

О влиянии источников света на цвета объектов¹

Ф. АТАЛАР, К. УЗУН, А. ГЕДИКЛИ, А.Е. ЙЫЛМАЗ¹, М. УУР

Стамбульский университет, Стамбул, Турция

¹ E-mail: aersoy@istanbul.edu.tr

Аннотация

Наличие освещения является одной из основных потребностей людей, облегчая их жизнь и улучшая её качество. Источники света разных типов используются во многих местах, таких как жилые дома, улицы, рабочие места, больницы, заводы и т.д. В этом исследовании рассмотрено влияние источника света и отражающей поверхности освещаемого объекта на такие параметры, как коррелированная цветовая температура, блёскость, координаты цветности и доминирующая длина волны. При этом использовались четыре источника света: излучающая тепло-белый свет галогенная лампа накаливания, светодиодная лампа тепло-белого света и две светодиодные лампы холодно-белого света. Исследования проводились применительно к 10 образцам бумаги и 10 образцам ткани. Цвета поверхностей бумаги и тканей были выбраны из основных цветов спектра. Характеристики отражённого от поверхности света измеряли колориметром CS-200 компании Konica Minolta. Сравнение результатов проводилось применительно к одним и тем же цветам применительно к коррелированной цветовой температуре, блёскости, координатам цветности и доминирующей длине волны.

Ключевые слова: коррелированная цветовая температура, блёскость, координаты цветности, доминирующая длина волны.

1. Введение

Свет представляет собой особую разновидность энергии, которая распространяется в виде волн и действует как частица, вследствие чего его описание осуществляется в рамках и волновой, и корпускулярной теории. Эти теории дополняют друг друга и объ-

ясняют две разные особенности световой энергии [1].

Термин «цвет» можно определить как результат воздействия на наши органы зрения света, отразившегося от разных объектов. Говоря о концепции цвета, важно выделить группы лучей, имеющих разные длины волн и характеризующиеся различными тоном, насыщенностью и интенсивностью. Наименование цвета определяется отражаемым им светом, причем относящиеся к одному и тому же семейству цвета имеют присущие им тона, которые отличаются друг от друга наименованиями и насыщенностью. Насыщенность цвета определяется его зрительным воздействием и чистотой. Для обеспечения хорошего восприятия цвета требуется здоровый глаз, должным образом реагирующий на свет, попадающий в него после отражения от разных объектов, и находящаяся в идеальном состоянии зрительная зона коры головного мозга. Под воздействием световых волн глаз вырабатывает сигналы, которые по нервной системе передаются в мозг, где и происходит распознавание цвета [2]. Короче говоря, если попадающий в глаз свет относится к физическим явлениям, то протекающие

в глазу процессы имеют физиологическую природу, а восприятие лучей света органами зрения относится уже к области психологии. Взаимодействие наших органов чувств с окружающей средой основано главным образом на зрительном восприятии световых и цветовых стимулов. Цвета, зависящие от длины волны попадающего в глаз света, который характеризуется высоким или низким уровнем колебательной энергии, оказывают на людей психологическое воздействие и влияют на их действия. Если говорить о психологическом воздействии цвета, то цвет влияет на умственную деятельность людей, их физическую работоспособность и психологическое состояние, тем самым играя главную роль во взаимодействии человека с окружающей средой [3]. Под освещением понимают генерацию света с целью сделать видимыми объекты и окружающую среду. Освещение относится к той области искусства и науки, которая устанавливает связь между потребителем и местом его пребывания, используя при этом связанный со светом инструментарий. Освещение является основным фактором при оценке атмосферы, формируемой в том или ином месте.

В [2] было обращено внимание на значимость цвета для эргономики в части установления законов, описывающих связь между объектами (используемыми людьми) и окружающей средой (населённой людьми). Важность цвета, который влияет на физическое и психологическое восприятие людей, особенно проявляется при установлении соответствия между



Рис. 1. а – закрытый чёрный ящик и измерительные приборы; б – чёрный ящик без боковой стенки и измерительные приборы

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

индивидуумом, объектом и окружающей средой. В [2] проанализированы применение цвета и его психологическое воздействие в различных условиях. При этом подчёркивается особая эргономическая значимость цвета как психологического фактора, влияющего на мотивацию, внимательность, общение, креативность и т.д. людей. Кроме того, этим же автором было показано, что цвет имеет важное значение для улучшения производственных условий, облагораживания рабочих мест и вписывания людей в окружающую их среду [4].

