

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-635505>

Оригинальное исследование



Алгоритмы эффективного управления биодинамической системы освещения павильонного комплекса «Дом.РФ» выставки «Россия»

С.В. Дегтярева¹, Б.Н. Сидоров¹, Д.Б. Лазарев¹¹ Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Аспекты, связанные с повседневной деятельностью человека, особенности деятельности во время нахождения в помещениях, такие как настройка освещения, интеграция с системами здания и смена нахождения в течение дня в различных местах, в значительной степени игнорируются в системах управления освещением, основанных на общеприменимых значениях и нормах. Современный интенсивный ритм жизни, подразумевающий повсеместное использование новых, постоянно совершенствующихся технологий, частая смена обстановки — всё это создаёт потребность в современном подходе к изучению и применению интеллектуальной системы освещения.

Цель работы — разработать и исследовать работоспособность и качество функционирования электротехнических комплексов, систем и их компонентов в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях.

Материалы и методы. Проектирование систем освещения в программе Autodesk AutoCAD, расчёт количества и зон действия, а также внедрение биодинамического освещения при помощи приложения AWADA.

Результаты. В данной статье объектом исследования служит павильонный комплекс «Дом.РФ», построенный в 2023 году для выставки «Россия» на территории Выставки достижений народного хозяйства (ВДНХ). В павильоне планировалось показать образ нового рынка индивидуального жилищного строительства, обеспечивающего комфортное проживание в гармоничной среде. В данной статье проведено технико-экономическое сравнение внедрённых систем освещения и применения биодинамического освещения. Практическая значимость исследования заключается в проверке работоспособности, разработке и проектировании биодинамического освещения, для здания общественного назначения, используемого как выставочный павильон.

Заключение. Разработан весь комплекс замены с разработкой эффективного, экологического и безопасного внедрения биодинамического освещения технического комплекса павильона, включающего создание, эксплуатацию компонентов.

Ключевые слова: интеллектуальная система; биодинамическое освещение; светодиодные осветительные приборы.

Как цитировать:

Дегтярева С.В., Сидоров Б.Н., Лазарев Д.Б. Алгоритмы эффективного управления биодинамической системы освещения павильонного комплекса «Дом.РФ» выставки «Россия» // Известия МГТУ «МАМИ». 2024. Т. 18, № 3. С. 252–262. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-635505>

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-635505>

Original Study Article

The algorithms of efficient control of the biodynamic lighting system of the ‘Dom.RF’ pavilion facility of the ‘Russia’ exhibition

Svetlana V. Degtyareva^{1, 2}, Boris N. Sidorov¹, Dmitry B. Lazarev¹

¹ Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Aspects related to daily human activities, features of indoor activities, such as lighting settings, integration with building systems and changing locations during the day in various places, are largely ignored in lighting control systems based on generally applicable values and regulatory standards. The modern intensive rhythm of life, which implies the widespread use of new, constantly improving technologies, frequent changes in the environment — all this creates the need for a modern approach to the study and application of an intelligent lighting system.

AIM: Development and research of operability and functioning quality of the electro-technical facilities, systems and their components in various modes, under various external influences.

METHODS: Design of lighting systems in the Autodesk AutoCAD software, calculation of quantity and activation areas, as well as implementation of biodynamic lighting using the AWADA application.

RESULTS: In this paper, the study object is the ‘Dom.RF’ pavilion facility built in 2023 for the ‘Russia’ exhibition on the territory of the Exhibition of Achievements of National Economy (VDNKh). The pavilion was planned to show the image of a new market for individual housing construction, ensuring comfortable living in a harmonious environment [2]. This paper contains a technical and economic comparison of the implemented lighting systems and the use of biodynamic lighting. The practical value of the study lies in the operability testing, development and design of the biodynamic lighting designed for a public building used as an exhibition pavilion.

CONCLUSION: A complete package of measures for replacement with the development of an effective, ecological and safe implementation of biodynamic lighting for the technical facility of the pavilion, including the creation and operation of components, has been developed.

Keywords: intelligent system; biodynamic lighting; LED lighting equipment.

To cite this article:

Degtyareva SV, Sidorov BN, Lazarev DB. The algorithms of efficient control of the biodynamic lighting system of the ‘Dom.RF’ pavilion facility of the ‘Russia’ exhibition. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2024;18(3):252–262. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-635505>

Received: 29.08.2024

Accepted: 04.12.2024

Published online: 04.12.2024

ВВЕДЕНИЕ

Применяемые в настоящее время стандарты в области освещения имеют существенные недостатки, не позволяющие на их основе обеспечить комфортные условия пребывания внутри помещений. Например, в СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» расчёт естественного освещения помещений проводится без учёта мебели, оборудования, озеленения и других затеняющих предметов, а также при 100% использовании светопрозрачных заполнений в светопроёмах [4].

