

Основанные на освещённости и яркости оценки совместной работы световых полок и светоотражающих жалюзи в читальных залах библиотек¹

М. ЁНЕР^{1,3}, Т. КАЗАНАСМАЗ²

¹ Пизанский университет, Пиза, Италия

² Измирский технический институт, Измир, Турция

³ E-mail: m.oner@studenti.unipi.it

Аннотация

Неконтролируемое естественное освещение создаёт проблемы для зрительного восприятия и теплового режима в помещениях, которые могут отрицательно сказываться на комфорте, производительности труда, самочувствии и здоровье людей. Естественное освещение в помещениях библиотек, в которых люди читают, едят и работают на компьютерах, должно быть спроектировано так, чтобы оно полностью удовлетворяло посетителей. Основной целью данного исследования была проверка работы системы из световой полки и светоотражающих жалюзи, призванной улучшить условия зрительной работы в читальном зале библиотеки. Вначале были проведены измерения существующих значений характеристик естественного освещения. Затем в программе *Relux* была сформирована модель для оценки распределений яркости и освещённости. И наконец, была предложена новая система из световой полки и светоотражающих жалюзи, позволяющая устранить выявленные при моделировании недостатки. На основе полученных в результате улучшенных, особенно, около окон, распределений яркости и равномерности освещённости был сделан вывод о весьма удовлетворительной работе новой системы.

Ключевые слова: естественное освещение, зрительная работа, освещённость, яркость, световая полка, светоотражающие жалюзи.

1. Введение

Библиотеки – это помещения, в которых люди и учатся, и работают, и при их проектировании следует из-

начально учитывать необходимость выполнения зрительных работ. Подобные помещения должны обеспечивать возможность эффективной работы без потери остроты зрения или комфорта, в который входят все связанные с освещением стороны зрительного восприятия [1]. Должны быть обеспечены требуемые уровни освещённости, а связь между светлотой и контрастом следует тщательно контролировать на основе распределений яркости, на которые влияют распределения освещённости и коэффициентов отражения в поле зрения. В хорошо спроектированной зрительной среде глаза будут не только быстро адаптироваться к изменениям яркости, но и меньше уставать.

Хорошее естественное освещение библиотеки способствует продуктивной работе, приводит к увеличению времени пребывания в библиотеке людей и регулирует распределение людей по рабочим местам [2, 3]. Внима-

ние к естественному освещению при проектировании библиотек возросло после осознания важности зрительного комфорта при выполнении различных предусмотренных в библиотеках работ, таких как работа с бумажными носителями, работа на компьютерах, поиск на полках и чтение книг, журналов и цифровых носителей [4, 5]. Количество света, необходимого для достижения разных целей, связывают со светлотой поверхностей в пределах поля зрения [6]. Для обеспечения хорошей видимости следует обеспечить достаточное для выполнения поставленной задачи количество света и ограничение блёскости [7].

Системы перераспределения естественного света позволяют как избежать чрезмерных уровней освещённости, которые приводят к возникновению блёскости и перегреву, так и обеспечить естественное освещение участков, расположенных в глубине помещений [8, 9]. В [10] было проведено исследование работы закреплённых на световых полках подвижных зеркал, которые могли отслеживать солнце в случае выходящего на юг глубокого офиса. По сравнению с исходным вариантом, при использовании этой системы освещённость в дни летнего и зимнего солнцестояния увеличилась, соответственно, на 152 и 12,5 %. В [5] была предложена горизонтальная световая полка с рядом зеркальных плиток, которые можно было поворачивать вокруг двух осей в соответствии с движени-