В [5] было проведено рассмотрение влияния цвета на восприятие рекламы, продемонстрировавшее сильную зависимость предпочтений потребителей от цвета. Цвет, стимулирующий наше восприятие, воздействует на наши чувства, помогая потребителям получить более полное представление о предлагаемых им товарах и услугах. Печатные рекламные материалы были проанализированы с точки зрения их цвета, и авторы [5] постарались показать, что различные цвета воздействуют по-разному.

Физическое и психологическое воздействие цвета играет главную роль в восприятии рекламы. В данной работе были проведены лабораторные исследования влияния естественных и искусственных источников света на свет, который отражается от имеющих разные цвета поверхностей.

2. Материалы и методы

Исследования проводились в лаборатории высоких напряжений строительного факультета Стамбульского университета. Экспериментальная установка показана на рис. 1. Для проведения экспериментов был сконструирован и изготовлен светонепроницаемый ящик размером $1 \times 1 \times 1$ м. Изнутри ящик был облицован чёрным неотражающим и светопоглощающим материалом [6–9]. В середине верхней части и в середине боковой стенки ящика были сделаны отверстия диаметром 4 см. Верхнее отверстие, предназначенное для размещения источника света, оставалось открытым, тогда как боковое отверстие использовалось для размещения колориметра и яркомера *CS-200* (рис. 2). Ещё один прибор, колориметр *CL-200A*, был помещён внутрь ящика (рис. 3). Эти приборы использовались для измерения

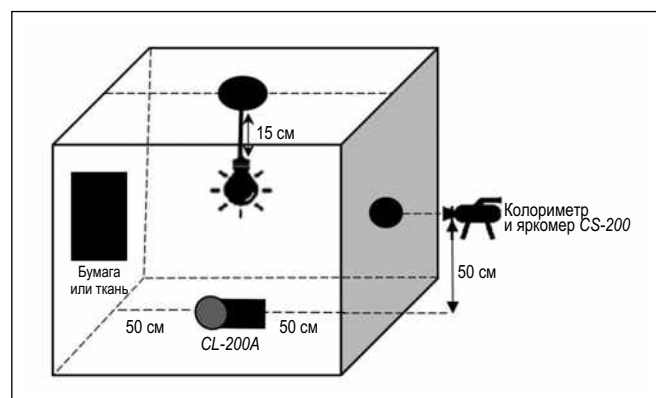


Рис. 2. Положение измерительного прибора



Рис. 3. Колориметр *CL-200A*

Рис. 4. Местоположение объектов



и контроля освещённости, создаваемой источником света в процессе проведения исследований. После того, как оба устройства были размещены на отверстиях, были приняты меры для устранения возможности проникновения через них света при проведении экспериментов.

Расположение объектов исследований (далее – объекты) показано на рис. 4. При проведении экспериментов указанные на рис. 4 расстояния оставались неизменными для всех образцов бумаги и тканей.

Колориметр и яркомер *CS-200* располагался напротив центра объекта на расстоянии 100 см от него.

В литературе можно найти работы, в которых измерялись изменения цветовой температуры света разных источников света при отражении его от цветных поверхностей. В [10, 11] исследовали восприятие и спектральные коэффициенты отражения различных цветов, формирующих составы из 24 цветов карту компании *GretagMacbeth*. Наши исследования проводились с использованием разных цветов и поверхностей: 10 листов бумаги разного цвета (размер А4, плотность 80 г/м^2) и 10 разноцветных кусков одной и той же ткани (высота стопы 2 мм). Для обеспечения точности проведения исследований и возможности рассмотрения влияния структуры поверхности, цвета

бумаги и ткани постарались сделать одинаковыми.

Исследования проводились применительно к 4 источникам света: галогенной лампе накаливания (ГЛН) мощностью 75 Вт, светодиодной лампе (СДЛ) тёпло-белого света мощностью 9 Вт, СДЛ холодно-белого света мощностью 3 Вт и СДЛ холодно-белого света мощностью 5 Вт (см. таблицу). Эти источники света были выбраны в целях сравнения широко использовавшихся ранее ГЛН с СДЛ, которые в настоящее время стали очень популярными и область применения которых непрерывно расширяется. Кроме того, СДЛ разной мощности использовались для исследования влияния интенсивности света. Однако главной задачей данного исследования являлось установление различий между искусственными источниками света и естественным светом, так что данные, полученные в ходе этих исследований, сравнивались с данными, полученными при использовании естественного света.

