

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ОСВЕЩЕНИЯ С ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМИ ЛАМПАМИ И СВЕТОДИОДНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ СВЕТА

1. Цель исследований

Целью настоящих исследований являлось определение возможности применения светодиодного освещения для общего освещения в жилых и общественных зданиях, промышленных зданиях и сооружениях, на железнодорожном транспорте (подвижной состав, здания, территории), метрополитене.

2. Организация, методы и объем исследований

Концепция настоящих научных исследований заключалась в изучении сравнительной динамики психофункционального состояния добровольцев-волонтеров при значительной зрительной и умственной нагрузке при работе в условиях общего освещения, организованного светодиодами и люминесцентными лампами.

Сравнительная гигиеническая оценка общего искусственного освещения с использованием светодиодов и люминесцентных разрядных источников света проведена в экспериментальных условиях.

Контрольное и экспериментальное помещения (люминесцентное освещение и светодиоды) оборудованы рабочими местами для размещения добровольцев-волонтеров, выполняющих зрительную работу с умственной компонентой.

Условия освещения контрольного и экспериментального помещений соответствовали требованиям СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 на протяжении всех исследований:

- освещенность, лк	400
- показатель дискомфорта, отн. ед.	< 15
- коэффициент пульсаций светового потока, %	< 10
- коррелированная цветовая температура, град. К	3500– 4500

В контрольном помещении использованы световые приборы — растровые светильники LIGHTINGTECHNOLOGIES ARS/R 218 с люминесцентными лампами с улучшенным коэффициентом цветопередачи.

Экспериментальное помещение было оборудовано экспериментальными светильниками Betalux4 со светодиодами мощностью 1 Вт, оснащенными рассеивателями.

Плотности спектрального распределения излучения от используемых светодиодных источников света и люминесцентных ламп проиллюстрированы рис. 1.

В экспериментальных исследованиях были заняты добровольцы-волонтеры в возрасте от 20 до 35 лет с нормальным зрением или с его очковой коррекцией, неврологически здоровые.

