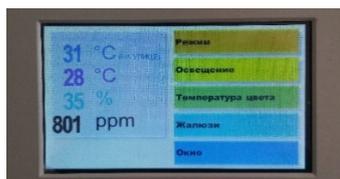


Рисунок 2 – Дисплей управления «Умной аудиторией»

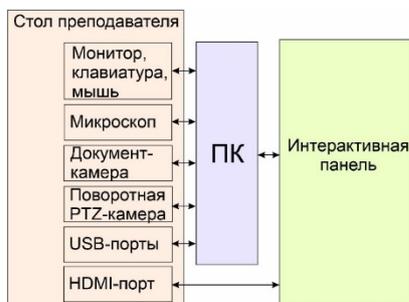


Рисунок 3 – Структурная схема рабочего стола и системы отображения информации

Рабочий стол преподавателя оснащен монитором на подвижном кронштейне, клавиатурой, мышкой, микроскопом с цифровым интерфейсом, документ-камерой (разработана самостоятельно), поворотной PTZ-камерой (для проведения онлайн

конференций), выдвижной панелью с розетками, USB и HDMI портами (рис. 3).

Дополнительный HDMI порт позволяет преподавателю использовать свой ноутбук для проведения занятий.

Для качественного отображения учебных материалов, результатов научных исследований и моделирования в формате 3D использована интерактивная панель.

Учебная аудитория по экспериментальному проекту «Умный класс» реализована на приборостроительном факультете Белорусского национального технического университета.

Литература

1. Адаптивный светильник для «умной» аудитории // Новые направления развития приборостроения: материалы 15-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов (20–22 апреля 2022 г.) / Ю. Д. Сороко [и др.]. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 46–47.

2. Адаптивное освещение в «умной» аудитории // Новые направления развития приборостроения: материалы 15-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов (20–22 апреля 2022 г.) / Сороко, Ю.Д. [и др.]. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 47–48.

УДК 681.2.08

КОМПЛЕКСНАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕРМО-ЭДС ТЕРМОПАР

Мороз А.С., Тьявловский А.К.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В данном докладе рассмотрены причины изменения и возможности компенсации дрейфа термоэлектродвижущей силы (термо-ЭДС) термопары типа ТХА (тип К) при долговременных измерениях температуры. Компенсация изменения термо-ЭДС обеспечивается за счет обработки нормирующим преобразователем сигналов термопары большей выборки и сравнения результатов измерения при применении двух и более датчиков, но с разным сечением измерительных проводников и разными типами термопар.

Ключевые слова: термопара, преобразователь, датчик.

COMPLEX COMPENSATION OF CHANGES IN THE THERMAL EMF OF THERMOCOUPLES

Moroz A., Tyavlovsky A.

Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. This report, the reasons for the change and the possibility of compensation for the drift of the thermoelectromotive force (thermo-EMF) of a thermocouple of type THA (type K) during long-term temperature measurements are considered. Compensation of changes in the thermo-EMF is provided by processing a larger sample of thermocouple signals by a normalizing converter and comparing the measurement results when using two or more sensors, but with different cross-sections of measuring conductors and different types of thermocouples.

Key words: thermocouple, converter, sensor.

Адрес для переписки: Мороз А.С., пр. Независимости, 65, Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: artur.moroz.97@mail.ru

Термопара хромель-алюмель ТХА (тип К) – самая распространенная в промышленности. В термопарах ТХА наблюдаются два вида нестабильности термоЭДС: необратимая нестабильность постепенно накапливающаяся со временем

(длительная, кумулятивная), и обратимая нестабильность (циклическая, кратковременная) [1].

Необратимая нестабильность термопары типа ТХА в основном подвержена взаимодействию с окружающей средой. Особенно заметно