

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

**О. Е. Железникова, С. А. Амелькина, Л. В. Синицына,
М. П. Куликова**

В статье рассматриваются результаты психофизиологических и гигиенических исследований воздействия светодиодного освещения на орган зрения и организм человека; описывается экспериментальная исследовательская установка; приводятся расчетные значения интегральных показателей эффективности светодиодного освещения; показывается практическая значимость полученных результатов.

Ключевые слова: светодиодное освещение, комплексная методика, экспериментальная исследовательская установка, гигиенические и психофизиологические исследования, эффективность, рекомендации.

STUDY OF THE CONDITIONS OF LED LIGHTING

**O. E. Zheleznikova, S. A. Amel'kina, L. V. Sinitsyna,
M. P. Kulikova**

The article considers the results of psychophysiological and hygienic researches on the evaluation of LED-based lighting influence on the human organs of vision and the organism in whole. Experimental research installation is described. We have calculated values of integrated indicators of LED lighting efficiency. The practical importance of results received is shown.

Keywords: led-based lighting, complex method, experimental research installation, hygienic and psychophysiological researches, efficiency, recommendations.

В настоящее время актуальной задачей светотехники является создание благоприятной цветоцветовой среды, которая предполагает использование света как для выполнения зрительной работы, так и для удовлетворения комплекса потребностей человека: психофизиологических, эргономических, психологических, экологических. С другой стороны, являются важными вопросы экономии электроэнергии, расходуемой на освещение. Решение этих задач возможно при использовании светодиодных источников света (ИС), которые сегодня являются одними из самых эффективных и перспективных.

Однако возможность использования светодиодов для создания комфортных

условий освещения требует весомых доказательств, которые могут быть получены путем всестороннего изучения влияния их излучения на орган зрения и организм человека в целом. В работах российских и зарубежных ученых практически нет описаний подобных исследований – встречаются только отдельные результаты о влиянии освещения светодиодами на некоторые функции зрения и зрительную работоспособность. Результаты этих исследований противоречивы и неоднозначны. Это дает основание считать проделанную работу, целью которой являлось проведение экспериментальных психофизиологических и гигиенических исследований по изучению воздействия свето-

диодного освещения на орган зрения и организм человека в целом, актуальной.

Анализ теоретического материала и экспериментальных исследований воздействия на зрительную работоспособность и утомление (факторов, связанных в первую очередь с условиями освещения), позволил нам разработать комплексную методику оценки влияния условий светодиодного освещения на состояние органа зрения и организма человека в целом [1–2].

На основе анализа существующих методик определения отдельных показателей были выбраны оптимальные, наиболее соответствующие поставленным задачам – психофизиологической

и гигиенической оценке эффективности условий светодиодного освещения. Так, изменения функционального состояния органа зрения предлагается оценивать на основании исследований аккомодационно-мышечного аппарата, а также рецепторного аппарата и центрального звена органа зрения.

Для проведения экспериментальных исследований была разработана и создана экспериментальная исследовательская установка (ЭИУ) общего освещения, смонтированная в лаборатории № 316 корпуса № 16 ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н. П. Огарева». Вид помещений, в которых проводились исследования, представлен на рис. 1.