Также не учитывается функциональная принадлежность помещений. Разработанные решения по освещению помещений на основе требований упомянутого СП не создают комфортной среды и отрицательно влияют на самочувствие человека внутри такого помещения. Кроме того, СП 52.13330.2016 не предусматривает возможность адаптации освещения внутри помещения в зависимости от времени суток, его предназначения, особенностей использования в текущем моменте и т. п.

ОПИСАНИЕ ПАВИЛЬОННОГО КОМПЛЕКСА «ДОМ.РФ», ПРЕДСТАВЛЕННОГО НА ВЫСТАВКЕ «РОССИЯ» НА ТЕРРИТОРИИ ВДНХ

Проектная задача павильонного комплекса для участия в выставке «Россия» обозначена как знаковое общественное пространство, отражающее суть подхода

организации-заказчика к осознанию и развитию предметно-пространственной среды городов и поселений с помощью передовых технологий моделирования, планирования и ресурсного обеспечения.

В условиях переизбытка использования пластика акцент в данном строении был сделан на дереве. Таким образом, в проекте было решено использовать дерево при строении павильона, фундамент также деревянный. Это даёт ощущение волокнистой тактильности, а мягкая цветовая гамма, используемая для расслабления нервной системы, даёт возможность человеку отдохнуть. Для этих же целей применяется и биодинамическое освещение, позволяющее усилить эффект экологичности и природы в строении. За счёт разных углов обеспечена несущая способность. Форма вертикальных колонн также обеспечивает эмоциональную разгрузку. Ритм подчёркивает регулярность, чёткость и симметрию. Принято решение в панелях не оставлять стыки между пазами, а использовать в них светодиодную ленту. 95% фасадов остеклены, т. е. естественный свет проникает во все помещения. Входная зона с остеклением изображена на рис. 1.

В павильоне применены светодиодные ленты, линейные светильники, встроенные в массив, светильники потолочные накладные. Все это управляется при помощи настенных панелей, взаимодействующих по зонам. В табл. 1 представлена спецификация используемого оборудования источников освещения.

На рис. 2 представлена визуализация павильона.

Применение в павильоне автоматизированных инженерных систем определяется:



Рис 1. Входная зона павильона «Дом.РФ».

Fig. 1. Entrance of the 'Dom.RF' pavilion.

Таблица 1. Спецификация оборудования и материалов источников освещения
Table 1. List of the equipment and materials of lighting sources

Наименование	Кол-во	Мощность за ед. (Вт)
Светильник из массива (ясень белый), длина 1000 мм	51 шт.	10
Светильник VILLY, потолочный накладной	105 шт.	15
Светильник из массива (ясень белый), длина 2000 мм	16 шт.	20
Светильник из массива (ясень белый), длина 2500 мм	7 шт.	25
Лента светодиодная ПРО COB	870 м	4,8
Итого общая мощность, Вт		6756



Рис. 2. Визуализация павильона «Дом.РФ».
Fig. 2. Render of the 'Dom.RF' pavilion.

- научной основой проектирования, создания и эксплуатации электротехнических комплексов, систем и их компонентов;
 - новым подходом к проектированию эффективного управления: развитая система внутреннего освещения, включающая большое количество групп алгоритма изменения яркости (диммируемые источники освещения), а также необходимость в световых сценариях в разных зонах павильона;
 - системой автоматизированного климат-контроля, которая включает в себя кондиционирование воздуха, приточно-вытяжную вентиляцию, управление отоплением.
- Для управления каждой из зон в павильоне размещены радио панели, которые рассчитаны на управление одной группой. Между собой все соединено зоной террас. Все осветительные приборы подобраны с учётом формы здания. При нахождении в любой точке в центре не видно

- деталей, которые спрятаны за осветительными приборами, таким образом создаётся впечатление цельной детали. Строение павильона разделено на два уровня:
- 1 уровень — 4,5 м, с функциональным назначением: двойная зона кафетерия, занятия для обучения и развития детей разных возрастных групп;
 - 2 уровень — 3,5 м, с функциональным назначением: прихожая, переговорная, главный вход.
- На рис. 3, 4 представлены разрезы павильона.
- В процессе разработки научных основ проектирования все инженерные сети видовые (сети связи, отопление и вентиляция, кондиционирование, электрика и др.). За счёт этого видны все конструктивные элементы. На рис. 5 приведён один из примеров размещения нескольких систем в павильоне.
- В табл. 2 представлена экспликация помещения павильонного комплекса, а на рис. 6 план освещения павильона.