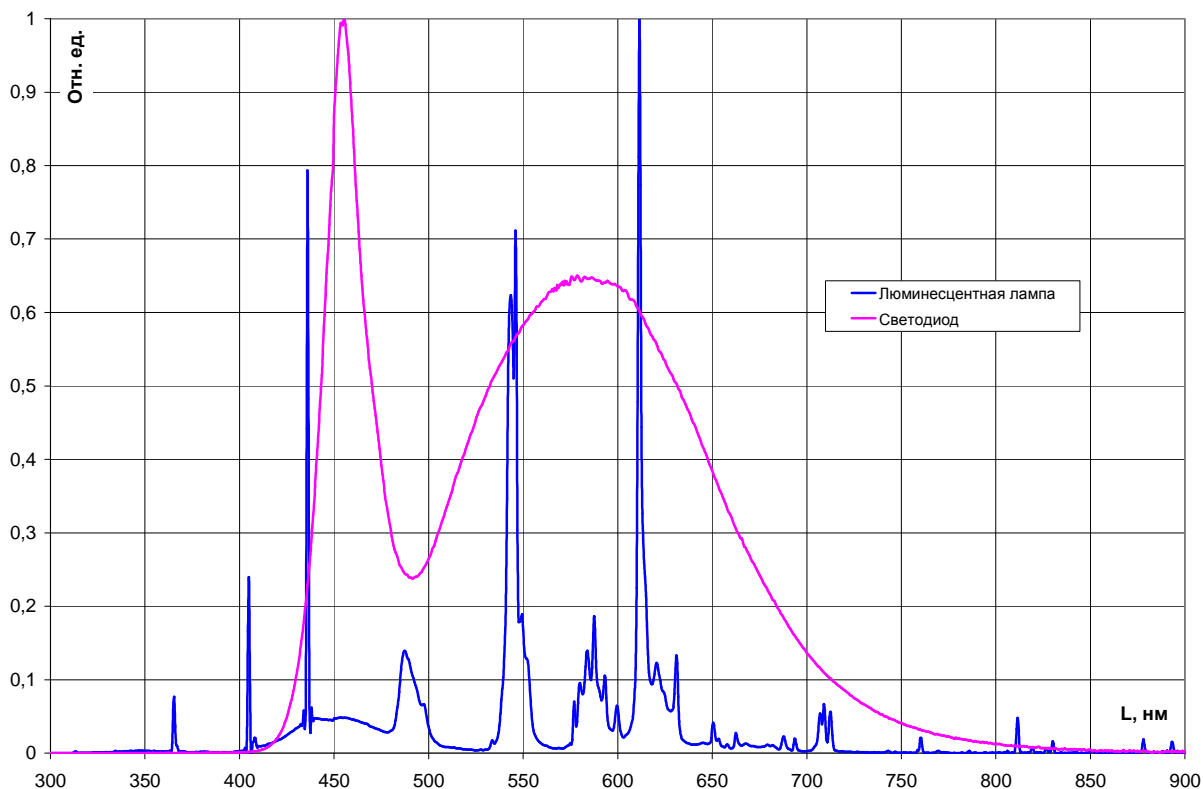


Рис. 1. Плотность спектрального распределения светодиода и люминесцентной лампы

Изучался комплекс психофизиологических показателей и показателей функционального состояния организма. Динамика уровней исследуемых показателей от начала к концу эксперимента служила мерой утомления испытуемых от работы в изучаемых условиях освещения.

Функциональной нагрузкой служила непрерывная полуторачасовая работа корректорского типа, обеспечивающая адекватное утомление рабочего дня в производственных условиях.

Работоспособность в исследованиях определялась двумя показателями: количеством просмотренных знаков (производительность) и количеством ошибок (качество корректурной пробы).

Объем исследований составил более 1500 измерений в каждом из изучаемых условий.

Для оценки утомления психофизиологического состояния организма были использованы методы исследований, представленные в таблице 1.

Для оценки изменения функционального состояния организма под воздействием различных условий освещения использовались методы исследования состояния кардиоваскулярной системы, вегетативного гомеостаза.

Для решения поставленных задач у 11 волонтеров в течение эксперимента (90 мин.) проведено мониторингирование основных показателей

сердечно-сосудистой системы (ССС), измерение параметров variability сердечного ритма по данным кардиоинтервалографии (КИГ), оценка адаптационных возможностей организма проводились до и после нагрузки.

Таблица 1

**Методы психофизиологического обследования
для оценки утомления оператора при различном освещении рабочего места**

Группа показателей	Метод обследования	Показатели
1. Показатели утомления зрительного анализатора	1. «Критическая частота слияния мельканий»	Критическая частота слияния мельканий (КЧСМ)
	2. «Простая сенсомоторная реакция на световой раздражитель»	Латентный компонент сенсомоторной реакции
2. Показатели концентрации, переключения и распределения внимания	3. «Корректирующая проба»	Показатель концентрации внимания (скорость поиска символов)
	4. «Экстренный выбор»	Показатели переключения внимания (точность и скорость выбора ответов, интегральный показатель)
	5. «Выбор по памяти»	Показатель распределения внимания
3. Сила и уравновешенность процессов возбуждения и торможения	6. «Теппинг-тест динамический»	Показатели силы нервных процессов (коэффициент регрессии скорости последовательных ответов, интегральный показатель силы нервных процессов)
	7. «Чувство времени»	Показатель силы тормозных процессов
	8. «Реакция на движущийся объект»	Показатель уравновешенности нервных процессов
4. Эмоциональные компоненты	Опросник САН	Самочувствие, активность, настроение

Ряд показателей (переключение и распределение внимания, сила и уравновешенность процессов возбуждения и торможения) изучались в связи с их актуальностью для рабочих мест на железнодорожном транспорте и метрополитене.

3. Результаты исследований

Показатели работоспособности по производительности и качеству корректурной работы в контрольных и экспериментальных условиях освещения приведены в таблице 2.

Показатели работоспособности в зависимости от условий освещения

Показатели работоспособности	Освещение с использованием люминесцентных ламп	Освещение с использованием светодиодов
Производительность (количество просмотренных знаков)	23044±962	23602±1000
Качество работы (количество ошибок)	124±12	117±12

Изучение различий между двумя попарными выборками показало их статистическую ($p \leq 0,001$) тождественность.

Полученные данные с высокой степенью достоверности свидетельствуют, что работоспособность и в тех и в других условиях была одинаковой, как по производительности, так и по качеству работы.