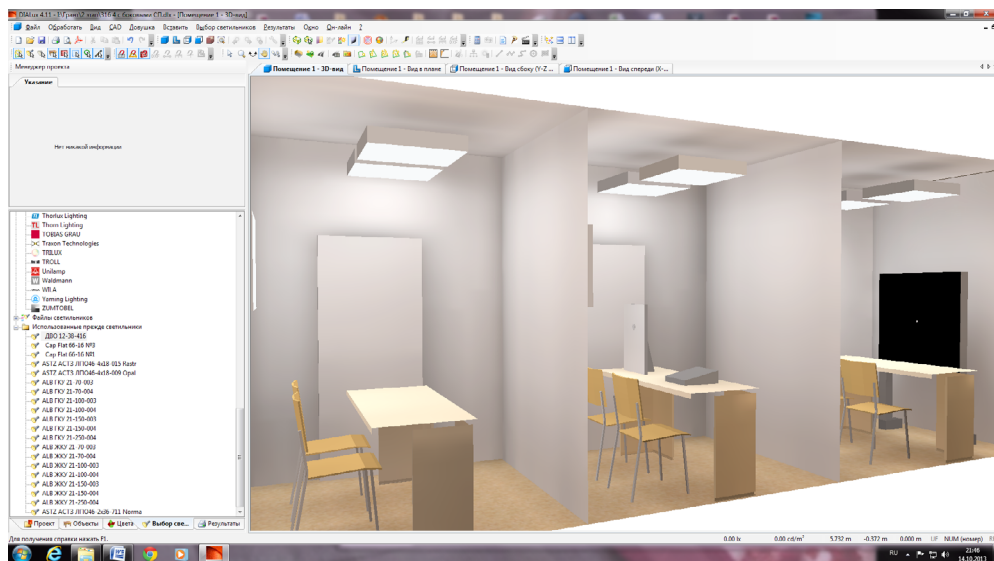


Рис. 1. Помещения для экспериментальных исследований

В качестве базовых ИС для сравнения со светодиодными были выбраны люминесцентные лампы (ЛЛ). Они были достаточно широко и глубоко обследованы с точки зрения психофизиологического и гигиенического воздействия их излучения на организм человека. Влиянию люминесцентного освещения на работу зрительного анализатора посвящено большое число работ различных специалистов и ученых, где установлено положительное влияние излучения ЛЛ на ор-

ган зрения и организм в целом при грамотном выполнении осветительной установки (ОУ).

Для экспериментальных исследований были выбраны светильники следующих производителей:

- совместного российско-корейского предприятия ООО «Непес Рус» (светильники со СД – Cap Flat 66-16);
- ОАО «Ардатский светотехнический завод» (светильники со СД –

ДВО12-38-001 Prizma и ЛЛ – ЛВО04-4х14-041 PRS, ЛВО04-4С18-041 PRS).

Требования к количественным и качественным показателям общего освещения в

помещениях общественных и административных зданий, где производятся зрительные работы разряда А-2, выбранного нами за базовый, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Нормируемые количественные и качественные показатели световой среды основных помещений общественных и административных зданий

| Помещения | Плоскость нормирования освещенности (Г – горизонтальная, В – вертикальная), м | Разряд и подразряд зрительной работы | Освещенность рабочей поверхности при общем освещении, лк | Объединенный показатель дискомфорта UGR, не более | Коэффициент пульсации освещенности, не более |
|---|---|--------------------------------------|--|---|--|
| Основные помещения общественных и административных зданий | Г-0,8 | А-2 | 400 | 21 | 10 |

В качестве модели зрительной работы выбрана работа умственного и корректорского типа продолжительностью 90 мин. Работа в течение 1,5 ч по выбранной модели эквивалента по зрительному утомлению работе в реальных производственных условиях в течение полного рабочего дня.

Экспериментальные исследования проводились при трех уровнях освещенности, которые являются наиболее характерными для выполнения зрительных работ в помещениях различного функционального назначения: 200, 400 и 1 000 лк. Кроме этого, варьировалась цветовая температура $T_{цв}$ излучения ИС: 3 000, 4 000 и 5 000 К.

Перед оборудованием экспериментальных помещений светильниками варианты освещения были смоделированы в программе DIALux. Это позволило выполнить требования нормативных документов [3], предъявляемые к общему освещению общественных и административных зданий. Моделирование вариантов освещения с помощью программы DIALux определило высоту

подвеса светильников, обеспечивающую на рабочей поверхности освещенность $E = 1\ 000$ лк. Другие, более низкие, уровни освещенности создавались диммированием светового потока.

В исследованиях принимали добровольное участие студенты в возрасте 20–25 лет. Предварительное обследование участников эксперимента включало определение рефракции, остроты зрения, а также проведение компьютерной томограммы сетчатки. У всех отобранных наблюдателей рефракция была преимущественно эметропической, острота зрения на оба глаза – 1,0, цветоощущение без патологии. Кроме этого студенты прошли электрокардиографическое и электроэнцефалографическое исследование функциональной активности головного мозга.