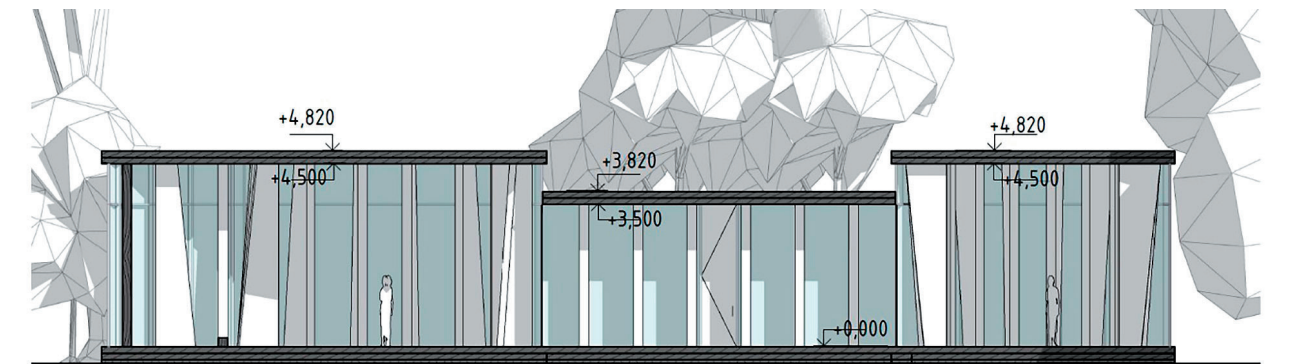


Рис. 3. Разрез 1.
Fig. 3. Section 1.

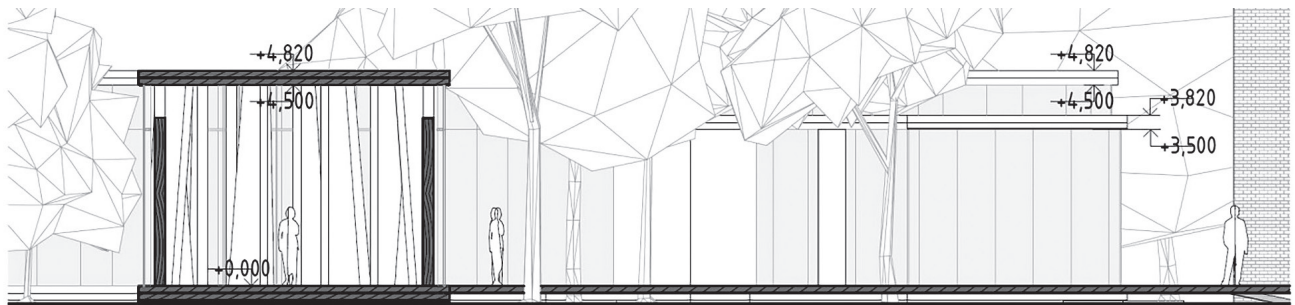


Рис. 4. Разрез 2.
Fig. 4. Section 2.

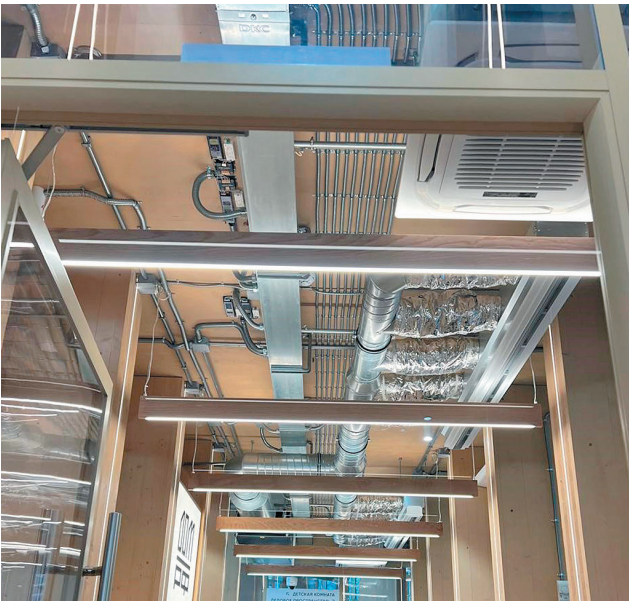


Рис. 5. Холл. Размещение систем на потолке.
Fig. 5. The hall. Installation of the systems on the ceiling.

В настоящий момент управление освещением осуществляется вручную, диммируемое (с изменением яркости). Персонал, который обслуживает павильон в ручном режиме, изменяет яркость системы освещения. С учётом алгоритма эффективного управления — это трудозатраты и влияние человеческого фактора.

На рис. 7 представлено диммирование одного из участков павильона.

На рис. 8 показаны управление радиопанелью W-DIM-B и её внешний вид.