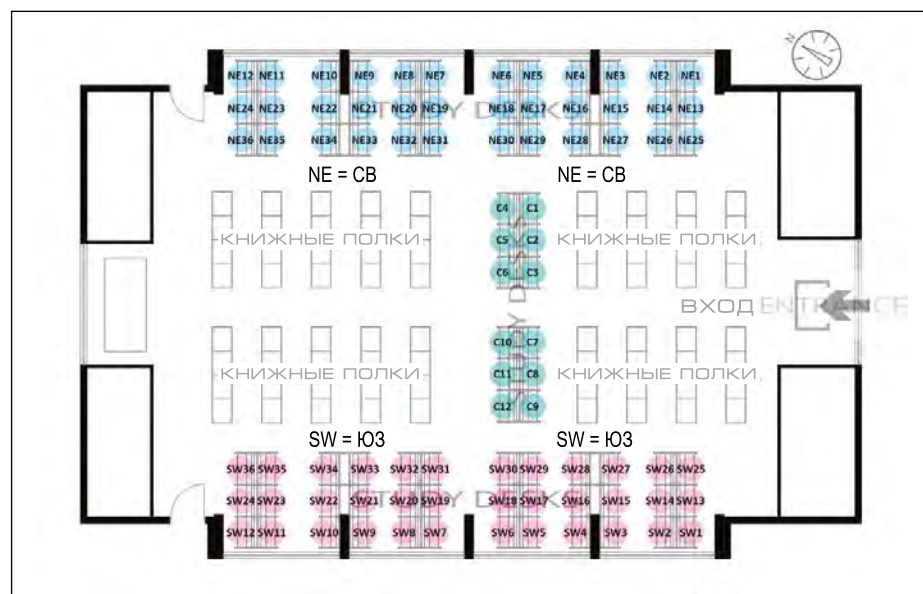


Рис. 1. Точки проведения измерений: CB1-CB36 (северо-восточные точки), Ю31-Ю336 (юго-западные точки), C1-C12 (центральная зона)

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

ем солнца. В результате были обеспечены почти 20-процентное увеличение уровня естественного освещения и уменьшение блёскости.

По вышеизложенным соображениям и в связи с неполнотой исследований, посвящённых качеству зрительной среды в библиотеках, данное исследование было направлено на оценку условий зрительной работы в научной библиотеке, определяемых распределениями освещённости и яркости. Целью работы являлось исследование эффективности световых полок и светоотражающих жалюзи применительно к освещению тех проблемных участков, которые характеризуются уровнями яркости и освещённости, недостаточными или избыточными для работы как с бумажными носителями, так и с мониторами компьютеров.

2. Методика

2.1. Читальный зал библиотеки

Экспериментальные исследования проводились в библиотеке Измирского технического института (38,19° с.ш., 26,37° в.д.). Она ориентирована в восточном направлении под углом 60° к направлению на юг. Фасады читального зала, имеющего размеры 29,7 x 19,00 x 4,30 м (Д x Ш x В), смотрят на северо-восток, юго-запад и северо-запад и полностью остеклены. Рабочее пространство разделено на три зоны: две зоны, в которых сидят посетители, и центральная зона с книжными полками (рис. 1).

Измерения характеристик материалов проводились на месте с использованием яркомера и люксметра в соответствии с [11]. В основу определения коэффициента отражения было положено уравнение для ламбертовского отражателя. Коэффициенты пропускания окон, которые имели двойное остекление, измерялись в соответствии с [12, 13]. Результаты измерений представлены в табл. 1.

2.2. Проверка соответствия

При работе с бумагами в качестве контролируемой характеристики была выбрана горизонтальная освещённость. Измерения выполнялись при помощи люксметра 20 июня и 20 июля в 131-ой точке на высоте 0,76 м от уровня пола. Результаты измерений

Фотометрические характеристики поверхностей

Поверхность	Коэффициент отражения/пропускания, %
Стены	73
Пол	37
Потолок	78
Стол	47
Остекление	80

Таблица 1

Статистические характеристики

Время	R^2	$MPE, \%$	$CV, \%$
20 июня, 14:00	0,51	10	21,1
20 июля, 11:00	0,67	20	21,7
20 июля, 12:30	0,78	20	19,8
20 июля, 15:30	0,71	55	31,1

впоследствии сравнивались со значениями освещённости, полученными при моделировании с использованием программы *Relux*, осуществлявшегося для помещения с такими же характеристиками. Значения коэффициента детерминации R^2 лежали в пределах от 51 до 78 % для всех результатов моделирования, проведённого применительно к указанным датам, что говорит о хорошей точности модели. Учитывая большую площадь пола и наличие мебели, погрешность можно считать приемлемой. Кроме того, были рассчитаны значения средней процентной ошибки MPE и коэффициента вариации (относительного среднеквадратического отклонения) CV , позволяющие судить о средней ошибке и расхождении между измеренными и рассчитанными значениями освещённости (табл. 2).