Отобранные наблюдатели в количестве 60 человек были случайным образом разбиты на две группы по 30 человек в каждой: контрольная (эксперимент при люминесцентном освещении) и основная (эксперимент при светодиодном освещении). Число наблюдателей

и количество экспериментов определялось согласно требованиям получения статистически достоверных данных и заданной продолжительности времени проведения исследований.

Перед началом экспериментальных исследований все наблюдатели прошли 10-дневную тренировку по методикам исследований до получения стабильных результатов.

По окончании экспериментальных исследований мы провели повторное обследование наблюдателей прошли повторное обследование, чтобы выявить, не оказывает ли светодиодное освещение отрицательного воздействия на орган зрения и соматический статус организма человека. Результаты эксперимента заносились в специальные протоколы, на основании которых проводилась их статистическая обработка с помощью пакета Statistica 6.0, после чего делались соответствующие заключения об эффективности условий освещения.

Согласно результатам исследований, проведенных с помощью разработанной комплексной методики психофизиологической и гигиенической оценки, нами был составлен психофизиологический

«портрет» утомления, дающий целостное представление о влиянии светодиодного освещения на орган зрения и организм человека в целом.

Проведение серии аналогичных экспериментов показало, что разработанная комплексная методика психофизиологической и гигиенической оценки эффективности светодиодного освещения успешно прошла апробацию в лабораторных условиях.

В ходе исследований также было установлено, что светодиодное освещение не вызывает вредного действия на орган зрения и организм человека в целом. Имевшие место при выполнении зрительных работ изменения исследованных функциональных показателей органа зрения и организма входят в соответствующие границы физиологических колебаний и имеют обратимый характер.

В качестве интегральных показателей эффективности светодиодного освещения нами были предложены степень зрительного утомления и зрительной работоспособности. В табл. 2 для исследованных условий освещения представлены результаты расчета зрительного утомления (ЗУ) по динамике временно-го порога ахроматической адиспаропии.

Таблица 2

Зрительное утомление (по данным времени ахроматической адиспаропии) в различных условиях освещения

| Е, лк | $T_{цв}^*$ К | Зрительное утомление при светодиодном освещении, % | Зрительное утомление при люминесцентном освещении, % |
|-------|--------------|--|--|
| 200 | 3 000 | 15,18 | 20,39 |
| 400 | | 12,17 | 18,27 |
| 1 000 | | 6,45 | 16,67 |
| 200 | 4 000 | 14,91 | 19,23 |
| 400 | | 11,21 | 17,14 |
| 1 000 | | 6,40 | 9,4 |
| 200 | 5 000 | 14,16 | 18,27 |
| 400 | | 11,97 | 17,14 |
| 1 000 | | 8,66 | 9,57 |

Показатель ЗУ рассчитывался по формуле:

$$A = \left(1 - \frac{t_j}{t_i}\right) \cdot 100\% , \quad (1)$$

где A – зрительное утомление; t_j – время ахроматической адиспароии после зрительной работы; t_i – время ахроматической адиспароии до зрительной работы.

Согласно табл. 2, с ростом уровня освещенности ЗУ снижается. Расчеты показали, что при $E = 1\ 000$ лк снижение ЗУ недостоверно ($p > 0,05$) при всех исследованных значениях $T_{цв}$ как при люминесцентном, так и при светодиодном освещении. Также было установлено, что при светодиодном освещении в процессе полуторачасовой зрительнапряженной работы развивается меньшее ЗУ. Наименьшее ЗУ при светодиодном освещении характерно для $T_{цв} = 4\ 000$ К и $T_{цв} = 5\ 000$ К при уровне освещенности $E = 400$ лк. Достоверность вли-

яния спектрального состава освещения на ЗУ была доказана во всех исследованных вариантах освещения с $p < 0,05$ по t – критерию Стьюдента.

Результаты исследования зрительной работоспособности методом корректурных проб приведены в табл. 3–4. Основные показатели данного метода (коэффициент точности K , коэффициент работоспособности I , скорость различения V) рассчитывались следующим образом:

$$K = \frac{a - (b + c)}{a + b} , \quad (2)$$

$$I = K \cdot d , \quad (3)$$

$$V = \frac{d}{t} , \quad (4)$$

где a – количество правильно проверенных букв, b – количество пропущенных букв, c – количество допущенных ошибок, d – количество всех букв в проверенном тесте, t – время теста (2 мин).