Блёскость измерялась в диапазоне яркостей от 0,01 до 200000 кд/м^2 , и при этом разрешение прибора было установлено равным 1° . Прибор *CL-200A* использовался для подтверждения неизменности освещённости на всём протяжении исследований. Для определения влияния источника света были проведены измерения кор-



Рис. 5. а – цвета бумаги; б – цвета ткани; в – сравнение поверхностей голубых ткани (слева) и бумаги (справа)

Рис. 6. Зависимость доминирующей длины волны от цвета бумаги

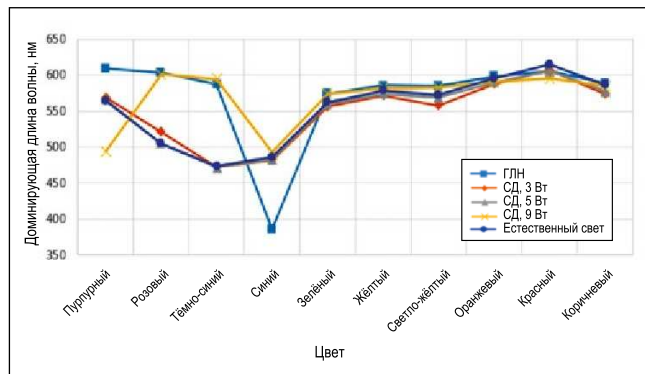


Рис. 7. Зависимость доминирующей длины волны от цвета ткани

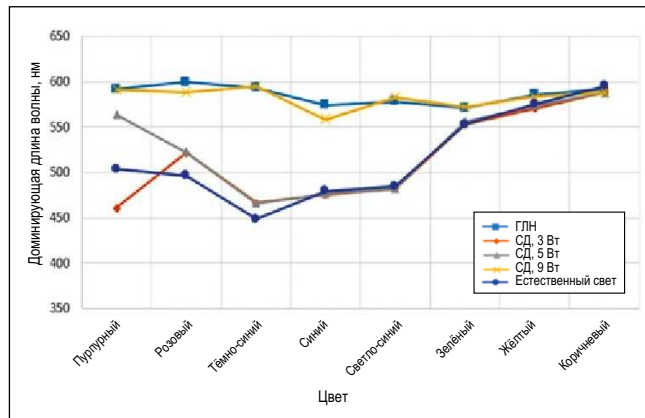
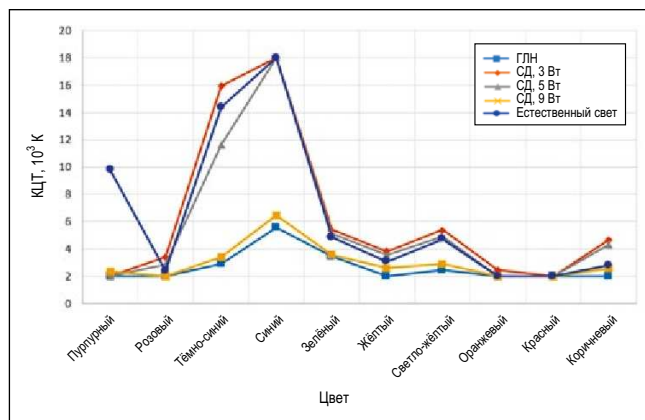


Рис. 8. Зависимость КЦТ от цвета бумаги



релированной цветовой температуры (КЦТ), блёскости, координат цветности и доминирующей длины волны отраженного объектами света. Анализ результатов этих измерений, которые представлены на рис. 6–11, позволил выбрать наиболее подходящие для глаз людей условия, причём в качестве основы для сравнения выступал есте-

ственный свет. Применительно к естественному свету измерения производились 05.05.2017 во второй половине дня (16:00) в следующих условиях: широта – 40° 59' 19.70" с.ш., долгота – 28° 43' 30.01" в.д., высота над уровнем моря – 81 м, азимутальный угол солнца – 262,50°, высота солнца над уровнем горизонта – 32,81°.

3. Результаты исследований

Результаты исследований приведены на 6 рисунках, которые позволяют провести сравнение всех источников света, использовавшихся для освещения бумаги и тканей, применительно к характеристикам отражённого от их поверхностей света. Кроме того, дополнительно представлены графики, позволяющие сравнить шероховатые и гладкие поверхности. Влияние источников света рассматривалась многими исследователями, работающими в области светотехники и др. [12–14] Цель данного исследования заключалась в том, чтобы сопоставить характеристики света, излучаемого осветительным прибором, с характеристиками света этого прибора, отражённого от различных поверхностей. Проведённые исследования показали, что характеристики источника света существенно влияют на свет, отражённый от поверхности холодного цвета.

