

Проектирование экспозиционного освещения с учётом разрушающего воздействия света

С.Н. СИЗЫЙ

Студия *LiDS Lighting Design*, Москва
E-mail: sergey.sizy@lidstudio.org

Аннотация

Важная задача проектирования экспозиционного освещения музеев – нахождение баланса между условиями освещения, обеспечивающими хорошую видимость экспонатов и их сохранность от разрушающего светового воздействия. В статье представлено исследование, проведённое в рамках проектирования освещения зала Леонардо да Винчи в Государственном Эрмитаже. Оно основано на анализе данных, полученных при световом аудите, моделировании существующего естественного и искусственного освещения и сравнении результатов этих действий с требованиями актуальных нормативных документов по освещению музеев.

Результатом исследования служат обоснованные выводы о недостатках существующей системы освещения зала и проектное решение по модернизации осветительной установки с рекомендациями по корректировке количества и спектрального состава естественного и искусственного света, со схемой расстановки и нацеливания и спецификацией осветительного оборудования.

Исследование показывает: соблюдение нормируемой вертикальной освещённости на экспонатах не гарантирует того, что суммарная экспозиция на них от естественного и искусственного освещения не превышает допустимой по их сохранности.

Проведённый анализ обращает внимание на эту проблему, которая касается большинства музеев и картинных галерей, а разработанный проект освещения указанного зала демонстрирует простой и доступный способ её решения.

Ключевые слова: освещение музеев, экспозиционное освещение, световой аудит, разрушающее воздействие света, сохранность экспонатов, естественный свет, совмещённое освещение, расчёт естественного освещения, расчёт световой экспозиции, расчёт

совмещённого освещения, светочувствительные материалы, модернизация системы освещения, музей, Государственный Эрмитаж.

1. Введение

Освещение музеев – одно из самых сложных и ответственных направлений светодизайна. Важнейшая задача проектирования экспозиционного освещения – нахождение баланса между условиями освещения, обеспечивающими хорошую видимость экспонатов и их сохранность от разрушающего светового воздействия. Необходимы также правильное освещение интерьера музея, комфортные условия для его посетителей и подходящий эмоциональный фон, отражающий историю пространства и тематику экспозиции.

Чтобы найти решение этих задач на конкретном примере, Государственный Эрмитаж обратился к студии светодизайна *LiDS Lighting Design* за аудитом существующего освещения зала Леонардо да Винчи (зал № 214) и практическим исследованием влияния света на экспонаты с целью выявления потенциальных проблем и разработки альтернативного проектного решения, которое послужит примером в деле модернизации освещения других залов Эрмитажа и аналогичных помещений музеев.

2. Методы

Для оптимизации освещения зала Леонардо да Винчи была сформирована команда специалистов и разработан пошаговый план, содержащий следующие этапы и виды работ: анализ объекта; нормирование освещения; световой аудит существующего освещения; расчёт естественного освещения; расчёт существующего разрушающего воздействия света и выбор способов его снижения; расчёт оптимальных параметров искусственного освещения; выбор осветительного оборудования (ОО) и характеристик

осветительной установки (ОУ); расчёт совмещённого освещения с учётом проектных предложений; расчёт разрушающего воздействия света после модернизации ОУ.

Перед началом работ (февраль 2018 г.) был произведён поиск существующих методик исследования и проектирования экспозиционного освещения, позволяющих решить поставленный комплекс задач в соответствии с отечественной нормативной базой. Команда проекта не нашла в открытом доступе аналогичных проектов, на опыт которых можно было бы опереться, в связи с чем было разработано несколько новых методик, представленных ниже: в частности, комбинированное нормирование параметров освещения; аудит естественного освещения расчётным путём; расчёт годовой экспозиции от естественного освещения; расчёт разрушающего воздействия света с учётом его спектрального состава.

3. Результаты

Анализ объекта

Перед началом исследования и проектирования был проведён ознакомительный анализ объекта. Зал № 214 музея «Государственный Эрмитаж» [1, 2] находится на 2 этаже корпуса «Большой Эрмитаж».

Условия естественного освещения

12 окон зала расположены по одной стене в два яруса и выходят на Дворцовую набережную Невы. Северо-западная ориентация окон способствует ограниченному попаданию прямых солнечных лучей в помещение с сентября по апрель. Отсутствие затеняющих объектов напротив окон не препятствует проникновению прямого естественного света в помещение с мая по август, что несёт в себе негативное влияние на сохранность экспонатов и элементов интерьера.

Интерьер зала

Двусветный зал выполнен по проекту архитектора А.И. Штакеншнейдера в 1858 г. В его отделке преобладают светлые материалы с высоким коэффициентом отражения: сочетаются светлый стюк с цветным кам-

Список контрольных поверхностей

ПОВЕРХНОСТИ		МЕСТО В ИНТЕРЬЕРЕ	ОРИЕНТАЦИЯ
Экспонаты	Холст картины	На каждой из 4-х картин	Вертикально в сторону окна
	Фон картины	Вокруг каждой из 4-х картин	Вертикально в сторону окна
	Гобелен	На стене за центральными картинами	Вертикально в сторону окна
	Роспись потолка	Центральная фреска	Горизонтально в сторону пола
	Роспись стен	Фреска справа от центральной	Вертикально в сторону окна
Интерьер	Пол	Краевая зона 0,5 м	Горизонтально в сторону потолка
	Стены	На уровне глаз: 1,7 м	Вертикально в сторону окна
	Двери	На уровне глаз: 1,7 м	Вертикально в сторону окна
	Потолок	По бокам от центральной фрески	Горизонтально в сторону пола