Таблица 3

Изменение коэффициента зрительной работоспособности I после зрительной нагрузки в условиях светодиодного освещения

| E, лк | $T_{цв}$, К | Условия светодиодного освещения | | | | | | | |
|-------|--------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------|
| | | До работы | | | После работы | | | Коэффициент корреляция | |
| | | I, зн., \bar{x} | Доверительный интервал | | I, зн., \bar{x} | Доверительный интервал | | r (между до и после работы) | $p(r)$ |
| | | | Нижняя граница ($p=0,05$) | Верхняя граница ($p=0,05$) | | Нижняя граница ($p=0,05$) | Верхняя граница ($p=0,05$) | | |
| 200 | 3 000 | 756 | 727 | 785 | 690 | 653 | 727 | 0,628 | $p < 0,05$ |
| 400 | | 783 | 761 | 804 | 771 | 752 | 790 | 0,860 | $p < 0,05$ |
| 1 000 | | 807 | 776 | 838 | 799 | 765 | 833 | 0,469 | $p < 0,05$ |
| 200 | 4 000 | 772 | 740 | 804 | 728 | 699 | 757 | 0,619 | $p < 0,05$ |
| 400 | | 799 | 780 | 818 | 796 | 786 | 807 | 0,221 | $p < 0,01$ |
| 1 000 | | 818 | 784 | 849 | 816 | 802 | 892 | 0,532 | $p < 0,05$ |
| 200 | 5 000 | 769 | 728 | 810 | 710 | 680 | 740 | 0,734 | $p < 0,05$ |
| 400 | | 784 | 757 | 811 | 770 | 753 | 786 | 0,212 | $p < 0,05$ |
| 1 000 | | 815 | 781 | 850 | 798 | 781 | 815 | 0,576 | $p < 0,05$ |

Изменение коэффициента зрительной работоспособности I после зрительной нагрузки в условиях люминесцентного освещения

| Е, лк | $T_{цв}, K$ | Условия люминесцентного освещения | | | | | | | |
|-------|-------------|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------|
| | | До работы | | | После работы | | | Коэффициент корреляция | |
| | | I, зн., \bar{x} | Доверительный интервал | | I, зн., \bar{x} | Доверительный интервал | | r (между до и после работы) | p(r) |
| | | | Нижняя граница (p=0,05) | Верхняя граница (p=0,05) | | Нижняя граница (p=0,05) | Верхняя граница (p=0,05) | | |
| 200 | 3 000 | 720 | 688 | 752 | 632 | 602 | 662 | 0,687 | p<0,05 |
| 400 | | 747 | 711 | 784 | 682 | 663 | 701 | 0,150 | p<0,05 |
| 1 000 | | 762 | 727 | 797 | 705 | 675 | 735 | 0,702 | p<0,05 |
| 200 | 4 000 | 731 | 689 | 773 | 651 | 618 | 684 | 0,637 | p<0,05 |
| 400 | | 754 | 711 | 798 | 693 | 658 | 727 | 0,595 | p<0,01 |
| 1 000 | | 777 | 741 | 816 | 726 | 692 | 761 | 0,537 | p<0,05 |
| 200 | 5 000 | 728 | 701 | 755 | 641 | 611 | 671 | 0,469 | p<0,05 |
| 400 | | 749 | 727 | 770 | 683 | 650 | 717 | 0,501 | p<0,05 |
| 1 000 | | 771 | 732 | 810 | 713 | 670 | 759 | 0,572 | p<0,05 |

Анализ данных табл. 3–4 показывает, что во всем исследованном диапазоне освещенностей при $T_{цв} = 3\ 000\ K$, $T_{цв} = 4\ 000\ K$ и $T_{цв} = 5\ 000\ K$ преимущество светодиодного освещения с позиции обеспечения большей зрительной работоспособности очевидно.