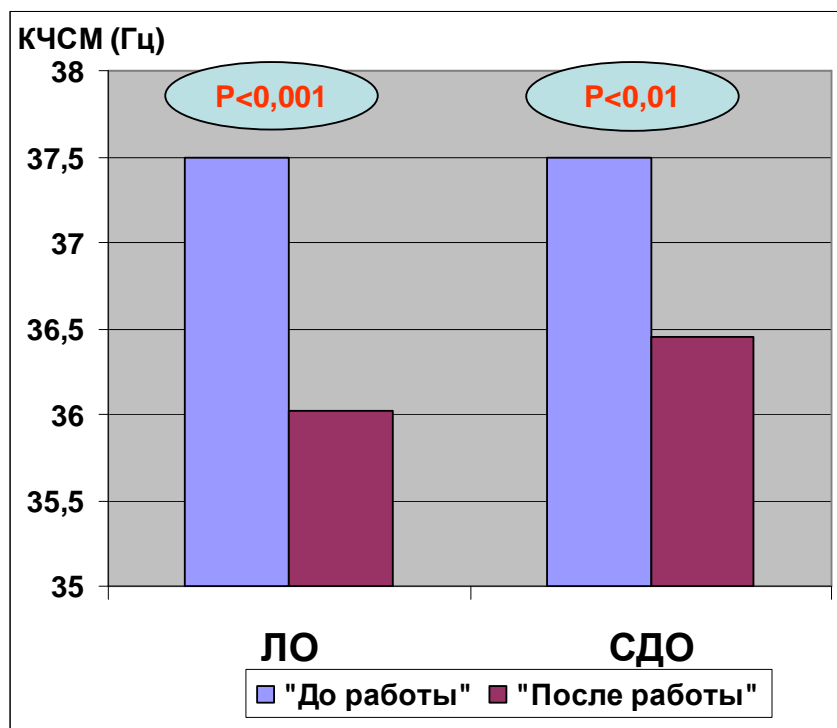
При оценке динамики психофизиологического состояния работающих в различных условиях освещения выявлено преимущество светодиодного освещения по сравнению с люминесцентным. Получено, что динамика показателей, достоверно свидетельствующая о развитии утомления, выявлена только по одному из 15 изученных показателей при светодиодном освещении; при люминесцентном освещении — уже по 9 показателям. Тождественные изменения показателей при различных условиях освещения выявлены в 5 случаях.

Наиболее выраженные различия в изменениях психофизиологического состояния можно проиллюстрировать динамикой показателя КЧСМ, используемого в гигиенических исследованиях как показатель интегрального состояния зрительного анализатора (чем выше уровень КЧСМ, тем менее утомлен глаз).

На рис. 2 представлена динамика этого показателя в различных условиях освещения.

Отрицательная динамика в условиях люминесцентного освещения составляет 5 % ($p \leq 0,00$), в то время как в условиях светодиодного освещения — только 1,8% ($p \leq 0,01$).

Аналогичные данные, достоверно свидетельствующие в пользу светодиодного освещения, получены и по показателю «простой сенсомоторной реакции» (латентный компонент) [таблица 3].



*Рис. 2. Динамика показателя КЧСМ (критическая частота слияния мельканий)
ЛО – люминесцентное освещение
СДО – светодиодное освещение*

Таблица 3

Латентный компонент сенсомоторной реакции

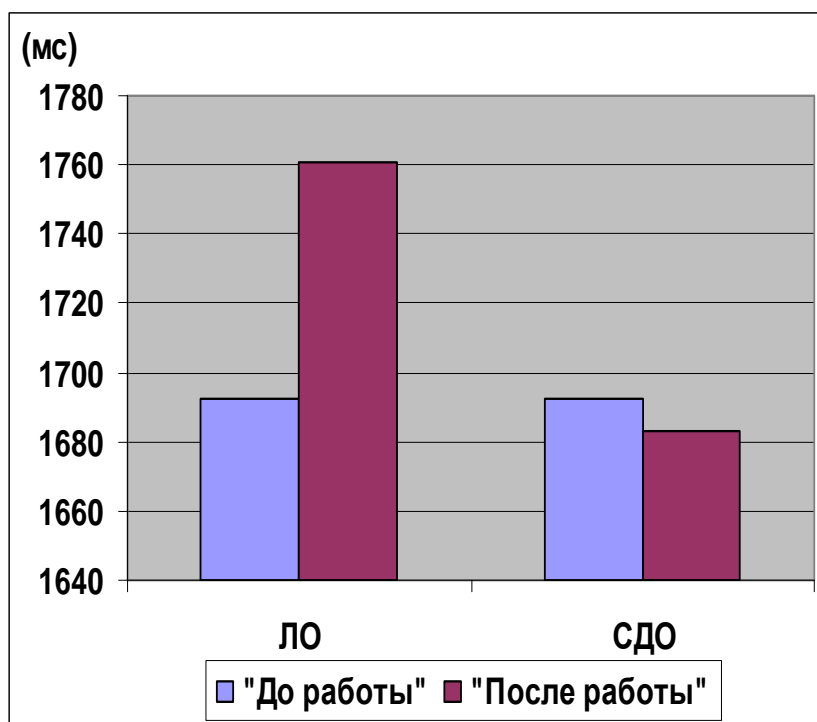
Латентный период (мс)	Люминесцентное освещение	Светодиодное освещение
	М ± σ	М ± σ
"До работы"	212,6 ± 25,9	214,5 ± 39,2
"После работы"	208,9 ± 22,2	207,2 ± 23,7
d ("До"- "После")	3,60	7,28
D ("До"- "После") %	1,69 %	3,39 %
Достоверность	–	P < 0,05