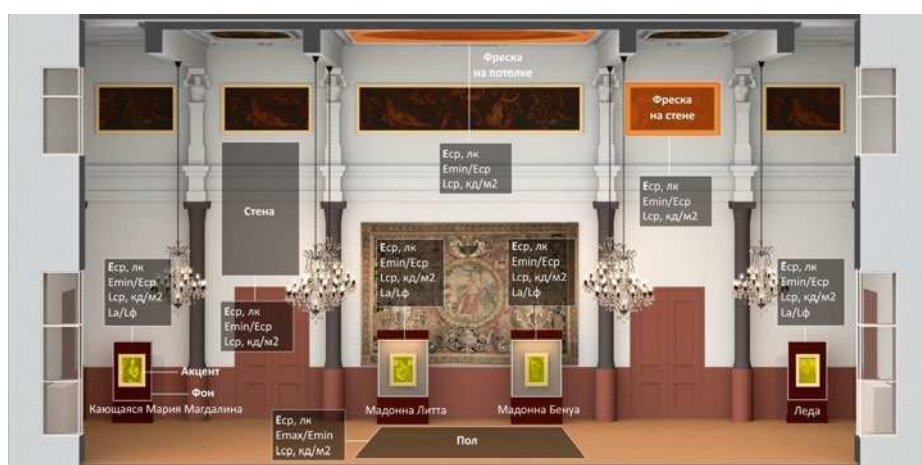


Рис. 1. Расчётные поверхности и контролируемые параметры освещения

нем (порфиновые и яшмовые колонны, лазуритовые вставки в мраморных каминах) и позолотой. Двери декорированы в стиле «буль» пластинками черепахового панциря и золочёной латуни, а потолок украшен масляными фресками. Шесть хрустальных люстр выполняют не только декоративную роль, но и освещают зал вечером. На окнах присутствуют светопрозрачные декоративные шторы. Таким образом, интерьер зала можно отнести к I группе светостойкости с элементами II группы.

Экспонаты

Зал предназначен для демонстрации картин эпохи Возрождения. В экспозиции представлены две картины раннего периода Леонардо да Винчи, написанные на холсте в технике масла и темперы, названные в честь своих прошлых владельцев, и две картины его последователей начала XVI в. Дан-

ные экспонаты можно отнести ко II группе светостойкости (масляная живопись). На продольной стене помещения, расположенной напротив окон, выставлен гобелен, который можно классифицировать как экспонат III группы (материалы, наиболее чувствительные к разрушающему воздействию света).

Выбор расчётных поверхностей и нормируемых значений

Для корректной оценки результатов аудита и расчётов освещения был составлен список контрольных поверхностей, а также определены их положение и ориентация в интерьере (табл. 1 и рис. 1).

На момент проведения работ (февраль 2018 г.) на территории России действовал ГОСТ [3]. Положения данного документа были положены в основу исследования. Стандарт рекомендует уровни освещённости в за-

висимости от назначения помещения музея и группы светостойкости экспонатов. Также регламентируется равномерность распределения освещённости (E_{\max}/E_{\min}) и яркости L в поле зрения наблюдателей ($L_{\text{ст}}/L_{\text{пот}}/L_{\text{с}}/L_{\text{пол}}$), как соотношение между максимальной яркостью светового проёма, к яркостям потолка и стен с минимальной яркостью, характерной для пола. Дополнительно ограничивается доля в спектральном составе света УФ и ИК компонентов. Сводные требования этого нормативного документа и рекомендации на их основе приведены в табл. 2.

Важно отметить, что данный норматив не учитывает предельно допустимого разрушающего воздействия света на экспонаты за год. Этот недостаток заставляет специалистов обращаться к международным нормативам и рекомендациям по освещению музеев. Среди них публикация МКО [4] рекомендует ограничение максимальной освещённости и годовой экспозиции на экспонатах. Для их соблюдения требуется снижать уровни освещения интерьера и освещённости на экспонатах.

На основании анализа нормативных документов нами разработана методика комбинированного нормирования параметров освещения. Итоговые нормируемые и рекомендуемые параметры освещения, учитывающие международный опыт, сведены в табл. 3 и 4 соответственно.

Световой аудит

Прежде чем приступать к проекту модернизации освещения следовало

Нормируемые параметры освещения согласно [3]

ОБЪЕКТЫ ОСВЕЩЕНИЯ		Группа светостойкости	НОРМИРУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ				
			[3]				
			$E_{ц}$, лк	E_{max}/E_{min}	Доля УФ изл., мкВт/лм	Доля ИК изл., мВт/лм	$L_{сп}/L_{пот}/L_c/L_{пол}$
Экспонаты	Картины, масло	II	75–150	–	20–45	50–70	10:5:3:1
	Гобелен, ткань	III	30–50	< 3:1	20–30	90–120	
	Роспись потолка	II	75–150	< 3:1	20–45	50–70	
	Роспись стен	II	75–150	< 3:1	20–45	50–70	
Интерьер	Пол, паркет	I–II	50–100	< 3:1	–	–	
	Стены и двери	I–II	75–150	< 3:1	–	–	
	Потолок	I	200–500	< 3:1	–	–	

получить актуальную информацию о текущих характеристиках световой среды и параметрах ОУ. Для этого в зимний период (14 февраля 2018 г.) с 13:00 (день) до 18:45 (вечер) в зале № 214 проводился световой аудит систем естественного, искусственного и совмещённого освещения в разных сценариях. В процессе аудита измерялись количественные, качественные и спектральные характеристики с помощью спектрометра *UPRtek MK350D LED* (Тайвань), люксметра и яркомера *RADEX LUPIN* (Россия).

Совмещённое освещение – основной сценарий освещения в исследуемом зале. Одновременно с естественным освещением работает система искусственного освещения: рассеянный свет люстр и акцентирующее освещение картин прожекторами. Результаты измерений на 13:00 в пасмурную погоду приведены на рис. 2.

Естественное освещение. Для определения вклада естественного света в итоговые параметры освещения, отдельно проводился аудит с выключенным искусственным освещением. В итоге: измеренная освещённость поверхностей интерьера (горизонтальная для пола, вертикальная для стен и дверей) превышает норму. Измеренная вертикальная освещённость картин составляет 81–115 лк, что говорит о превышении норм даже при отсутствии дополнительного искусственного освещения. Результаты измерений на 13:30 приведены на рис. 3.