2.3. Выявление проблем

Анализ читального зала библиотеки проводился в программе *Relux* в условиях промежуточного неба МКО (*CIE intermediate sky*) при наличии солнечного света применительно к 12:30 часам дня солнцестояния и равноденствия с учётом нормативных требований к освещённости и яркости в библиотечных помещениях. Рассмотрение проводилось применительно к 84-м точкам, расположенным на высоте

0,76 м в центрах библиотечных столов, на которых перед посетителями размещались мониторы компьютеров и листы белой бумаги (рис. 1). Эта часть работы была направлена на выявление проблем, связанных с естественным освещением. Для этого были выполнены измерения горизонтальной освещённости на рабочей плоскости и проведён анализ распределения яркости в поле зрения.

2.3.1. Анализ распределений яркости и выявление наиболее проблематичных точек наблюдения

Распределения яркости, соответствующие всем точкам наблюдения, были проанализированы применительно к 12:30 часам дня солнцестояния и равноденствия. Были выявлены три точки с наименее равномерным распределением яркости. Для этого на основе полученных для всех точек наблюдения карт яркости были определены яркости экрана монитора, белой бумаги, стола, перегородки, окрестностей вообще и расположенной рядом с окном боковой стены (рис. 2).

Анализ карт яркости показал, что наиболее критичное, изменяющееся от 13 до 2050 кд/м², распределение яркости в поле зрения наблюдается в точках, соответствующих юго-западному периметру помещения. Были

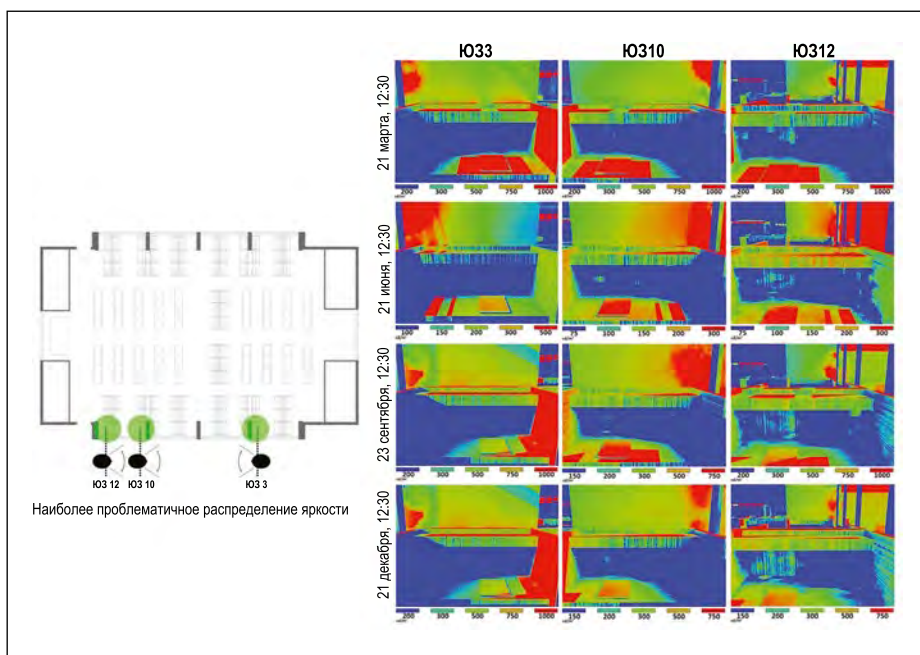


Рис. 2. Точки наблюдения с наихудшими распределениями яркости и карты яркости

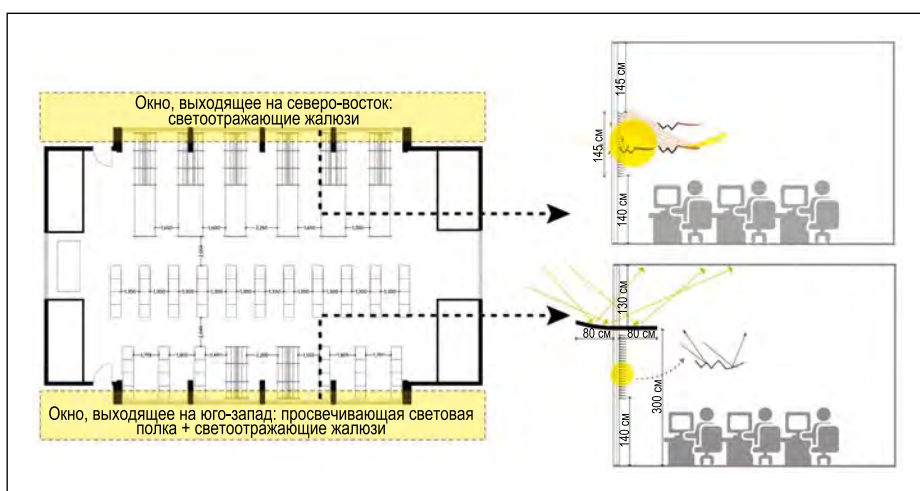


Рис. 3. Организация естественного освещения, отражённая на плане помещения, и поперечные сечения, демонстрирующие его работу