d — динамика абсолютных показателей (Гц)

D — динамика относительных показателей (%)

Чем меньше латентный период реакции, тем лучше психофизиологическое состояние.

Динамика показателя «концентрации внимания» (время операций в корректурной пробе) иллюстрирует также преимущество светодиодов перед люминесцентным освещением (рис. 3). При люминесцентном освещении увеличивается время на одну операцию, то есть проявляется заторможенность ответной реакции. При светодиодном освещении это явление не наблюдается.



*Рис. 3. Динамика показателя концентрации внимания (время операций в корректурной пробе)
ЛО – люминесцентное освещение
СДО – светодиодное освещение*

Функциональное состояние организма волонтеров в условиях различного освещения представлено в таблице 4.

Таблица 4

Средние значения ($M \pm \sigma$) основных показателей сердечно-сосудистой системы у волонтеров на 15' и 90' нагрузки в условиях люминесцентного и светодиодного освещения

Показатели	Условия освещения			
	Люминесцентное		Светодиодное	
	На 15' нагрузки	на 90' нагрузки	На 15' нагрузки	на 90' нагрузки
САД мм рт.ст.	124,5 ± 9,20	128,2 ± 11,62	124,6 ± 9,20	123,6 ± 12,21
ДАД мм рт.ст.	72,1 ± 9,63	76,9 ± 10,39	72,0 ± 10,69	73,4 ± 14,22
Пульсовое АД	54,4 ± 10,7	51,2 ± 13,89	51,6 ± 11,78	46,6 ± 12,94
ЧСС (уд.в 1')	76,6 ± 11,28	69,3 ± 8,72	75,4 ± 9,07	67,6 ± 9,62
Ср. АД	88,6 ± 7,55	92,1 ± 10,56	87,6 ± 10,69	90,0 ± 9,31
ИДП усл.ед.	94,6 ± 15,28	89,8 ± 13,70	93,6 ± 12,38	82,93 ± 13,39

САД — систолическое артериальное давление
ДАД — диастолическое артериальное давление
ЧСС — частота сердечных сокращений

Отмечается уменьшение индекса «двойное произведение» (ИДП), который является одним из основных показателей физического (соматического) здоровья. Чем ниже ИДП в покое, тем выше максимальные аэробные возможности и уровень соматического здоровья. У волонтеров к окончанию нагрузки при люминесцентном освещении ИДП снизился на 4,8 усл. ед., при светодиодном — на 10,7 усл. ед.

Снижение ЧСС, пульсового АД, ИДП характеризуют высокие резервные возможности организма, которые в условиях эксперимента были выше у волонтеров при светодиодном освещении.

Следует обратить отдельное внимание на распределение уровней адаптации среди волонтеров (таблица 5).

Таблица 5

Распределение уровней адаптации среди волонтеров до и после нагрузки в условиях люминесцентного и светодиодного освещения

Уровни Адаптации	Условия освещения							
	люминесцентное освещение				Светодиодное освещение			
	до нагрузки (n=79)		после нагрузки (n=79)		до нагрузки (n=83)		после нагрузки (n=83)	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Удовлетворительная адаптация	74	93,7	56	70,9	77	92,8	68	82,0
Напряжение адаптации	5	6,3	17	21,5	5	6,0	10	12,0
Неудовлетворительная адаптация	-	-	6	7,6	1	1,2	5	6,0
Срывы адаптации	-	-	-	-	-	-	-	-

n — общее количество исследований

N — количество случаев

После проведения нагрузки в группе волонтеров при люминесцентном освещении отмечается достоверное снижение удовлетворительного уровня адаптации на 22,8% (до 70,9%; $p \leq 0,05$), в 3,4 раза возросла частота встречаемости напряжения адаптации (до 21,5%), стали отмечаться случаи неудовлетворительной адаптации (7,6%).