На рис. 6 и 7 для разных источников света приведены результаты измерений доминирующей длины волны света, отражённого от имеющих разные цвета материалов: бумаги (рис. 6) и ткани (рис. 7).

На рисунках видно, что в случае источников холодного-белого света доминирующие длины волн света, отражённого от поверхностей, цвета которых лежат в диапазоне от пурпурного до зелёного, находятся в интервале 450–500 нм, тогда как в случае источников тепло-белого света доминирующие длины волн для тех же цветов смещаются в область больших длин волн (550–600 нм). Из этого следует, что на доминирующую длину волны отражённого света (особенно при малых, не превышающих 3000 К, значениях КЦТ), тип источника света влияет сильнее, чем цвет материала.

Кроме того, из рис. 6 и 7 следует, что в среде, способной отражать свет с доминирующими длинами волн, соответствующими тепло-белому свету и большими, освещаемый объект не влияет на доминирующую длину волны отражённого света. И можно считать, что в случаях зелёных, жёлтых и коричневых поверхностей цвет излучения и световой поток источника света слабо влияют на доминирующую длину волны отражённого от этих поверхностей света. Из результатов измерений спектров излучения

следует, что для получения результата, близкого к наблюдаемому в случае естественного света при освещении отражающих свет объектов пурпурного, розового, тёмно-синего, синего и светло-синего цвета, предпочтительнее использовать источники холодно-белого света (представленные в данной работе СДЛ мощностью 3 и 5 Вт).

На рис. 8 приведены пять графиков, соответствующих отражению излучения пяти источников света от поверхности бумаги. Как видно на рисунке, КЦТ отражённого света изменяется от 2000 до 18000 К. Аналогичные графики представлены на рис. 9 для отражения от ткани.

КЦТ отражённого света искусственных источников света сравнивали к КЦТ отражённого естественного света. Согласно полученным результатам, КЦТ света, отражённого от тёмно-синих и синих поверхностей, оказались наибольшими. Как следует из рис. 8 и 9, тип источника света не сильно влияет на КЦТ отражённого света, если цвета отражающих поверхностей лежат за пределами розово – зелёной области.

Международная комиссия по освещению в качестве меры блёскости приняла объединённый показатель дискомфорта UGR , который характеризует воздействие прямой блёскости светильников. С его помощью можно охарактеризовать блёскость для заданного положения наблюдателя [15]. На рис. 10 и 11 ясно видно, что для всех источников света UGR оказывается наибольшим в случае жёлтых поверхностей.

Для бумаги любого цвета наблюдается существенное различие между значениями UGR при освещении этой бумаги светом СДЛ мощностью 3 Вт и естественным светом. Аналогичная тенденция наблюдается и в случае тканей, но при этом значения UGR , полученные применительно к имеющим разные цвета поверхностям, не совпадают со значениями UGR , измеренными в случае бумаги.

Из рис. 10 и 11 также следует, что для всех источников света наименьшие, близкие друг к другу значения UGR имеют место в случаях пурпурных и тёмно-синих цветов, а также красных и коричневых цветов.

Задача этого исследования состояла в установлении зависимостей характеристик отражённого света как от типа отражающей поверхности,

Типы ламп

Тип лампы	Цвет света лампы	КЦТ, К	Световой поток, лм	Марка лампы
ГЛН [16]	Тёпло-белый	2700	980	FUJICA
СДЛ, 3 Вт [17]	Холодно-белый	6000	240	BENAR
СДЛ, 5 Вт [18]	Белый	5700	350	LAMPTIME
СДЛ, 9 Вт [19]	Тёпло-белый	3000	900	AKIWA