идентифицированы три точки наблюдения (Ю33, Ю310 и Ю312) с наименее равномерным распределением яркости в поле зрения, которые, что не удивительно, располагались около выходящего на юго-запад окна (рис. 2). Например, применительно к точке Ю33 соотношение между яркостями экрана монитора и расположенной рядом с окном боковой стены в 13:43 21 декабря оказалось равным 1:43, что намного превышает рекомендуемое значение 1:10. Во всех случаях соотношение яркостей бумаги и экрана монитора изменялось от 1:12 до 1:158, что, опять же, не соответствует рекомендациям и приводит к проблемам со зрительным восприятием посетителями библиотеки.

2.3.2. Освещённость и равномерность освещённости на рабочей плоскости

Освещённость во всех случаях оказалась распределённой неравномерно, изменяясь от очень низкой до тысяч лк. Максимумы освещённости наблюдались в точках, расположенных рядом с выходящим на юго-запад остеклением (Ю31-Ю312). В этой же зоне наблюдалось быстрое уменьшение яркости по мере удаления от окон (точки Ю325-Ю336). Распределение освещённости в северо-восточных точках (СВ1-СВ36) оказалось относительно более равномерным (освещённость изменялась от 46 до 1180 лк), тогда как наименьшие, в диапазоне от 95

до 396 лк, значения освещённости наблюдались в центральной зоне. Можно сделать вывод, что во всей комнате равномерность освещённости на рабочей плоскости оказалась явно плохой, значительно меньше нормированной (значения освещённости в библиотеках при выполнении работ с бумагами, рекомендуемые стандартами *IES*, лежат в интервале 500–1000 лк, а полезная естественная освещённость в рабочих зонах лежит в интервале 100–2000 лк) (табл. 3).

2.4. Предлагаемая концепция естественного освещения

Для улучшения распределений освещённости и яркости были предложены новые концепции организации естественного освещения для окон, выходящих на юго-запад (световая полка из просвечивающего материала со светоотражающим покрытием и светоотражающие жалюзи) и на северо-восток (светоотражающие жалюзи) (рис. 3). Эти системы были выбраны на основе анализа литературных данных и реальных изделий [14–16]. Световая полка шириной 1,6 м была размещена на всём протяжении остекления юго-западного фасада на высоте 3,00 м от уровня пола. Эта световая полка, которая при моделировании располагалась как снаружи, так и внутри помещения, считалась зеркально отражающей свет с коэффициентом отражения 85%. Внутренние светоотражающие жалюзи выходящих на юго-запад окон, которые были выбраны из базы данных *Retrolux Archive* [16] и имели ламели с коэффициентами отражения 85%, располагались на высоте 1,40 и 2,85 м от уровня пола. Помимо прочего, они обеспечивали и дополнительную солнцезащиту. Ламели имели глубину 13 мм и располагались на расстоянии 0,5 см друг от друга. Окно, выходящее на северо-восток, было снабжено такими же светоотражающими жалюзи.

3. Результаты

3.1. Выводы, сделанные на основе полученных значений яркости

Соотношения яркости в поле зрения оказались более соответствующими требованиям к условиям зрительной работы. В этом большую роль

Освещённость и равномерность освещённости на рабочей плоскости (E_{avg} , E_{min} и E_{max} – среднее, минимальное и максимальное значения освещённости соответственно, $U_1 = E_{min}/E_{max}$ и $U_2 = E_{min}/E_{avg}$ – равномерности освещённости)

Время	E_{avg} , лк	E_{min} , лк	E_{max} , лк	U_1	U_2
21 марта, 12:30	1358	114	6610	0,017	0,083
21 июня, 12:30	430	48	1060	0,045	0,111
23 сентября, 12:30	1686	97	7970	0,012	0,057
21 декабря, 12:30	910	46	4700	0,009	0,050