Искусственное освещение проанализировано в вечернем сценарии, когда используется 2 вида освещения:



Рис. 2. Результаты аудита системы совмещённого освещения

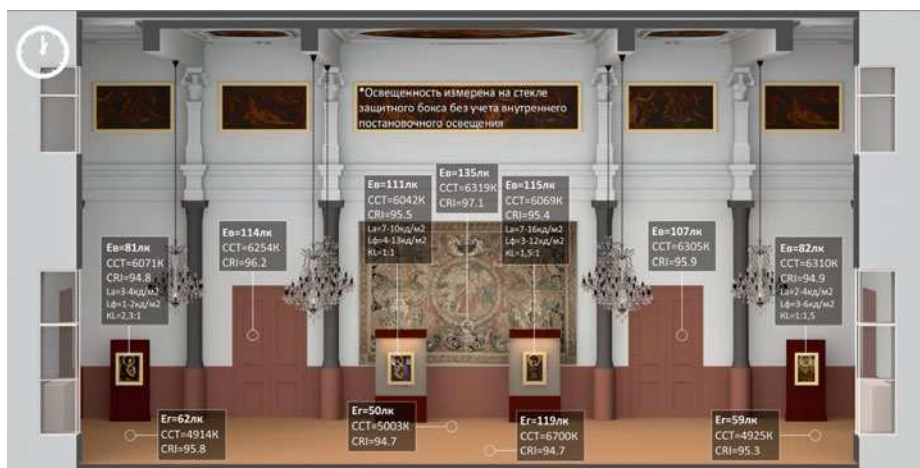


Рис. 3. Результаты аудита системы естественного освещения

рассеянный свет люстр и акцентирующее освещение картин прожекторами. Для интерьерного освещения используются люстры со светодиодными лампами тёпло-белого света с $T_{ки}$ (CCT) 2700 K. Для экспозиционного освещения использованы прожекто-

ры с ГЛН ($T_{ки}$ 3000 K). Освещённость на всех картинах выше – 50 лк, а их яркостный контраст с фоном не превышает 1,4: 1, что усложняет видимость картин для посетителей музея. Результаты измерений на 18:00 приведены на рис. 4.



Рис. 4. Результаты аудита системы искусственного комбинированного освещения

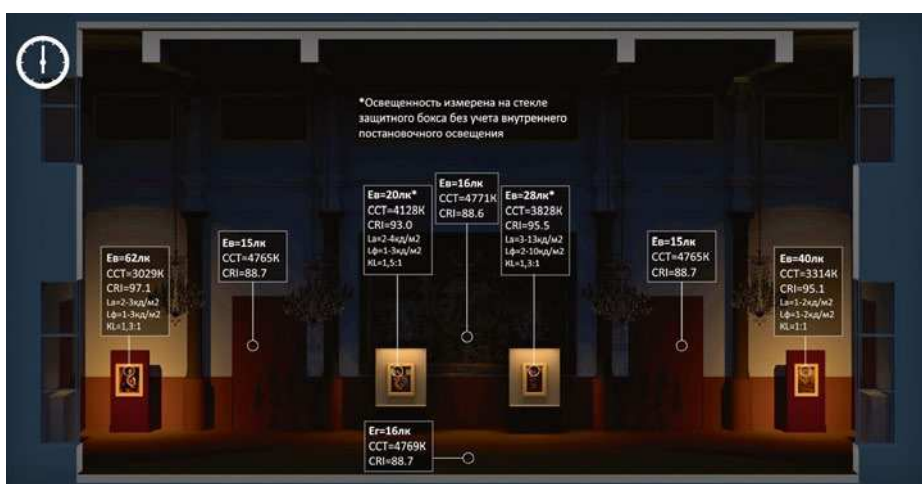


Рис. 5. Результаты аудита системы искусственного акцентированного освещения

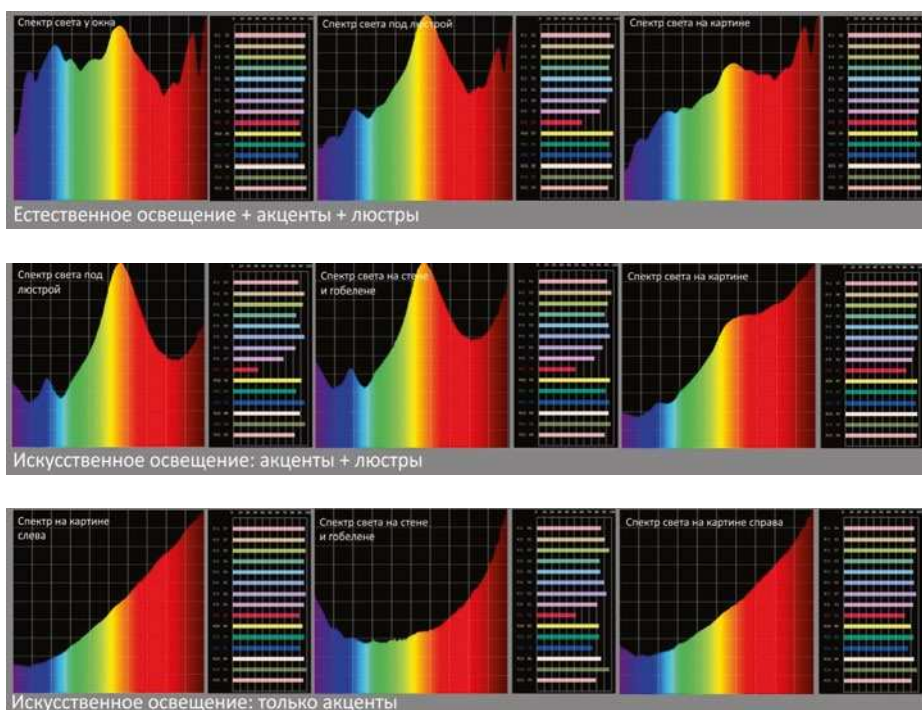


Рис. 6. Результаты спектрального аудита системы освещения

Акцентированное освещение. Драматический сценарий без интерьерного освещения с использованием только акцентированного освещения картин в данный момент не используется. Измерения в данном режиме были проведены, чтобы понять вклад экспозиционного освещения в общую освещённость на картинах. Измерения показали, что акцентированное освещение вносит основной вклад в освещённость на картинах в тёмное время суток. При этом свет освещает не только картину, но и её фон, что не способствует повышению контраста яркости. Результаты измерений на 18:30 приведены на рис. 5.

Измерение спектрального состава излучения. Для более полного анализа существующей системы освещения в каждом из вышеописанных сценариев фиксировался спектральный состав и на его основе определялись реальная $T_{кц}$ и индекс цветопередачи R_a (CRI). Результаты измерений представлены на рис. 6. Стоит заметить, что в спектре естественного света не мал уровень УФ и ИК составляющих. Это говорит об отсутствии специальных светозащитных фильтров. Кроме того, используемые ГЛН привносят значительную долю УФ и ИК излучений. Результаты спектрального аудита демонстрируют потенциальную опасность в виде высокого разрушающего воздействия света на экспонаты.