В таком случае необходимо внедрение настройки и смены освещения в автоматическом режиме с возможностью применения ручного режима. При этом автоматически должны определяться географическое положение и регулироваться цветовая температура в зависимости от движения солнца в заданной местности (циркадное освещение). То есть необходимо разработать эффективное, экологичное и безопасное решение электротехнического комплекса, включающего создание, эксплуатацию компонентов. При этом система должна самостоятельно

Таблица 2. Экспликация помещений павильонного комплекса
Table 2. List of rooms of the pavilion facility

№	Наименование	Площадь, кв м ²
1	Холл	25,81
2	Аудитория № 1	58,42
3	С/У	3,44
4	С/У	5,06
5	Холл-галерея	32,78
6	Переговорная	32,18
7	Холл	36,56
8	Аудитория с кофе-пойнтом	47,03
9	Аудитория № 2	61,37
10	Техническое помещение	5,9
Общая площадь		311,69

вносить коррективы в работу с учётом времени суток и погодных условий, т. е. осуществлять оптимизацию систем и их компонентов, разработку алгоритмов эффективного управления.

АЛГОРИТМ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ БИОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ

Исследования показывают, что правильное освещение, регулируемое по принципам Human Centric Lighting (HCL), или освещение, ориентированное на человека, может улучшить настроение, снизить уровень стресса, а также улучшить продуктивность и общее благополучие пользователей. При правильном распределении света в помещении уровень кортизола снижается, что способствует уменьшению стресса и улучшению общего состояния организма [1].

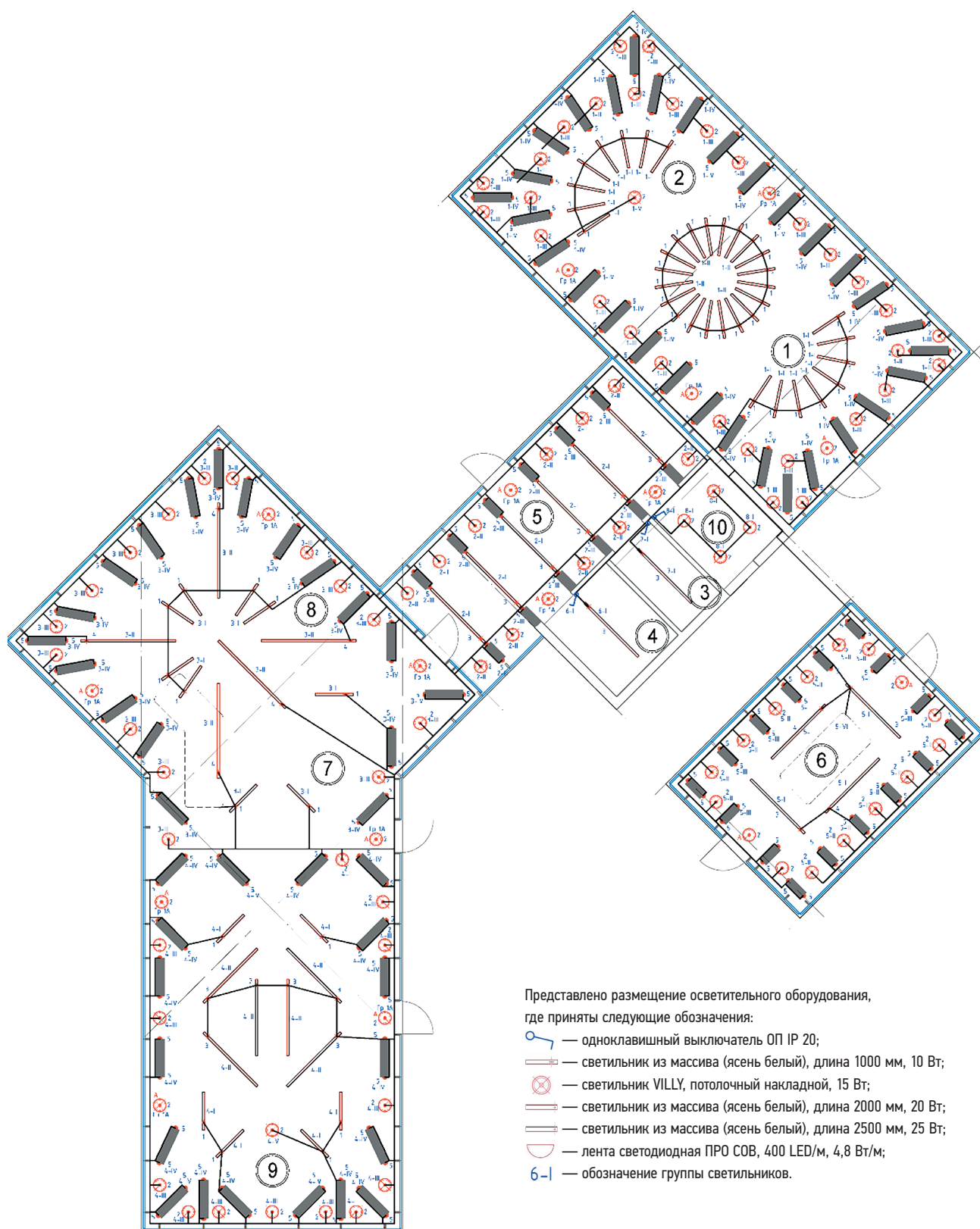


Рис. 6. План размещения источников освещения павильона.