Рис. 9. Зависимость КЦТ от цвета ткани

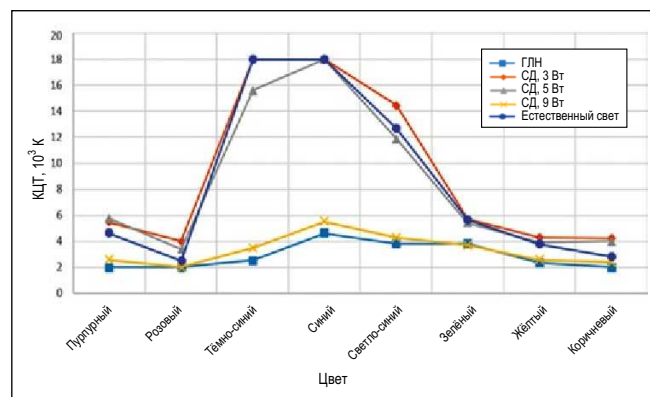
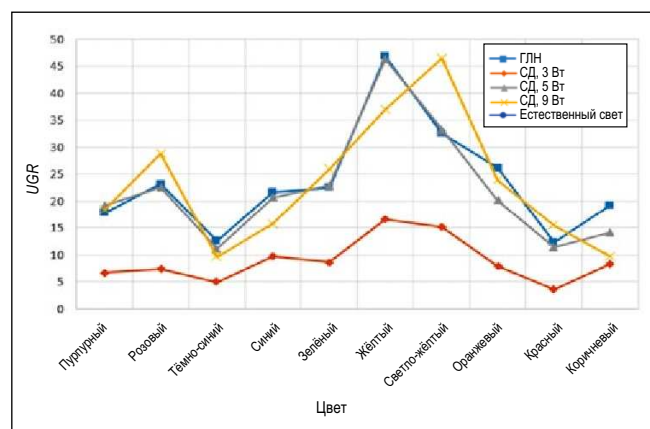


Рис. 10. Зависимость UGR от цвета бумаги



так и от источника света. Если сравнивать доминирующие длины волн света, отражённого от бумаги и ткани, то «провал» наблюдался в случае синей бумаги.

4. Заключение

В данной работе проведено исследование света нескольких источников света, отражённого от двух материалов – бумаги и ткани – разного цвета. Некоторые из полученных результатов приведены ниже.

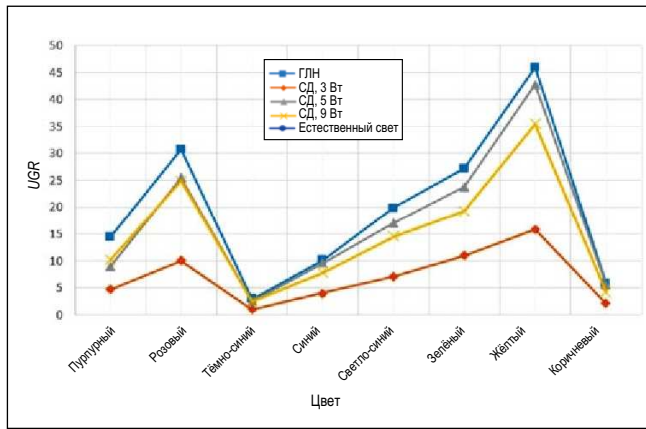
Так, результаты исследований ясно показали, что зрение человека функционирует лучше, если используются источники, излучающие свет, близкий к естественному свету. Цвет отражающих свет поверхностей сильно влия-

ет на попадающий в глаза свет, что должны учитывать и инженеры, и работники здравоохранения. Исходя из полученных нами результатов, можно утверждать, что для обеспечения возможности восприятия и выбора цвета и текстуры материалов предпочтительнее использовать белые тона.

Кроме того, в рамках этого исследования были проведены измерения изменений доминирующих длин волн (для нескольких цветов) и было обращено внимание на то, что цвет позволяет более чётко видеть и различать объекты. Сравнение схожих изделий было проведено посредством измерения доминирующих длин волн для разных источников света.

Проведённые исследования ясно показали, что лампы нового поколе-

Рис. 11. Зависимость UGR от цвета ткани



ния обеспечивают большую чёткость зрительного восприятия, а также то, что для обеспечения оптимального восприятия имеющих разные цвета поверхностей надо тщательно выбирать осветительное оборудование на основе нескольких эксплуатационных параметров.