сыграли солнцезащитные и перераспределяющие свет свойства предложенной системы. Точки наблюдения Ю33 и Ю310 были наихудшими из-за наличия непосредственно напротив наблюдателей очень ярких поверхностей боковых стен, которые были полностью покрыты солнечными пятнами. Улучшение распределения яркости по поверхности стены, имевшее место благодаря реализации перераспределяющей свет системы, в случае Ю33 и Ю310 оказалось гораздо значительнее и очевиднее, чем в случае Ю312. Тем не менее, результат применения солнцезащитной и перераспределяющей свет системы явно заметен во всех трёх точках наблюдения, для которых распределения яркости находящихся в поле зрения поверхностей стали более сбалансированными. Избыточное естественное освещение поверхностей столов оказалось более приемлемым для всех точек наблюдения, обеспечивая хорошее зрительное восприятие в пределах участков, предназначенных для чтения и письма.

Требуемым образом система работает 23 сентября для точек Ю310 и Ю312, тогда как для точки Ю33 она оказалась не столь хороша, т.к. из неё на поверхности стены видны солнечные пятна, особенно в день зимнего солнцестояния. Наиболее значительное уменьшение различий в яркостях экрана, бумаги и перегородок наблюдалось в дни равноденствия. Наблюдаемые 21 марта отношения яркостей бумаги и перегородки стола изменились с 13,5:1 до 1,9:1 для точки Ю312, с 14,1:1 до 2,9:1 для точки Ю310 и с 13:1 до 1:1,6 для точки Ю33, что соответствует рекомендациям стандартов ($\leq 5:1$). Неравномерность яркости в поле зрения в точке Ю33 оказалась несколько выше, чем в остальных точках, но при этом она остаётся в рекомендуемых пределах (например, в день весеннего равноденствия яр-

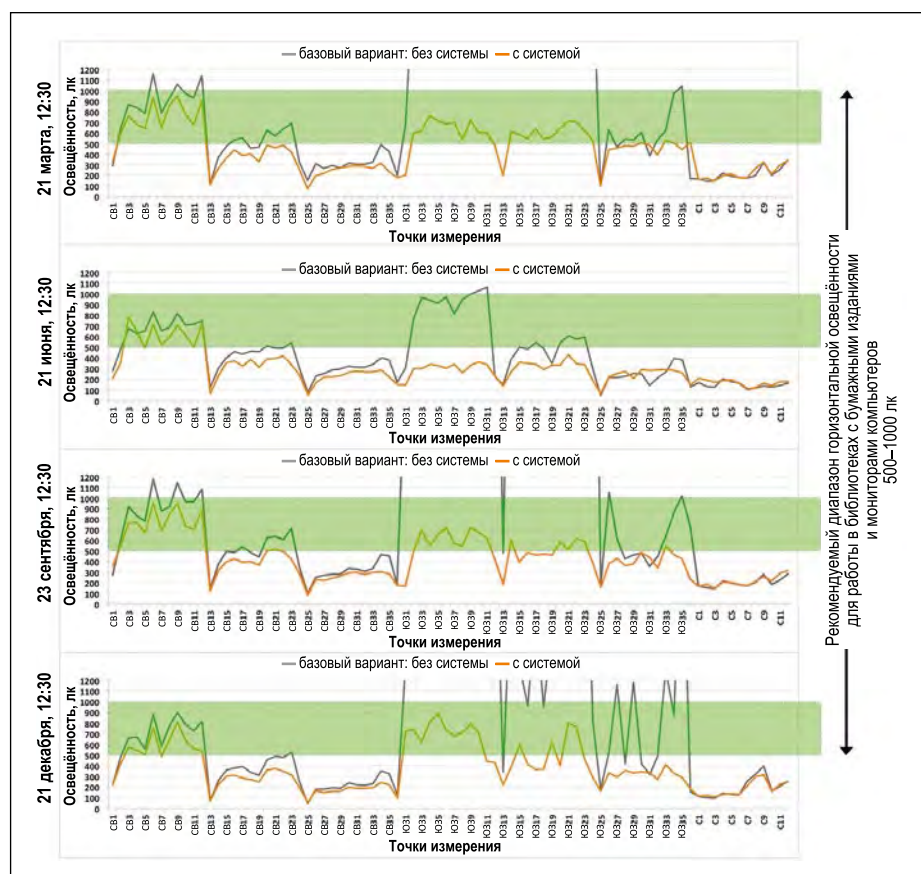


Рис. 4. Изменения освещённости в точках измерения после реализации концепции естественного освещения

кости стола и стены для точек Ю312, Ю310 и Ю33 соотносятся, соответственно, как 1:3, 1:3 и 1:3,8). Достаточно хорошим показателем работы солнцезащитной и перераспределяющей свет системы оказалось соотношение яркостей бумаги и стола в день весеннего равноденствия, которое для точек Ю312, Ю310 и Ю33 составило, соответственно, 1,6:1, 1,6:1 и 1,8:1.