Достоверность различий I при различном спектральном составе и по-

стоянном уровне освещенности подтверждена t – критерием Стьюдента с высокими уровнями значимости практически во всех случаях. Результаты, представленные в табл. 5, позволяют утверждать, что спектральный состав излучения влияет на коэффициент зрительной работоспособности I .

Таблица 5

Достоверность изменения коэффициента зрительной работоспособности I после зрительной работы при различных вариантах освещения

| Е, лк | $T_{цв}, K$ | Вариант освещения | Достоверность различий с уровнем значимости p по t-критерию Стьюдента |
|-------|-------------|-------------------|---|
| 200 | 3 000 | СД – ЛЛ | – |
| 400 | | | <0,05 |
| 1 000 | | | <0,05 |
| 200 | 4 000 | СД – ЛЛ | <0,05 |
| 400 | | | <0,05 |
| 1 000 | | | <0,05 |

Окончание табл. 5

| | | | |
|-------|-------|---------|-------|
| 200 | 5 000 | СД – ЛЛ | – |
| 400 | | | <0,05 |
| 1 000 | | | <0,05 |

Следует отметить, что парный коэффициент корреляции r подтвердил ($p < 0,05$) наличие положительной корреляции между объемом абсолютной аккомодации (ОАА) и I после зрительной работы (табл. 6). Это позволяет сде-

лать вывод, что определенный вклад в повышение коэффициента зрительной работоспособности при светодиодном освещении вносит лучшая работа аккомодационно-мышечного аппарата органа зрения.

Таблица 6

Оценка статистической связи объема абсолютной аккомодации и коэффициента зрительной работоспособности после нагрузки в различных условиях освещения

| Е, лк | $T_{\text{цв}}, K$ | После работы в условиях светодиодного освещения | | Парный коэффициент корреляции r ($p < 0,05$) |
|-------|--------------------|---|----------------------|--|
| | | ОАА, дптр, \bar{x} | I , зн., \bar{x} | |
| 200 | 4 000 | 8,3 | 728 | 0,89 |
| 400 | | 8,8 | 796 | 0,91 |
| 1 000 | | 9,6 | 816 | 0,92 |

Проверка гипотезы о нормальности распределения численных значений качества работы (коэффициента точности K) была принята, поэтому статистическая обработка результатов осуществлена посредством параметрических критери-

ев статистики. Обработка значений коэффициента точности K при различном спектральном составе освещения показала, что различия во всех исследованных вариантах освещения оказались не значимыми (табл. 7).

Таблица 7

Достоверность изменения коэффициента точности K после зрительной работы при различных вариантах освещения

| Е, лк | $T_{\text{цв}}, K$ | Вариант освещения | Достоверность различий с уровнем значимости p по t -критерию Стьюдента |
|-------|--------------------|-------------------|--|
| 200 | 3 000 | СД – ЛЛ | – |
| 400 | | | – |
| 1 000 | | | – |
| 200 | 4 000 | СД – ЛЛ | – |
| 400 | | | – |
| 1 000 | | | – |
| 200 | 5 000 | СД – ЛЛ | – |
| 400 | | | – |
| 1 000 | | | – |

Полученные в ходе исследований результаты позволят сформулировать требования для устройства светодиодного освещения и разработать практические рекомендации по реализации освещения со светодиодными ИС, которые будут способствовать оптимизации условий труда при выполнении напряженных умственных и зрительных работ. Также материалы исследований могут служить

основой для внесения изменений в нормативные документы, определяющие требования к количественным и качественным показателям ОУ, выполняемых на основе светодиодных ИС. Предлагаемые изменения связаны с уточнением рекомендуемых значений цветовой температуры $T_{\text{ин}}$, объединенного показателя дискомфорта UGR и коэффициента пульсации освещенности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О разработке комплексной методики психофизиологической и гигиенической оценки светодиодного освещения / О. Е. Железникова [и др.] // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики : Сб. науч. тр. XI Междунар. научн.-техн. конф. (Саранск, 3–4 декабря 2013 г.) / Отв. ред.: О. Е. Железникова. – Саранск : Афанасьев В. С., 2013. – С. 149–153.
2. Разработка комплексной методики оценки влияния условий светодиодного освещения на состояние органа зрения и организма человека в целом / С. А. Амеликина [и др.] // Естественные и технические науки. – 2013. – № 5 (67). – С. 249–257.
3. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200084092>. – Дата обращения: 14.10.2013.