Fig. 6. Scheme of distribution of lighting sources of the pavilion.

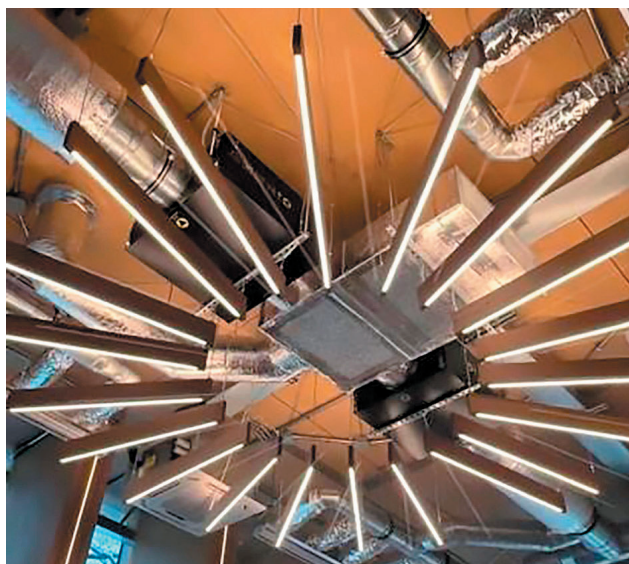
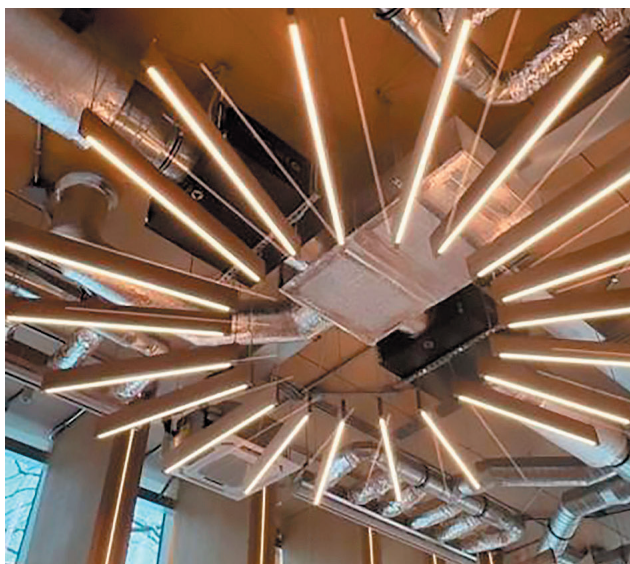


Рис. 7. Помещение «Аудитории № 1» при разном уровне яркости освещения.

Fig. 7. The room of the “Auditorium No. 1” at different levels of lighting brightness.

Таким образом, для создания здоровой, комфортной среды в различных помещениях наиболее целесообразно использовать биодинамическое освещение. Биодинамическое освещение, или освещение, ориентированное на человека, основывается на принятых нормах с индивидуальным подходом в зависимости от особенностей использования помещений на основе применения эффектов света, различной цветовой температуры, сценариев изменения световых потоков. При этом должен быть обеспечен анализ источников освещения, гарантирующий необходимый уровень освещённости, индекс цветопередачи, цветовую температуру, яркость и правильную регуляцию циркадного ритма.

Особенный акцент проектного предложения связан с использованием в павильонном комплексе технологий здоровой среды, предполагает использование биодинамического освещения, акустически благоприятных материалов и оборудования.

В [5] описано влияние цветовой температуры на настроение, зрительную активность и психику. Было обнаружено, что учащиеся лучше справлялись при цветовой температуре от 3500 К до 5500 К. Более высокие значения цветовой температуры привели к улучшению зрения и повышению его остроты, поэтому значение 5000 К считается оптимальным для задач с высокими требованиями к концентрации. Соответственно, значение 4000 К подходит для дискуссий и групповых занятий. Более тёплый свет при температуре 3000 К наилучшим образом подходит для отдыха или спокойных занятий.

Алгоритм изменения позволяет регулировать два параметра: цветовая температура и яркость освещения в течение дня. Данные для павильона по зонам функциональной принадлежности сведены в табл. 3.