Распределения яркости оказались гораздо ближе к рекомендуемым, за исключением соотношения между яркостями бумаги и экрана. Согласно стандартам, это соотношение должно лежать в интервале между 1:2,5 и 1:3, тогда как на практике оно

хотя и улучшилось, но всё же осталось существенно хуже нормируемого: в день весеннего равноденствия среднее отношение яркостей бумаги и экрана уменьшилось с 1:174 до 1:15 для точки Ю312, с 1:191 до 1:35 для точки Ю310 и с 1:216 до 1:42 для точки Ю33.

3.2. Выводы, сделанные на основе полученных значений освещённости

Во всех рассмотренных случаях освещённость уменьшилась почти во всех точках (рис. 4), что привело к уменьшению средней гори-

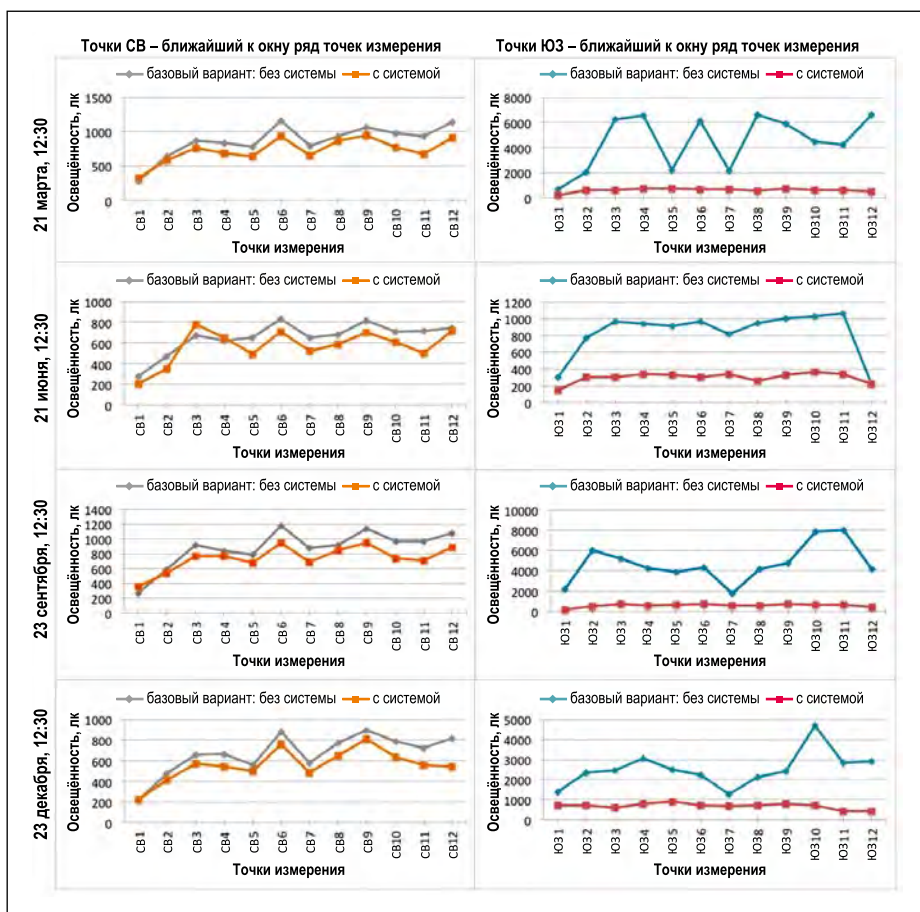


Рис. 5. Изменения освещённости в точках, расположенных около окон (CB1-CB12 и Ю31-Ю312)

горизонтальной освещённости: с 1358 до 454 лк (-66 %) 21 марта, с 430 до 302 лк (-29 %) 21 июня, с 1686 до 431 лк (-74 %) 23 сентября и 910 до 378 лк (-58 %) 21 декабря. Эти результаты можно считать отрицательными в связи с уменьшением количества точек, попадающих в интервал рекомендуемых значений освещённости, однако если учесть рекомендации в части полезной естественной освещённости (*useful daylight illuminance*) (100–2000 лк), то 21 марта, 23 сентября и 21 декабря средние горизонтальные освещённости оказались после модернизации близкими к реко-