Моделирование и расчёт существующей системы естественного освещения

Необходимость моделирования условий естественного освещения вызвана тем, что именно оно вносит основной вклад в разрушающее воздействие света на экспонаты, а потому о нём надо судить более точно. По результатам измерений была создана 3D-модель зала с имитацией условий естественного освещения в разные время суток и дни года для двух типов небосвода: ясного и облачного.

Измерение спектральной пропускной способности существующих окон. В некоторых помещениях Эрмитажа сохранились исторические стёкла. С помощью спектрометра был измерен итоговый спектр естественного света (зима, полдень, 13:00) после его взаимодействия с каждым из 6 нижних окон зала № 214. Стоит от-

Комбинация рекомендуемых параметров освещения согласно [3, 4]

Объекты освещения	Группа свето-стойкости	Рекомендуемые параметры			
		E_{ϕ} , лк	E_a , лк	L_a/L_{ϕ}	
Экспонаты	Картины, масло	II	30	50	3:1–5:1
	Гобелен, ткань	III	30–50		–
	Роспись потолка		100		–
	Роспись стен	II	50–75		–
Интерьер	Пол, паркет	I–II	30		–
	Стены и двери	I–II	50		–
	Потолок	I	50–75		–

Месяц	Время	Пол	Гобелен	Фреска на стене	Фреска на потолке	Стекло	Кладовые	Мрамор	Мрамор	Мрамор	Лито	Месяц	Время	Пол	Гобелен	Фреска на стене	Фреска на потолке	Стекло	Кладовые	Мрамор	Мрамор	Мрамор	Лито												
																								Среднее	Максимум	Среднее	Максимум	Среднее	Максимум						
Январь	10:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Июль	10:00	92,1	106,0	60,5	23,1	116,0	166,0	227,0	224,0	165,0													
	12:00	32,7	39,7	22,3	7,9	43,5	99,2	46,4	85,0	43,4			12:00	96,0	112,0	64,5	23,4	127,0	176,0	252,0	243,0	169,0													
	15:00	21,6	25,3	14,0	5,2	26,7	37,3	53,6	54,1	41,6			15:00	106,0	112,0	62,9	24,6	122,0	159,0	241,0	231,0	176,0													
	18:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			18:00	147,0	145,0	75,5	33,7	166,0	229,0	296,0	296,0	181,0													
	21:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			21:00	489,0	812,0	127,0	93,1	645,0	389,0	429,0	423,0	203,0													
	Ср.	10,9	13,0	7,3	2,6	14,0	19,3	27,8	27,8	21,0			Ср.	146,4	257,4	76,1	36,4	235,6	224,8	288,8	283,4	182,8													
Февраль	10:00	22,9	27,2	15,3	5,4	30,8	42,3	59,4	61,0	42,8		Август	10:00	89,7	99,8	57,5	20,9	114,0	167,0	218,0	227,0	148,0		10:00	100,0	134,0	69,8	30,6	151,0	214,0	275,0	270,0	172,0		
	12:00	50,8	60,9	35,6	12,3	67,8	96,6	133,0	137,0	105,0			12:00	97,2	113,0	65,3	23,4	127,0	174,0	245,0	246,0	177,0													
	15:00	42,8	49,3	28,0	10,4	53,1	69,2	107,0	110,0	83,3			15:00	102,0	113,0	63,3	24,1	123,0	164,0	242,0	232,0	174,0													
	18:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			18:00	149,0	149,0	85,0	48,6	149,0	219,0	309,0	309,0	149,0													
	21:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			21:00	500,0	812,0	127,0	93,1	645,0	389,0	429,0	423,0	203,0													
	Ср.	23,3	27,5	15,8	5,6	30,3	42,0	59,9	61,6	46,2			Ср.	120,0	171,0	68,2	29,5	192,0	195,4	261,4	262,8	162,2													
Март	10:00	53,1	64,7	35,5	12,9	72,2	96,7	144,0	142,0	102,0		Сентябрь	10:00	74,7	89,7	50,2	18,2	109,0	144,0	193,0	201,0	136,0		10:00	54,2	65,0	36,9	13,1	72,6	107,0	140,0	144,0	101,0		
	12:00	74,3	90,4	52,2	18,1	101,0	139,0	199,0	201,0	153,0			12:00	91,1	112,0	63,9	22,1	126,0	177,0	249,0	249,0	173,0													
	15:00	68,8	79,9	44,4	16,5	84,9	118,0	171,0	175,0	126,0			15:00	95,8	108,0	61,3	22,8	117,0	196,0	237,0	236,0	176,0													
	18:00	17,7	20,5	11,5	4,5	23,1	35,8	43,2	43,5	37,1			18:00	97,9	109,0	56,7	23,5	119,0	177,0	218,0	228,0	134,0													
	21:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			21:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0													
	Ср.	42,7	50,9	28,9	10,4	56,4	76,1	111,4	112,3	81,4			Ср.	71,9	82,9	46,4	17,3	82,2	130,8	178,8	182,4	124,2													
Апрель	10:00	65,9	79,7	44,7	16,1	89,7	125,0	175,0	173,0	124,0		Октябрь	10:00	43,1	52,0	29,6	10,3	56,4	67,4	111,0	119,0	63,9		10:00	54,2	65,0	36,9	13,1	72,6	107,0	140,0	144,0	101,0		
	12:00	87,4	107,0	61,8	21,2	121,0	172,0	243,0	239,0	174,0			12:00	80,0	99,0	56,0	19,4	111,0	148,0	216,0	211,0	158,0													
	15:00	91,4	105,0	60,1	21,9	115,0	150,0	224,0	229,0	176,0			15:00	81,6	93,5	53,7	19,6	103,0	135,0	206,0	210,0	159,0													
	18:00	20,7	24,0	12,4	5,0	26,0	39,0	46,0	46,0	39,0			18:00	53,2	59,9	33,2	13,2	66,5	99,9	126,0	127,0	86,1													
	21:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			21:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0													
	Ср.	65,5	78,3	43,2	15,9	85,5	119,6	165,8	166,4	117,4			Ср.	53,8	63,5	36,0	13,0	76,6	97,8	137,2	136,4	100,4													
Май	10:00	83,8	99,1	56,1	20,4	111,0	161,0	221,0	219,0	149,0		Ноябрь	10:00	61,5	74,7	43,3	14,9	82,4	111,0	161,0	165,0	123,0		10:00	48,1	53,4	30,0	11,1	58,1	79,7	112,0	113,0	67,3		
	12:00	106,1	115,0	56,1	23,0	106,0	177,0	243,0	250,0	180,0			12:00	81,5	94,7	43,3	14,9	82,4	111,0	161,0	165,0	123,0													
	15:00	100,0	113,0	62,5	22,7	122,0	162,0	246,0	241,0	175,0			15:00	48,1	53,4	30,0	11,1	58,1	79,7	112,0	113,0	67,3													
	18:00	120,0	124,0	66,4	28,5	141,0	202,0	259,0	250,0	182,0			18:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0													
	21:00	65,5	139,0	92,7	20,6	176,0	167,0	291,0	293,0	83,4			21:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0													
	Ср.	92,9	122,0	66,8	23,2	135,2	173,8	259,0	250,8	149,9			Ср.	30,1	36,0	26,6	7,3	39,8	54,6	77,0	79,4	58,8													
Июнь	10:00	91,3	106,0	60,4	22,0	118,0	167,0	226,0	232,0	170,0		Декабрь	10:00	14,6	17,8	9,6	3,5	19,6	25,9	37,9	39,2	26,8		10:00	39,8	46,9	26,4	9,3	51,2	69,9	106,0	103,0	76,0		
	12:00	97,7	112,0	64,7	22,4	127,0	177,0	240,0	254,0	180,0			12:00	23,0	26,4	15,0	5,8	29,8	39,8	57,8	56,8	43,6													
	15:00	106,0	112,0	63,0	24,5	124,0	169,0	242,0	236,0	180,0			15:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0													
	18:00	140,0	140,0	73,9	33,3	163,0	242,0	304,0	290,0	194,0			18:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0													
	21:00	30,0	62,0	113,0	37,1	190,0	344,0	393,0	374,0	196,0			21:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0													
	Ср.	154,4	219,8	75,0	30,1	244,4	219,6	380,0	377,0	181,4			Ср.	15,3	18,1	10,3	3,7	19,9	26,9	40,3	38,6	29,3													