Для внедрения в павильон биодинамического освещения выбрана система российской компании AWADA. Одним



Рис. 8. Радиопанель W-DIM-B.

Fig. 8. The W-DIM-B radio panel.

из ключевых преимуществ системы AWADA является способность создавать динамические световые сценарии, адаптирующиеся под потребности и предпочтения пользователей. Благодаря возможности изменения цветовой температуры и интенсивности освещения в зависимости от времени суток и задачи система AWADA способствует улучшению концентрации, работоспособности и продуктивности на протяжении дня.

Управлению подвергаются все зоны, находящиеся в павильоне. Работа освещения предлагается в автоматическом режиме по показаниям датчиков DA2-SEN1(2)-S, ориентированных на отслеживание движения, чтобы учесть все параметры (так как есть ещё панорамные

Таблица 3. Алгоритм изменения параметров павильона «Дом.РФ»
Table 3. The algorithm of the 'Dom.RF' pavilion parameters change

Наименование	Режим	Цветовая температура, К	Яркость, Лм
Павильон «Дом. РФ»	Утро 6.00–9.00	2500–2700	50–80
	Завтрак 8.00–10.00	2500–3000	
	Начало рабочего дня, утренняя планёрка 9.00–10.30	2000–5000	50–360
	Рабочий день 9.00–18.00 (10.00–19.00)	2000–7000	
	Обеденный перерыв/ужин 13.00–14.00/18.00–19.00	2000–3500	150–360
	Лекция, переговоры — в течение дня	3000–4500	50–200
	Ночное время	2000–3000	10–80

окна — и на освещённость). Датчик освещённости используется в павильоне для регулировки искусственного освещения в зависимости от доступного дневного света и обеспечивает соответствие нормативным требованиям при одновременном снижении энергопотребления.

В помещениях с высотой подвесов от 4 м предусмотрены датчики DA2-SEN8-S. Для возможности ручного управления предлагается использовать кнопочные восьми — клавишные панели DA2-SW-B8-PB со свободно-программируемыми клавишами (в помещении переговорной и аудиторий), а также сенсорную панель SP-03, которую необходимо связать со шкафом управления локальной сетью. Рассчитан шкаф управления, AL-512-00-0000-0000, установка которого предполагается в помещении 10 (техническое помещение).

Для изменения цветовой температуры требуется замена светильников на модификацию, поддерживающую протокол DALI. DALI (Digital Addressable Lighting Interface) — один из первых открытых цифровых протоколов, пришедших на смену широко распространённому аналоговому протоколу 1-10V [6]. Для возможности управления биодинамическим освещением применяется использование устройства DALI DT8, которое позволяет реализовать возможность регулирования цветовой температуры, используя 1 адрес в системе DALI на 2 канала

управления. Тип DT8 — это устройство управления цветом. Как правило, оно представляет собой многоканальный LED-драйвер, но стандарт оставляет возможность и для иных реализаций [6]. При использовании вместо DT8 иного типа протокола (DT6) данное решение по управлению освещением потребует пересчёта. Тип DT6 — это диммируемый LED-драйвер. Он может управлять источником света, дающим только один оттенок [6]. Размещение датчиков, панелей и шкафа управления приведено на рис. 9 и в табл. 4. Для сравнения внедрения биодинамического и обычного освещений, которые уже применяется в гражданском здании, необходимо внести сумму затрат, которые необходимо поставить в системе биодинамики. Состав и стоимость приведены также в табл. 4.

Таким образом, при внедрении биодинамических систем освещения необходимо не менять полностью систему уже существующую, а только внедрить датчики движения, панели в необходимых местах установки.

Возможна полная замена источников освещения. Сравнение приведено в табл. 5.

Для изменения решения на источниках с применением биодинамического освещения в проекте необходимо заменить все источники освещения, а также внедрить систему управления освещением AWADA.

Таблица 4. Спецификация AWADA: Оборудование. Стоимость оборудования
Table 4. The AWADA list of equipment and prices

№	Наименование	Артикул	Кол-во	Цена с НДС, руб.
1	Шкаф управления TM AWADA в сборе	AL-512-00-0000-0000	1	1 013 249,9
2	Датчик движения с сенсором освещённости	DA2-SEN1-S	5	10 126,77
3	Датчик движения с сенсором освещённости	DA2-SEN2-S	2	13 988,57
4	Датчик движения с сенсором освещённости	DA2-SEN8-S	7	44 381,72
5	Кнопочная панель (8 клавиш)	DA2-SW-B8-PB	5	17 993,85
6	Сенсорная панель AWADA 15,6» SP-03	SP-03	1	136 594,29
7	Настольное крепление для сенсорной панели AWADA SP-01, SP-03, SP-04	pm-02s	1	4184,62
Итого:				1 633 461,07