мендованному диапазону. Почти 80 % расчётных точек, освещённости в которых оказались ниже требований стандартов *ISO*, попадают в диапазон допустимых значений полезной естественной освещённости, что говорит о приемлемом уровне естественного освещения. То, что в июне только некоторые точки попадают в рекомендованный диапазон значений освещённости, можно объяснить большой высотой солнца в день летнего солнцестояния, в который освещённость была неудовлетворительной и до проведённой модернизации естественного освещения. Заметнее

всего освещённость уменьшается около окон, но не в центре. Фактически, новая система работает, как и планировалось, главным образом уменьшая избыточную освещённость около окон и не очень влияя на удалённые от окон точки.

Улучшения освещённости в 24-х точках, расположенных около окон (CB1-CB12 и Ю31-Ю312), продемонстрированы на рис. 5, подтверждая солнцезащитную эффективность новой концепции естественного освещения. Наиболее впечатляющими являются изменения освещённости в юго-западных точках. Как и ожидалось, в упомянутых точках измерения новая система сгладила распределение освещённости, которое 21 марта, 21 июня, 23 сентября и 21 декабря стало почти горизонтальным в большинстве юго-западных точек, но не в северо-восточных точках. В северо-восточных точках значения освещённости лежали в диапазоне от 220 до 1160 лк, что допустимо стандартами. В этом случае основной задачей использования светоотражающих жалюзи было не препятствование проникновению солнечного света, а улучшение естественного освещения в глубине помещения. Новая система с успехом обеспечила увеличение равномерности освещённости в третьем ряду точек измерения (CB25-CB36) во все сезоны, а особенно в декабре, демонстрируя при этом сильное влияние своих отражающих возможностей. В большинстве северо-восточных точек освещённости остались очень близкими к базовым, не демонстрируя ни заметного уменьшения, ни заметного увеличения, как это и требовалось изначально.

На рис. 6 приведены рассчитанные применительно ко всему помещению значения равномерности (E_{min}/E_{max}) в дни солнцестояния и равноденствия. Даже наихудшая базовая равно-



Рис. 6. Равномерность до и после реализации концепции естественного освещения (базовый и окончательный варианты)

мерность, имевшая место в день зимнего солнцестояния, улучшилась на 53 %, тогда как в остальные рассмотренные дни улучшение составило от 166 до 340 %. Оставаясь хуже, чем нормированные, эти значения равномерности освещённости были сочтены приемлемыми, если принять во внимание большую площадь пола и большое количество точек измерения. В целом, если не считать точек СВ в июне, была обеспечена более хорошая равномерность освещённости.

4. Заключение

Использование просвечивающе-светоотражающей световой полки и светоотражающих жалюзи привело к улучшению равномерности и освещённости, и яркости, которое было достигнуто за счёт минимизации количества естественного света около окон и сохранению на прежнем уровне или некоторому увеличению его количества в глубине помещения.

Наиболее заметным последствием применения новой системы естественного освещения было улучшение распределения яркости вследствие того, что эта система препятствует проникновению внутрь помещения излишнего количества естественного света и перенаправляет его в зоны, расположенные в глубине библиотеки. Лучшее всего эта солнцезащитная и перенаправляющая свет система показала себя в дни равноденствия, улучшив равномерность распределения яркости поверхностей в поле зрения. Например, значительно, на 79–85 %, улучшилось соотношение яркостей бумаги и перегородки стола, в результате чего оно пришло в соответствие с рекомендациями.

Новая система обеспечила поддержание требуемых значений освещённости, в том числе и в наиболее проблематичных точках из ближайшего к окнам ряда. Улучшение по сравнению с базовым случаем было достигнуто в почти 80 % точек, причём 75 % этих точек удовлетворяли требованиям стандартов *IES*, связанным с выполнением зрительных задач, тогда как в 100 % точек освещённости лежали в пределах диапазона полезной естественной освещённости. Равномерность освещённости была существенно улучшена во всём помещении. Хотя требования стандартов *IES* к рав-

номерности освещённости всё ещё не удовлетворены, улучшение по сравнению с базовым вариантом составило 53–340 %. При такой большой площади пола обеспечение требуемой равномерности освещённости представляет собой трудную и почти невыполнимую задачу. Достигнутое улучшение равномерности можно считать успешным шагом.