Рис. 9. Результаты расчёта естественного освещения по месяцам года для ясной погоды

и 9. Учитывая равный промежуток времени между интервалами времени (кроме первого) среднюю освещённость на экспонатах за день можно определять как среднее арифметическое освещённостей во всех контрольных временных точках: 10:00, 12:00, 15:00, 18:00 и 21:00. При этом возникающей погрешностью расчётов можно пренебречь как не имеющей значения в масштабах года и меньшей изменений освещённости из-за отличия реальных погодных условий от типовых, принятых в расчёте.

На основании расчётных данных, полученных в программе «DIALux EVO», были вычислены косвенные расчётные параметры естественного освещения: освещённость в промежуточную погоду (переменная облачность в 50 и 75 %); экспозиция и разрушающее воздействие естественного света на экспонаты в течении года.

Расчёт разрушающего воздействия естественного света

Нормируемые значения допустимой экспозиции в год суммарно от естественного и искусственного освещения на экспонатах II и III групп свето-стойкости не должны превышать 150 и 15 клк·ч соответственно.

Время экспозиции экспонатов рассчитано из предположения, что во время нерабочего времени музея окна закрыты плотными шторами, так что естественный свет может попадать на картины только во время работы музея. Время экспозиции с учётом реального времени работы музея по дням недели составило 2664 ч в год.

Количество дней с разными погодными условиями влияет на количество естественного света, поступающего в помещение и попадающего на картины, и было взято из «днев-

ника погоды» на сайте [5] на примере 2017 г., предшествовавшего году проведения аудита.

Расчёт разрушающего воздействия – годовой экспозиции (в клк·ч/г) выполнен на примере одной из наиболее освещённых картин в зале «Мадонна Литта» с учётом коэффициента, учитывающего отличие спектральных характеристик конкретного источника света от эталонного (ГЛН или ЛЛ с $T_{ки}$ 4000 К), использованного при нормировании экспозиции в рекомендациях МКО. Из-за высокой УФ доли в итоговом спектре естественного света коэффициент разрушающего воздействия принят равным 1,9¹. Результаты расчёта приведены в табл. 5.

Выводы из анализа существующих условий естественного освещения

По результатам расчёта с учётом реального изменения условий в течение года было выявлено, что средняя освещённость за год на картине «Мадонна Литта» составляет 99,5 лк, а максимальная может достигать 929 лк. При этом суммарное разрушающее воздействие естественного света составляет 544 клк·ч/г, что в 3,5 раза превышает допустимую норму для экспонатов II группы светостойкости.

Данная ситуация требует немедленной модернизации системы освещения с использованием специаль-

¹ Коэффициент разрушающего воздействия принят для естественного света, проходящего через двойное оконное стекло без УФ фильтра, по данным исследования, приведённых в [6, s. 32, tab. «Relative damage potential of light sources»].

Расчёт существующего значения годового разрушающего воздействия естественного света для картины «Мадонна Литта»

Месяц	Количество дней / Средняя освещённость за день								Время экспозиции, ч	Экспозиция, лк·ч
	Ясно, 100 %		Малооблачно, 75 %		Облачно, 50 %		Пасмурно, 0 %			
	Кол-во дней	E, лк	Кол-во дней	E, лк	Кол-во дней	E, лк	Кол-во дней	E, лк		
Январь	7	27,8	2	23,0	2	18,3	20	8,7	219,0	6055,6
Февраль	4	59,9	4	50,0	1	40,2	19	20,4	204,0	12008,0
Март	8	111,4	4	94,1	1	76,8	18	42,1	232,5	29954,2
Апрель	3	165,8	6	142,7	4	119,7	17	73,5	219,0	42745,3
Май	8	250,0	9	213,2	7	176,3	7	102,6	226,5	81497,9
Июнь	6	280,0	10	240,4	4	200,7	10	121,4	222,0	85770,2
Июль	4	288,8	8	247,8	7	206,8	12	124,8	219,0	81646,9
Август	5	381,4	8	314,1	7	246,7	11	112,0	229,5	103784,1
Сентябрь	7	178,8	4	155,0	4	131,2	15	83,6	222,0	51324,6
Октябрь	0	137,2	2	116,8	4	96,4	25	55,5	219,0	26931,7
Ноябрь	4	77,0	2	64,8	3	52,6	21	28,1	222,0	16665,3
Декабрь	0	40,3	1	33,3	0	26,3	30	12,2	229,5	5616,3
ИТОГО	56	166,5	60	141,3	44	116,0	205	65,4	2664,0	544000,1

ных светозащитных материалов и аксессуаров.