Эта работа финансировалась фондом научных исследований Стамбульского университета, проект № 4922/10597.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Moody, J.L., Dexter, P. Concert Lighting: Techniques, Art And Business. – Focal Press, 2010. – ISBN – 13:978-0-240-80010-3 (hbk).
2. Brooker, D. Essential CG Lighting Techniques – n Routledge Imprint, 2002. – e-ISBN: 9781136134708, 2002.
3. Çalğlarca, S. Renk ve Armoni Kuralları. – İnkılap yay, 1993. – ISBN: 9789751005762.
4. Duran, M. Ergonomik Tasarımda Renk // Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 2005. – ISSN1302647X.
5. Çeken, B, Yıldız, E. Renklerim Reklam Algısı üzerindeki Etkisi. – 2015. – DOI: 10.7816/sed-03-02-08 sed.
6. Ciampi, G., Rosato, A., Scorpio, M., Sibilio, S. Basic System for the Preliminary Experimental Photometric Characterization of a LED Based Luminaire // Light & Engineering. – 2016. – Vol. 24, No. 4. – P. 47–55.
7. Rosato A., Scorpio M., Sibilio S., Чампи Дж. Установка для измерения фотометрических характеристик ряда светильников со светодиодами // Светотехника. – 2017. – № 1. – С. 43–48.
8. Ersoy Yilmaz, A. Artificial Neural Network Modelling of Color Temperature Variations with Different Types of Armatures and Light Sources // Light & Engineering. – 2016. – Vol. 24, No.4. – P. 64–71.
9. Ерсой Йылмаз А. Нейросетевое моделирование зависимости цветовой темпера-

туры освещения от источника света в оптической системе светильника // Светотехника. – 2017. – № 1. – С. 49–54.

10. Zhang, L., Li, B., Zhang, H., Kang, Y., Zhan, W., Yi W., Chen Z. Study on the Comparison of Two Spectral Reflectance Reconstruction Methods Based on Agile Spectrum Imaging and Liquid Crystal Modulation // Light & Engineering. – 2017. – Vol. 25, No.2. – P. 128–138.

11. Чжан Л., Ли Б., ЧЖАН, Х., Кан, И., Чжань, В., И, В., Чэнь, Ч. Сравнение двух методов реконструкции спектрального распределения коэффициента отражения // Светотехника. – 2018. – № 2. – С. 72–79.

12. Kuzmin, V.N., Nikolaev, S.E. Methods and Devices for Quick Evaluation of Optical Radiation Energy Efficiency under Photoculture Conditions // Light & Engineering. – 2016. – Vol. 24, No. 4. – P. 99–104.

13. Кузьмин В.Н, Николаев С.Е. Методы и приборы для оперативной оценки энергоэффективности оптического излучения в условиях светокультуры // Светотехника. – 2016. – № 4. – С. 41–43.

14. Wang, Z. Analysis on the International Marketing Strategies of LED Lighting Enterprises in China // Light & Engineering. – 2017. – Vol. 25, No. 3. – P. 211–217.

15. CIE232:2019 Discomfort Caused by Glare from Luminaires with a Non-Uniform Source Luminance.

16. Fujika HALOGEN2700K, 980 lm, <http://www.fujigrup.com/ampuller/halogen-ampuller/prd-fujika-42w-halogen-ampul-e27>.

17. Benar LED3W 6000K, 240 lm, <http://www.benaraydinlatma.com.tr/cob-smd-power-ledli-ampuller-led-ampul-3w-pid-195.html>.

18. Lamptime LED5W 5700K, 350 lm, <http://www.lamptime.com/tr/urun/5w-a60-e27-led-ampul>.

19. Akiwa LED9W 3000K, 900 lm, <http://www.akiwa.com.tr/urun/9w-e27-led-ampul>.



Фатих Аталар (Fatih Atalar), М. Sc. (2018 г.). Лаборант факультета электротехники и электроники Стамбульского университета. Область научных интересов: высоковольтные диэлектрики, освещение и магнетизация



Керим Узун (Kerim Uzun), В. Sc. (2017 г.). Область научных интересов: проектирование осветительных установок для зданий с нестандартной архитектурой и высоковольтные установки



Ахмет Гедикли (Ahmet Gedikli), В. Sc. (2017 г.). Область научных интересов: проектирование осветительных установок для зданий с нестандартной архитектурой и высоковольтные установки



Айсель Ерсой Йылмаз (Aysel Ersoy Yilmaz), Ph.D. (2007 г.). Доцент факультета электротехники и электроники Стамбульского университета. Область научных интересов: полимер-

ные диэлектрики, защита электрических систем, освещение и установки внутреннего освещения



Мукден Уур (Mukden Uğur), Ph.D. (1997 г.). Профессор факультета электротехники и электроники Стамбульского университета. Область научных интересов:

полимерные диэлектрики, защита электрических систем, фрактальное моделирование и статистическое рассмотрение электрического пробоя