В целом, проведённое исследование показало, что хорошо спроектированная система естественного освещения обеспечивает заметное улучшение условий зрительной работы в библиотеке с рассмотренными конструктивными параметрами. Однако следует помнить, что в ряде случаев даже предложенное проектное решение не гарантирует выполнение приводимых в литературе требований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Pniwska, A., Brotas, L.* Daylight and productivity in a school library // Proc. of CISBAT 2013, 2013, LausanCB, Ю3itserland.
2. *Reinhart, C., Selkowitz, S.* Daylighting-Light, form, and people // ECBrgy and Buildings.– 2006. – Vol. 38. – P. 715–717.
3. *Konis, K.* Evaluating daylighting effectiveCBss and occupant visual comfort in a side-lit open-plan of office building in San Francisco, California // Building and Environment.– 2013. – Vol. 59. – P. 662–677.
4. *Keskin, Z., Chen, Y., Fotios, S.* Daylight and seating preference in open-plan library spaces // The International Journal of Sustainable Lighting.– 2015. – No. 1. – P. 12–20.
5. *Dogan, T., Stec, P.* Prototyping a facade-mounted, dynamic, dual-axis daylight redirection system // Lighting Research and Technology.– 2016.
6. *Baker, N., Steemers, K., Compagnon, R., Parpairi, K.* Daylight Design of Buildings. London: James & James Science Publisher, 2002.
7. Solar Heating and Cooling Programme (SHCP), Daylighting in buildings: design tools and performance analysis, 1999, Available at: <http://www.ieo-shc.org/task 21/publications/>.
8. *Kazanasmaz, T., Firat Örs, P.* Comparison of advanced daylighting systems to improve illuminance and uniformity through simulation modeling // Light and EngiCBering.– 2014. – Vol. 22, No. 3. – P. 56–66.
9. *ЁРС П.Ф., КАЗАНАСМАЗ Т.* Расчётное сравнение современных систем естественного освещения в целях улучшения уровня и равномерности освещённости // Светотехника.– 2015.– № 1. – С. 28–35.
10. *Kontadakis, A., Tsangrassoulis, A., Doulos, L., Topalis, F.* An active sunlight redirection

system for daylight enhancement beyond the perimeter zoCB // Building and Environment.– 2017. – Vol. 113. – P. 267–279.

11. *Jakubiec, J.A.* Building a database of opaque materials for lighting simulation // Proc. of PLEA 2016 Los Angeles – 36th Int. Conf. on Passive and Low ECBrgy Architecture, 2016, Los Angeles, California, USA.

12. *Bayram, G., Kazanasmaz, T.* Simulation based retrofitting of an educational building in terms of optimum shading device and eCBrgy efficient lighting criteria, Light and EngiCBering, Vol24, No. 2 (2016), pp. 45–55.

13. *Байрам Г., Казанасмаз Т.* Оптимизация солнцезащитных устройств и повышение энергоэффективности искусственного освещения учебного здания // Светотехника.– 2016.– № 4. – С. 44–52.

14. *Moazzeni, M.H., Ghiabaklou, Z.* Investigating the influence of light shelf geometry parameters on daylight performance and visual comfort, a case study of educational space in Tehran, Iran // Buildings.– 2016. – Vol. 6, No. 3. – P. 26; doi:10.3390/buildings6030026.

15. *Freewan, A.A.* Maximizing the light-shelf performance by interaction between light-shelf geometries and a curved ceiling // ECBrgy Conversion and Management.– 2010. – Vol. 51, No. 8. – P. 1600–1604. doi:10.1016/j.enconman.2009.09.037.

16. Retrosolar. (2017). Information About Retrosolar. [InterCBt], Available from: http://www.retrosolar.de/flash/ani_rlx_e.html [Accessed 11 JuCB 2017].



Туğче Казанасмаз (Tuğçe Kazanasmaz),

Ph.D. Доцент кафедры архитектуры Измирского технического института. Имеет 14-летний опыт преподавательской

работы в области архитектурной подсветки, физики зданий и энергоэффективного проектирования



Мерве Ёнер (Merve Öner),

M. Sc. (2017 г.). Аспирант (Ph.D.) Пизанского университета. Научные интересы: архитектурное освещение, компьютерное моделирование