

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,  $\delta_I$  растет с увеличением освещенности  $E_0^2$  на поверхности объекта, которая при фиксированной мощности лазерного излучения обратно пропорциональна площади освещенного участка. Следовательно, для увеличения  $\delta_I$  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

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

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

Если расстояние  $\ell_1$  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.

### 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.

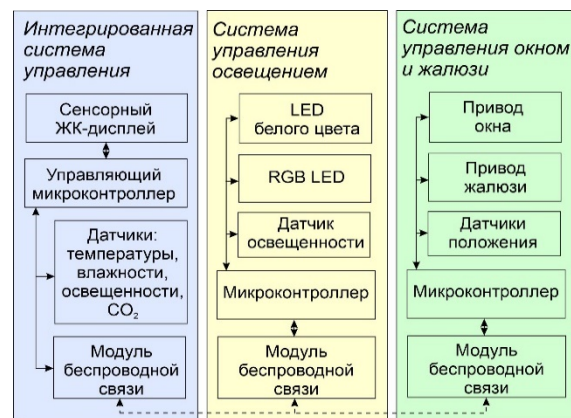


Рисунок 1 – Структурная схема рабочего стола и системы отображения информации

**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 CO<sub>2</sub> – 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).

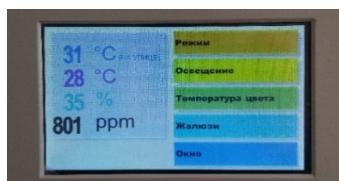


Рисунок 2 – Дисплей управления «Умной аудиторией»

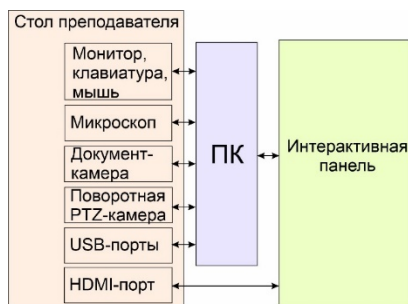


Рисунок 3 – Структурная схема рабочего стола и системы отображения информации

**Рабочий стол преподавателя** оснащен монитором на подвижном кронштейне, клавиатурой, мышью, 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 TNA (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