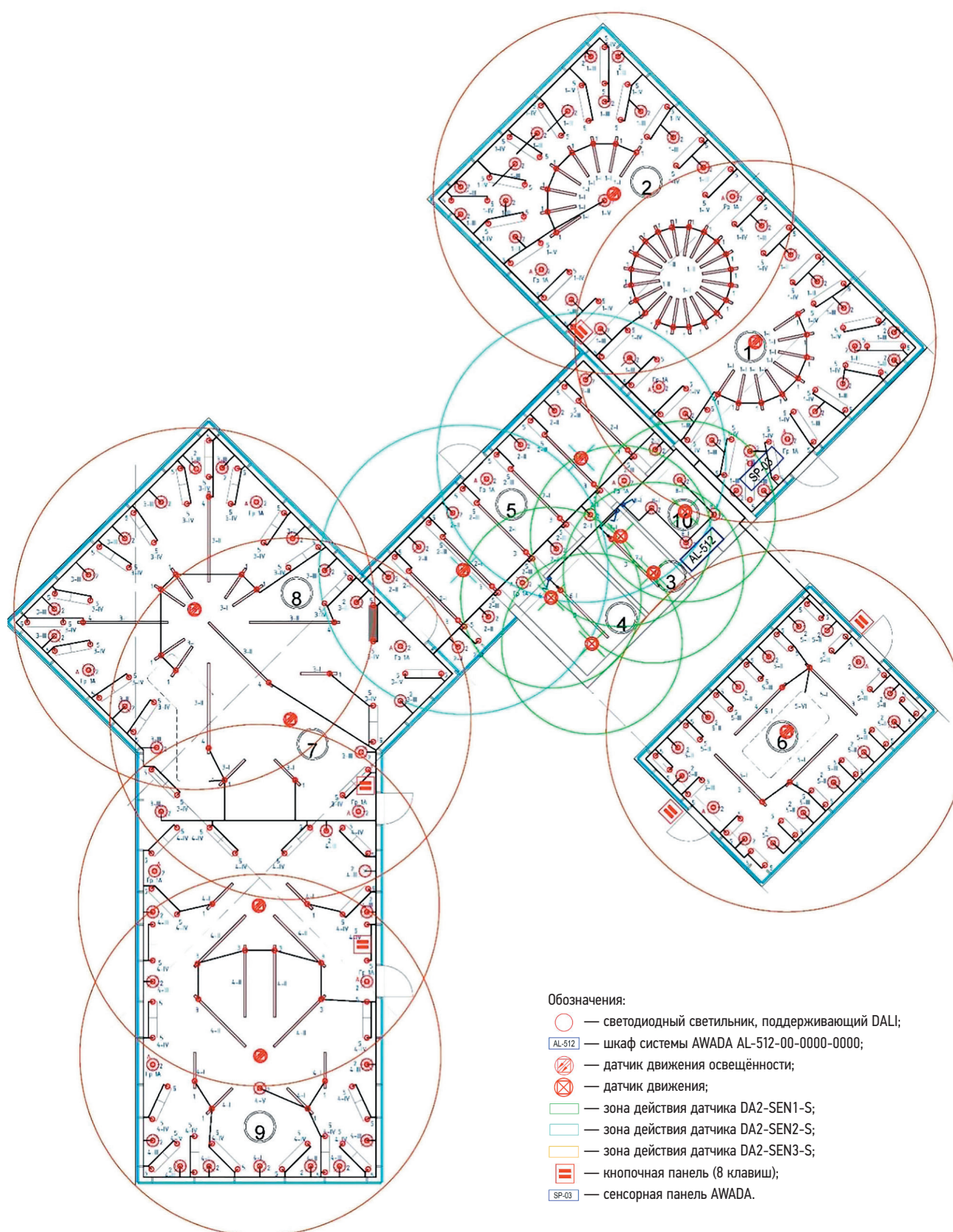


Рис. 9. Размещение оборудования с внедрением биодинамического освещения.

Fig. 9. Distribution of the equipment with implementation of the biodynamic lighting.

Таблица 5. Сравнение источников освещения
Table 5. Comparison of lighting sources

Применённые в проекте источники освещения	Биодинамические источники освещения
Светильник из массива (ясень белый), длина 1000 мм	Светильник SP-LINE-HANG-25100-L1010-21W MIX (WH, 120 deg, 230V) IP33
Светильник VILLY, потолочный накладной, 15Вт	Светильник MAG-ORIENT-SPOT-R45-12W Day4000-MIX (BK, 24 deg, 48V, DALI) (Arlight, IP20 Металл, 5 лет)
Светильник из массива (ясень белый), длина 2000 мм	Светильник SP-LINE-HANG-25100-L2010-42W MIX (WH, 120 deg, 230V) IP33
Светильник из массива (ясень белый), длина 2500 мм	Светильник SP-LINE-HANG-25100-L2410-51W MIX (WH, 120 deg, 230V) IP33
Лента светодиодная ПРО COB, 400 LED/м, 4,8 Вт/м, 24В, IP20, м	Лента COB-X576-10mm 24V White-MIX (9.6 W/m, IP20, 5m) (Arlight, Изменяемая ЦТ)