4. Проектирование

Выбор дополнительных затемняющих и солнцезащитных материалов

По результатам предварительных расчётов и натурных экспериментов в качестве оптимального светозащитного элемента для окон была выбрана затемняющая УФ плёнка компании *LLumar*, марка: *R35SRCDF* (серебряная), с коэффициентом пропускания 28 %. Её использование дало возможность снизить разрушающее воздействие естественного света до нормируемых значений. В теории это позволит увеличить допустимую освещённость от совмещённого освещения на картинах до 70 лк без нарушения норм предельного разрушающего воздействия света на экспонаты.

Определение изменений потенциального влияния естественного света

Для получения точных данных об изменениях условий естественного



Рис. 10. Расчёт искусственного комбинированного освещения и схема локального затемнения картин

освещения с учётом дополнительных затемняющих устройств были проведены повторные расчёты, на основании которых было определено разрушающее воздействие естественного света для каждой из четырёх картин в зале. Результаты расчёта для картины «Мадонна Литта» приведены в табл. 6. В результате применения затемня-

ющей УФ плёнки на окнах помещения разрушающее воздействие от естественного света удалось ослабить более чем в 7 раз по сравнению с результатами аудита.

Определение допустимого уровня искусственного освещения производится по остаточному принципу на основании разницы между норми-

Расчёт освещённости и разрушающего воздействия естественного света для картины «Мадонна Литга»

Месяц	Количество дней / Средняя освещённость за день								Время экспозиции, ч	Экспозиция, лк·ч
	Ясно, 100 %		Малооблачно, 75 %		Облачно, 50 %		Пасмурно, 0 %			
	Кол-во дней	E, лк	Кол-во дней	E, лк	Кол-во дней	E, лк	Кол-во дней	E, лк		
Январь	7	7,9	2	6,6	2	5,2	20	2,5	219,0	818,9
Февраль	4	16,4	4	13,8	1	11,2	19	5,9	204,0	1599,6
Март	8	30,8	4	26,2	1	21,5	18	12,2	232,5	3996,7
Апрель	3	45,4	6	40,1	4	33,8	17	21,2	219,0	5751,4
Май	8	70,7	9	60,4	7	50,2	7	29,6	226,5	10966,3
Июнь	6	78,0	10	67,3	4	56,6	10	35,2	222,0	11451,2
Июль	4	80,8	8	69,6	7	58,5	12	36,1	219,0	10952,1
Август	5	127,2	8	103,5	7	79,8	11	32,4	229,5	15851,0
Сентябрь	7	49,8	4	43,4	4	37,0	15	24,1	222,0	6869,1
Октябрь	0	38,9	2	33,2	4	27,5	25	16,0	219,0	3663,2
Ноябрь	4	22,0	2	18,5	3	15,1	21	8,1	222,0	2266,4
Декабрь	0	11,2	1	9,3	0	7,4	30	3,5	229,5	761,4
ИТОГО	56	48,3	60	41,0	44	33,6	205	18,9	2664,0	74947,4

Таблица 7

Расчёт освещённости и разрушающего воздействия естественного света для картины «Мадонна Литга» с учётом плёнки, 70 %

Месяц	Количество дней / Средняя освещённость за день								Время экспозиции, ч	Экспозиция, лк·ч
	Ясно, 100 %		Малооблачно, 75 %		Облачно, 50 %		Пасмурно, 0 %			
	Кол-во дней	E, лк	Кол-во дней	E, лк	Кол-во дней	E, лк	Кол-во дней	E, лк		
Январь	7	5,5	2	4,6	2	3,6	20	1,8	219,0	573,2
Февраль	4	11,5	4	9,6	1	7,3	19	4,1	204,0	1119,7
Март	8	21,6	4	18,3	1	15,1	18	8,5	232,5	2797,7
Апрель	3	32,5	6	28,1	4	23,7	17	14,8	219,0	4026,0
Май	8	49,5	9	42,3	7	35,1	7	20,7	226,5	7676,4
Июнь	6	54,6	10	47,1	4	39,6	10	24,6	222,0	8015,8
Июль	4	56,6	8	48,7	7	40,9	12	25,3	219,0	7666,5
Август	5	89,0	8	72,5	7	55,9	11	22,7	229,5	11095,7
Сентябрь	7	34,9	4	30,4	4	25,9	15	16,9	222,0	4808,4
Октябрь	0	27,2	2	23,2	4	19,2	25	11,2	219,0	2564,2
Ноябрь	4	15,4	2	13,0	3	10,5	21	5,7	222,0	1586,5
Декабрь	0	7,8	1	6,5	0	5,1	30	2,5	229,5	533,0
ИТОГО	56	33,8	60	28,7	44	23,5	205	13,2	2664,0	52463,1

руемым уровнем допустимого разрушающего воздействия и рассчитанным (по примеру табл. 6) вкладом естественного света в это воздействие. При этом распределение доли искусственного света на общее и акцентирующее освещение следует из логики минимального контраста объекта (экспоната) с фоном (задником) как 2:1 по освещённости в пользу объекта.

Использование вторичных затеняющих элементов

Несмотря на принятые меры по снижению разрушающего воздействия света, ситуация не позволяла полноценно использовать общее освещение в масштабе, достаточном для демонстрации исторического интерьера и его декоративных элементов.

Чтобы повысить допустимый возможный уровень общего интерьерного освещения в помещении пришлось прибегнуть к дополнительным мерам локального затенения экспонатов (рис. 10). Так, для затенения крайних картин использована плёнка UVCLSRPS, с коэффициентом пропускания 84 %, а для картин в боксах – плёнка N1065SRCDF, с коэффициентом пропускания 70 %.

На основании расчёта естественного освещения с учётом локальных затеняющих приборов было определено актуальное разрушающее воздействие естественного света для каждой из четырёх картин. Результаты расчёта для картины «Мадонна Литта» приведены в табл. 7.

Расчёт искусственного освещения с учётом вторичных затеняющих материалов

Для понимания суммарного разрушающего воздействия системы совмещённого освещения и выбора требуемых характеристик ОО для общего и акцентирующего освещения был выполнен расчёт искусственного освещения в программе «DIALux EVO» с использованием точной модели зала № 214.