Поступила 19.12.2013 г.

Об авторах:

Железникова Ольга Евгеньевна, кандидат технических наук, заведующий кафедрой светотехники, декан светотехнического факультета, ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева» (г. Саранск, Россия), sarstf@mail.ru

Амеликина Светлана Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры светотехники факультета светотехники ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева» (г. Саранск, Россия), amelkinas@mail.ru

Синицына Людмила Васильевна, кандидат технических наук, доцент кафедры источников света факультета светотехники ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева» (г. Саранск, Россия), ivsinitina@mail.ru

Куликова Маргарита Павловна, кандидат медицинских наук, профессор кафедры госпитальной хирургии Медицинского института ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева» (г. Саранск, Россия), dalim4@mail.ru

Для цитирования: Исследование условий светодиодного освещения / О. Е. Железникова [и др.] // Вестник Мордовского университета. – 2014. – № 1. – С. 89–97.

REFERENCES

1. Amel'kina S. A, Zheleznikova O. E, Kiryuchina S. V., Sinitsyna L. V. Razrabotka kompleksnoj metodiki ocenki vlijaniya uslovij svetodiodnogo osvshhenija na sostojanie organa zrenija i organizma cheloveka v celom [Elaboration of the complex methodology for the estimation of led-based lighting influence of the human organ of vision and the entire organism]. *Estestvennyye i tehniczeskie nauki* – Natural and technical Sciences. 2013, vol. 67, no. 5, pp. 249 – 257.
2. Zheleznikova O. E, Amel'kina S. A, Sinitsyna L. V., Aksenova S.V., Kiryukhina S.V. About the development of integrated methods of psycho-physiological and hygienic estimation of led lighting. [O razrabotke

kompleksnoj metodiki psihofiziologicheskoj i gigienicheskoj ocenki svetodiodnogo osveshhenija]. *Problemy i perspektivy razvitiya otechestvennoj svetotehniki, jelectrotehniki i jenergetiki: Sb. nauch. tr. XI Mezhdunar. nauchn.-tehn. konf., Saransk, 3–4 dekabnja 2013 g.* – Problems and prospects of development of domestic lighting, electrical engineering and energy: proceedings of XI international scientific and technical conference, Saransk, December 3 to 4, 2013, V. Afanasiev. Saransk, 2013, pp. 149 – 153.

3. SR 52. 13330.2011 Estestvennoe i iskusstvennoe osveshhenie [Natural and artificial lighting]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200084092>.

About the authors:

Zheleznikova Ol'ga Evgen'evna, Associate Professor (docent), head of Light Engineering chair, dean of Department of Light Engineering, Ogarev Mordovia State University (Saransk, Russia), Kandidat Nauk (PhD) degree holder in Technical sciences, sarstf@mail.ru

Amel'kina Svetlana Anatol'evna, Associate Professor (docent) of Light Engineering chair of Department of Light Engineering, Ogarev Mordovia State University (Saransk, Russia), Kandidat Nauk (PhD) degree holder in Technical sciences, amelkinas@mail.ru

Sinicyna Ljudmila Vasil'evna, Associate Professor (docent) of Light Sources chair of Department of Light Engineering, Ogarev Mordovia State University (Saransk, Russia), Kandidat Nauk (PhD) degree holder in Technical sciences, lvsinitsina@mail.ru

Kulikova Margarita Pavlovna, professor of Hospital Surgery chair of Institute of Medicine of Ogarev Mordovia State University (Saransk, Russia), Kandidat Nauk (PhD) degree holder in Medical sciences, dalim4@mail.ru

For citation: Zheleznikova O. E., Amel'kina S. A., Sinitsyna L. V., Kulikova M. P. Issledovanie uslovij svetodiodnogo osveshhenija [Study of the Conditions of Led Lighting]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta – Mordovia University Bulletin*. 2014, no. 1, pp. 89 – 97.