ВЫВОДЫ

В статье приведена разработка научных основ проектирования, предпосылки обеспечения биодинамического освещения в помещениях различного назначения, описаны условия для обоснования алгоритмов работы последнего, рассмотрена реализация элементов биодинамического освещения павильона «Дом.РФ». Разработан весь комплекс замены с разработкой эффективного, экологического и безопасного внедрения биодинамического освещения технического комплекса павильона, включающего создание, эксплуатацию компонентов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. С.В. Дегтярева — поиск публикаций по теме статьи, написание текста рукописи, создание таблиц; Б.Н. Сидоров — экспертная оценка, утверждение финальной версии; Д.Б. Лазарев — редактирование текста рукописи, создание изображений. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Идеальное решение для управления освещением [internet]. Дата обращения: 14.05.2024. Режим доступа: <https://awada.ru/>
2. Крупнейший финансовый институт [internet]. Дата обращения: 14.05.2024. Режим доступа: [https:// дом.рф/](https://дом.рф/)
3. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.

REFERENCES

1. The perfect solution for lighting control [internet]. Accessed 14.05.2024. Available from: <https://awada.ru/>
2. The largest financial institution [internet]. Accessed 14.05.2024. Available from: [https:// дом.рф/](https://дом.рф/)

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.
Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors’ contribution. S.V. Degtyareva — search for publications, writing the text of the manuscript, creating tables; B.N. Sidorov — expert opinion, approval of the final version; D.B. Lazarev — editing the text of the manuscript, creating images. Authors confirm the compliance of their authorship with the ICMJE international criteria. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.
Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.
Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

4. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.
5. Samiou A.I., Doulos L., Zerefos S. Daylighting and artificial lighting criteria that promote performance and optical comfort in preschool classrooms. Energy and Buildings // Energy and Buildings. 2021. Vol. 258. doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111819
6. Умный свет [internet]. Дата обращения: 30.05.2024. Режим доступа: <https://smartlight.elec.ru/>

3. SanPiN 2.2.1/2.1.1.1278-03. Hygienic requirements for natural, artificial and combined lighting of residential and public buildings. (In Russ.)
4. SP 52.13330.2016. Natural and artificial lighting. (In Russ.)

5. Samiou A, Doulos L, Zerefos S. Daylighting and artificial lighting criteria that promote performance and optical comfort in preschool classrooms. *Energy and Buildings*. Energy and Buildings. 2021;258. doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111819

6. Smart Light [accessed 14.05.2024]. Available from: <https://smartlight.elec.ru/>

ОБ АВТОРАХ

*** Дегтярева Светлана Вячеславовна,**
аспирант кафедры «Электротехника
и электрооборудование»;
адрес: Российская Федерация, 125319, Москва,
Ленинградский пр-т, д. 64;
ORCID: 0009-0003-4451-1048;
eLibrary SPIN: 3614-8100;
e-mail: 79055578879@yandex.ru

Сидоров Борис Николаевич,
д-р техн. наук, профессор,
профессор кафедры «Электротехника
и электрооборудование»;
ORCID: 0009-0007-0643-6373;
eLibrary SPIN: 8702-4237;
e-mail: nnn03@yandex.ru

Лазарев Дмитрий Борисович,
канд. техн. наук, доцент кафедры «Электротехника
и электрооборудование»;
ORCID: 0009-0003-7824-8639;
eLibrary SPIN: 1383-2187;
e-mail: lazarevdmity@mail.ru

AUTHORS' INFO

*** Svetlana V. Degtyareva,**
Postgraduate of the Electrical Engineering and Electrical
Equipment Department;
address: 64 Leningradsky avenue, 125319 Moscow,
Russian Federation;
ORCID: 0009-0003-4451-1048;
eLibrary SPIN: 3614-8100;
e-mail: 79055578879@yandex.ru

Boris N. Sidorov,
Dr. Sci. (Engineering), Professor,
Professor of the Electrical Engineering and Electrical Equipment
Department;
ORCID: 0009-0007-0643-6373;
eLibrary SPIN: 8702-4237;
e-mail: nnn03@yandex.ru

Dmitry B. Lazarev,
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor
of the Electrical Engineering and Electrical Equipment
Department;;
ORCID: 0009-0003-7824-8639;
eLibrary SPIN: 1383-2187;
e-mail: lazarevdmity@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author