Прежде всего был определён оптимальный световой поток светодиодных ламп, используемых в декоративных люстрах. Наиболее близкие к требуемым параметры искусственного освещения были достигнуты при использовании светодиодной лампы с



Рис. 11. Расчёт освещённости и яркости картин от комбинированного освещения с учётом рекомендаций [3, 4]

Месяц	Время	Пол	Искусственное освещение							
			Фреска на стене	Фреска на люковом	Стена	Княжеская Мария Магдалена	Мадонна Литта	Мадонна Бенуа	Леда	
Освещённость, лк			33,5	70,0	106,0	50,2	56,4	51,1	52,0	58,2
Январь	10:00		33,5	70,0	106,0	50,2	56,4	51,1	52,0	58,2
	12:00		40,1	71,8	107,2	54,6	61,5	58,7	59,8	63,7
	15:00		37,9	71,2	106,8	53,1	58,8	56,1	57,1	61,8
	18:00		33,5	70,0	106,0	50,2	56,4	51,1	52,0	58,2
	21:00		33,5	70,0	106,0	50,2	56,4	51,1	52,0	58,2
Ecp, лк			35,7	70,6	106,4	51,7	58,1	53,6	54,6	60,0
Февраль	10:00		37,7	71,1	106,8	53,0	59,6	56,0	56,9	61,7
	12:00		45,0	73,1	108,1	57,9	65,2	64,3	65,4	67,7
	15:00		43,5	72,7	107,8	56,9	64,1	62,6	63,7	65,5
	18:00		33,5	70,0	106,0	50,2	56,4	51,1	52,0	58,2
	21:00		33,5	70,0	106,0	50,2	56,4	51,1	52,0	58,2
Ecp, лк			38,8	71,4	106,9	53,6	60,3	57,0	58,0	62,3
Март	10:00		45,8	73,3	108,2	56,4	63,8	60,2	60,4	64,4
	12:00		53,3	75,3	109,6	63,4	71,8	73,8	75,1	74,8
	15:00		51,7	74,9	108,2	62,4	70,3	72,0	73,3	73,2
	18:00		36,2	70,7	106,5	52,0	58,5	54,2	55,2	60,8
	21:00		33,5	70,0	106,0	50,2	56,4	51,1	52,0	58,2
Ecp, лк			44,1	72,9	107,9	57,3	64,5	63,3	64,4	67,0
Апрель	10:00		50,7	74,7	109,1	61,7	69,6	70,9	72,1	72,4
	12:00		60,7	77,3	110,8	68,3	77,2	82,3	83,7	80,6
	15:00		63,6	78,1	111,4	70,3	79,4	85,6	87,2	83,1
	18:00		51,4	74,8	108,2	62,1	70,1	71,6	72,9	73,0
	21:00		33,5	70,0	106,0	50,2	56,4	51,1	52,0	58,2
Ecp, лк			52,0	75,9	109,3	62,5	70,5	72,3	73,8	73,5
Май	10:00		59,3	77,0	110,6	67,4	76,2	80,7	82,2	79,5
	12:00		68,7	79,5	112,3	73,7	83,3	91,4	93,1	87,2
	15:00		70,9	80,1	112,7	75,2	85,0	94,0	96,7	88,1
	18:00		56,6	76,8	110,5	67,0	75,6	79,8	81,3	78,9
	21:00		38,9	71,5	107,0	53,8	60,5	57,3	58,5	62,8
Ecp, лк			59,3	77,0	110,6	67,4	76,1	80,7	82,1	79,5
Июнь	10:00		64,1	78,2	111,4	70,6	79,8	86,2	87,7	83,4
	12:00		73,1	80,7	113,0	76,6	86,7	96,5	98,2	90,9
	15:00		75,3	81,3	113,4	78,1	88,4	99,1	100,9	92,7
	18:00		63,6	78,1	111,4	70,3	79,4	85,6	87,1	83,0
	21:00		44,6	73,0	108,0	57,6	64,9	63,0	65,0	67,4
Ecp, лк			64,1	78,2	111,5	70,6	79,8	86,3	87,8	83,5

Рис. 12. Результаты расчёта совмещённого освещения для пасмурной погоды

$T_{\text{кл}} 3000 \text{ K}$ и мощностью 2 Вт. Использование более мощных ламп не позволяло обеспечить необходимый контраст экспонатов с фоном. Для выравнивания освещённости стен и потолка добавлено отражённое от потолка освещение, организованное с помощью компактных линейных светильников с выносным блоком питания и асимметричной оптикой, установленных на карнизе между первым и вторым ярусом интерьера. К общему освещению также добавлено акцентирующее освещение боковых картин прожекторами со светодиодами и профилирующей оптикой.

Результат расчёта освещённости в фиктивных цветах приведён на рис. 10.

Подробные результаты расчётов освещённости и яркости картин представлены на рис. 11. Важно обратить внимание на отрицательный контраст яркости (фон ярче объекта) картин, расположенных в боксах. Напротив, на картинах, расположенных по бокам, благодаря использованию прожекторов с профилирующей оптикой, достигнут 2- и 4-кратный положительный яркостный контраст, что обеспечит их хорошую видимость.