В группе волонтеров при светодиодном освещении после нагрузки также отмечается снижение адаптационного потенциала, но менее выраженное. Удовлетворительный уровень адаптации снизился на 10,8% (до 82%), в 2 раза возросла распространенность напряжения адаптации (до 12,0%), увеличились случаи неудовлетворительной адаптации (до 6,0%).

То есть, интенсивная зрительная и умственная экспериментальная нагрузка ведет к снижению адаптационного потенциала у волонтеров, однако в условиях светодиодного освещения, по сравнению с люминесцентным, почти в 2 раза реже отмечается напряжение адаптации.

4. Выводы

Результаты сравнительной гигиенической оценки общего искусственного освещения, организованного люминесцентными лампами и светодиодными источниками света, в экспериментальных исследованиях с участием добровольцев-волонтеров мужского пола в возрасте от 20 до 35 лет позволяют сделать следующие выводы:

1. При нормативных показателях условий освещения: освещенность 400 лк, показатель дискомфорта — не более 15 ед., пульсация освещенности — не более 10% — работоспособность взрослых людей мужского пола при выполнении работы корректорского типа с дифференцировкой (преимущественно зрительная нагрузка с умственной компонентой) не зависит от используемых источников света — люминесцентных ламп или светодиодов.

2. Выявлено, что динамика ряда показателей психофизиологического состояния работающих после интенсивной полуторачасовой зрительной и умственной нагрузки, имитировавшей полный рабочий день, имела положительную направленность, которая при светодиодном освещении была более выраженной, чем при люминесцентном, т. е. следует ожидать, что светодиодное освещение обеспечит более длительную продолжительность устойчивой работоспособности, чем традиционное люминесцентное освещение.

3. Мониторинг основных показателей сердечно-сосудистой системы во время проведения нагрузки позволило установить, что средние значения систолического, диастолического, пульсового артериального давления, частоты сердечных сокращений, вариабельность систолического и диастолического давления в условиях люминесцентного и светодиодного освещения статистически равны.

4. Частота встречаемости отклонений артериального давления при проведении нагрузки в условиях люминесцентного и светодиодного освещения находится в пределах нормы ($ИВ \leq 15\%$). Статистических различий значений индекса времени в зависимости от условий освещения не выявлено. Это может свидетельствовать о том, что эпизоды артериальной гипертензии и гипотензии у волонтеров обусловлены влиянием умственной нагрузки на функциональное состояние организма и не зависят от данных условий освещения.

5. При светодиодном освещении в отличие от люминесцентного, к окончанию функциональной нагрузки отмечено снижение частоты сердечных сокращений, пульсового артериального давления, индекса «двойное произведение», при адекватности процессов регуляции, что характеризует высокие резервные возможности организма в данных условиях.

6. Установлено, что интенсивная умственная нагрузка в обоих случаях ведет к снижению адаптационного потенциала у волонтеров, однако в условиях светодиодного освещения, по сравнению с люминесцентным, почти в 2 раза реже отмечается напряжение адаптации (12,0% при светодиодном освещении

против 21,5% при люминесцентном освещении).

7. Кардио-спектральный анализ показал, что при светодиодном освещении, в отличие от люминесцентного, у волонтеров после выполнения умственной нагрузки изменяется спектр variability сердечного ритма: снижается вклад низкочастотного компонента и увеличивается доля очень низкочастотного компонента. Это свидетельствует о торможении гормонального вклада (снижении симпатических влияний) и доминировании «нейрогенной» составляющей регуляции, что характеризует повышение адаптационных возможностей и улучшение функционального состояния организма.

8. Результаты исследований позволяют рекомендовать применение светодиодов в системах общего освещения в помещениях, для которых характерно выполнение работ со зрительной и умственной нагрузкой, требующих напряжения нервной системы, организма в целом, т.е. в производственных, административных и общественных зданиях различного целевого назначения, предназначенных для взрослых пользователей, а также на объектах железнодорожного транспорта, за исключением особо ответственных рабочих мест (кабины машинистов), что требует специальных исследований.

В отдельную группу исследований следует выделить и использование светодиодов в помещениях, предназначенных для детей и подростков.