Месяц	Время	Пол	Фреска на стене	Фреска на потолке	Стена	Копия Марин Мадонна	Мадонна Литта	Мадонна Бука	Пид
Искусственное освещение									
Совмещённое освещение									
10:00	33,5	70,0	106,0	50,2	56,4	51,1	52,0	58,2	
12:00	42,7	76,3	106,1	62,1	73,0	75,9	77,5	77,1	
15:00	38,5	74,2	107,4	57,7	66,0	66,0	67,5	70,4	
18:00	33,5	70,0	106,0	50,2	56,4	51,1	52,0	58,2	
21:00	33,5	70,0	106,0	50,2	56,4	51,1	52,0	58,2	
Есп.лк	36,5	72,1	106,7	54,1	61,6	59,0	59,8	64,4	
10:00	39,9	74,4	107,5	58,7	69,3	68,0	68,4	70,2	
12:00	47,6	80,5	109,3	69,9	81,2	87,3	97,0	89,5	
15:00	45,5	78,4	108,8	65,1	74,1	80,0	80,8	84,9	
18:00	33,5	70,0	106,0	50,2	56,4	51,1	52,0	58,2	
21:00	33,5	70,0	106,0	50,2	56,4	51,1	52,0	58,2	
Есп.лк	40,0	74,7	107,5	58,6	67,5	67,5	69,2	72,2	
10:00	48,2	80,5	109,5	70,2	82,4	92,0	90,2	90,2	
12:00	54,2	85,3	110,9	79,1	95,6	104,8	109,8	103,1	
15:00	52,3	83,0	110,5	75,9	88,2	97,9	100,4	95,5	
18:00	38,4	73,5	107,2	58,6	66,1	63,6	64,4	66,9	
21:00	33,5	70,0	106,0	50,2	56,4	51,1	52,0	58,2	
Есп.лк	45,3	78,5	108,8	65,8	77,7	81,9	83,2	82,6	
10:00	51,9	83,0	110,4	74,5	89,0	100,7	98,4	92,9	
12:00	58,0	88,2	111,8	80,0	105,8	117,0	119,5	106,1	
15:00	59,0	87,5	112,0	82,2	101,4	116,0	114,1	108,0	
18:00	38,6	84,8	111,5	78,6	103,4	102,9	104,0	99,5	
21:00	33,5	70,0	106,0	50,2	56,4	51,1	52,0	58,2	
Есп.лк	51,8	82,7	110,3	73,7	91,1	97,5	96,2	91,1	
10:00	58,8	88,7	111,5	80,6	103,2	111,1	113,3	100,3	
12:00	60,1	89,0	112,3	85,0	108,6	118,3	121,9	114,9	
15:00	61,4	88,6	112,5	83,7	100,4	115,9	117,8	109,3	
18:00	68,8	88,9	113,7	89,8	112,6	121,9	122,3	107,2	
21:00	51,8	87,2	111,5	80,3	102,5	141,8	139,9	81,0	
Есп.лк	60,4	90,1	112,3	87,6	105,5	121,8	122,3	102,5	
10:00	59,0	87,6	112,0	82,3	103,4	116,2	114,9	108,3	
12:00	60,7	88,8	112,6	88,2	106,7	120,0	120,1	107,0	
15:00	63,1	88,5	113,0	84,8	100,8	118,4	116,2	106,8	
18:00	74,0	91,6	115,0	96,4	126,4	133,6	131,4	114,6	
21:00	129,3	101,4	126,4	253,2	149,9	198,1	192,0	113,7	
Есп.лк	77,2	91,6	115,8	120,2	119,2	129,1	128,9	110,1	

Рис. 13. Результаты расчёта совмещённого освещения для ясной погоды

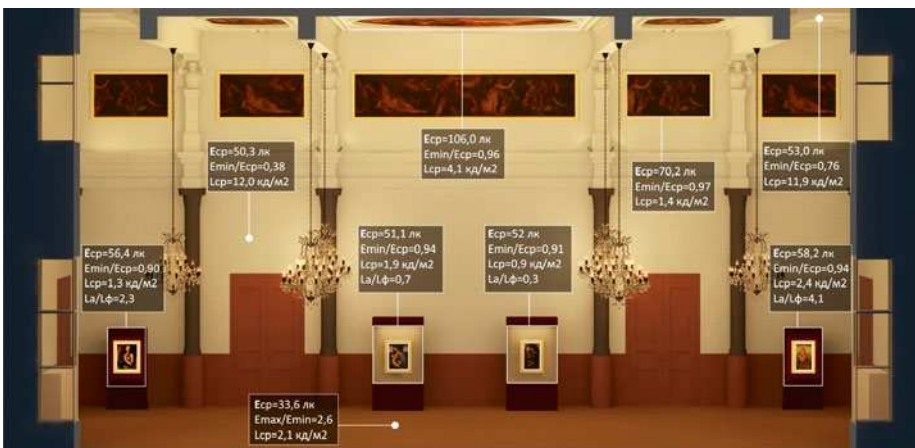


Рис. 14. Визуализация освещения с указанием расчётных параметров искусственного освещения от предлагаемой проектом осветительной установки

Расчёт разрушающего воздействия света на гобелен

На основании расчёта естественного и искусственного освещения был проведён расчёт разрушающего воздействия света на гобелен. Расчёт показал, что потенциальное разрушающее воздействие только естественного света превышает допустимое для материалов III группы светостойкости (15 клк·ч). Поэтому, было рекомендовано перенести данный экспонат в зал без доступа естественного света.

Итоговый расчёт совмещённого освещения

Для понимания общего значения совмещённого освещения был сделан объединяющий расчёт естествен-

ного и искусственного освещения, результаты которого приведены на рис. 12 и 13.

Итоговый расчёт искусственного освещения

Вслед за окончательным выбором параметров ОУ был проведён проверочный расчёт искусственного освещения, подтвердивший выполнение комбинированных требований нормативных документов [3, 4]. Результаты расчёта представлены на рис. 14.

5. Ключевые выводы

– Итогом работы стали подробное изучение существующей системы освещения и проектное предложение по модернизации естественного и искус-

ственного освещения, включая выбор светозащитных элементов и осветительного оборудования, для организации комбинированной системы искусственного освещения.

– Прделанная работа позволит дольше сохранять ценные экспонаты и обеспечит их более правильную экспозицию в плане яркостного контраста и цветопередачи.

– Учитывая тревожные итоги аудита, в подобной работе нуждается каждый музей, в экспозиции которого присутствуют объекты II и III групп светостойкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. URL: <https://support.hermitagemuseum.org/ru/projects/doorleonardo> (дата обращения: 26.06.2022).
2. URL: <http://hermitage-guide.com/guidebook/зал-леонардо-да-винчи/> (дата обращения: 26.06.2022).
3. ГОСТ Р 8.586–2001 «Средства измерений характеристик искусственного и естественного излучения для обеспечения сохранности музейных экспонатов».
4. Публикация CIE157:2004 «Контроль повреждения музейных экспонатов оптическим излучением».
5. URL: www.gismeteo.ru/ (дата обращения: 26.06.2022).
6. Брошюра немецкой ассоциации светотехнических производителей licht.de «Good Lighting for Museums, Galleries and Exhibitions» No. 18.



Сизый Сергей Николаевич, инженер, светодизайнер. В 2007 г. окончил Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого. Основатель и руко-

водитель школы и студии светодизайна LIDS Lighting Design. Профессиональный член Международной ассоциации светодизайна IALD, член РНК МКО. Автор пирамиды потребностей человека в освещении, теории эмоционального дизайна, классификации стилей в светодизайне, а также методик проектирования экспозиционного и биодинамического освещения. Неоднократный призёр и победитель различных конкурсов по светодизайну. Член жюри конкурса «Российский светодизайн»