


Кудряшов Алексей Валерьевич

**НОРМАЛИЗАЦИЯ СВЕТОВОЙ СРЕДЫ
ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПЭВМ
(на примере предприятий электроэнергетики)**

Специальность 05.26.01 – «Охрана труда (электроэнергетика)»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Челябинск
2006

Работа выполнена в Южно-Уральском государственном университете.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Сидоров А.И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки
Российской Федерации
Яговкин Г.Н.,
доктор технических наук, профессор
Кузнецов К.Б.

Ведущее предприятие – «ГОУ ВПО» Уральский государственный
технический университет (УГТУ–УПИ)

Защита состоится 29 июня 2006 г., в 10 часов, в ауд. 1001 на заседании
диссертационного совета Д 212.298.05 при Южно-Уральском государственном
университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ЮУрГУ.
Факс (351) 267-94-49.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан “ ____ ” _____ 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



Ю.С.Усынин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Производственная деятельность операторов, обслуживающих сложные, насыщенные устройствами автоматики и вычислительной техники энергетические объекты, связана со значительной психологической напряжённостью, которая является следствием высокой ответственности производимых работ.

Ситуация осложняется неудовлетворительными условиями труда, которые негативно влияют на работоспособность и производительность труда персонала. Особое значение хотелось бы уделить часто встречающимся несоответствиям фактических показателей световой среды нормативным значениям. Осветительные установки в течение длительного времени не подвергались гигиеническому контролю или он проводился формально, что привело к тотальному несоблюдению требований нормативных документов, касающихся условий труда, проектировщиками осветительных установок, лицами, занимающимися их эксплуатацией, и специалистами по охране труда.

В настоящее время большинство рабочих мест дежурного персонала объектов энергетики оборудовано персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ), которые оказывают дополнительное негативное влияние на работников, причём последствия этого влияния проявляются не сразу, а через определённый срок.

Вопросы воздействия факторов, возникающих при использовании ПЭВМ, на данный момент полностью не изучены и поэтому требуют углублённых исследований. Возникает необходимость дополнительной оценки влияния на человека различных факторов: эргономических показателей, шума, электромагнитных полей и аэроионизации, в том числе и параметров световой среды.

Эти вопросы особенно актуальны, когда речь идёт о дежурном персонале электрических подстанций 500 кВ, так, ошибочные действия этих работников могут привести к серьёзным последствиям, например к сбоям в работе энергосистем.

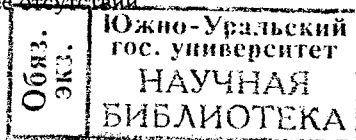
Цель работы – на основании математической теории планирования эксперимента, установить факторы, существенно влияющие на зрительную утомляемость операторов ПЭВМ, занятых на предприятиях электроэнергетики, нормализация которых позволит обеспечить улучшение условий труда по показателям искусственного освещения.

Идея работы – применение корректурной пробы для оценки зрительной утомляемости операторов ПЭВМ.

Научные положения и результаты, выносимые на защиту.

1. Пульсация освещённости является определяющим фактором, влияющим на зрительную утомляемость операторов ПЭВМ.

2. При 25-процентной глубине пульсации освещённости зрительное утомление операторов растёт быстрее и к концу 8-часовой рабочей смены достигает на 13,5% больших значений, чем при её отсутствии.



3. На предприятиях филиала ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Урала 100% рабочих мест, оборудованных ПЭВМ, характеризуются вредными условиями труда по фактору «освещение».

4. Применяемые на предприятиях филиала ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Урала осветительные установки характеризуются значениями коэффициента пульсации освещённости, превышающими 5%.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются корректным использованием аппарата математической статистики и теории планирования эксперимента, удовлетворительной оценкой воспроизводимости опытов.

Значение работы. **Научное значение работы** заключается в том, что:

– установлены факторы, существенно влияющие на зрительное утомление операторов персональных электронно-вычислительных машин;

– получены математические зависимости степени зрительного утомления от времени работы при 25-процентной и нулевой глубине пульсации освещённости;

– определено возможное зрительное утомление операторов ПЭВМ, работающих по 12-часовой рабочей смене;

– доказана обоснованность требований к величине коэффициента пульсации освещённости для рабочих мест, оборудованных ПЭВМ, показана целесообразность обеспечения отсутствия пульсации освещённости для таких мест.

Практическое значение работы заключается в следующем:

– на основании исследования параметров современных источников света, представленных на рынке светотехнических изделий, разработаны рекомендации для нормализации параметров световой среды;

– установлен социально-экономический эффект, который может быть получен в результате приведения условий труда к норме по показателю «коэффициент пульсации освещённости».

Реализация выводов и рекомендаций работы:

– результаты работы с целью её реализации переданы в филиал ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Урала;

– научные положения, результаты, рекомендации использованы Южно-Уральским государственным университетом при подготовке специалистов по «Безопасности жизнедеятельности в техносфере» (лекционные курсы «Безопасность труда» и «Управление безопасностью жизнедеятельности»).

Апробация работы. Основные материалы и результаты диссертационной работы были доложены, рассмотрены и одобрены:

– на второй Всероссийской научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии» (Челябинск, 2003 г.);

– на 1-й Международной конференции «Безопасность. Технологии. Управление» (Тольятти, 2005 г.);

- на ежегодных Всероссийских научно-технических конференциях «Наука – производство – технология – экология» (ВятГУ, Киров, 2005, 2006 гг.);

- на региональной научно-практической конференции «Экология. Риск. Безопасность» (Курган, 2005 г.);

- на ежегодной заочной электронной конференции «Современные наукоёмкие технологии» (Москва, 2006 г.);

- на ежегодных научно-технических конференциях Южно-Уральского государственного университета (Челябинск, 2004 – 2006 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав и заключения, изложенных на 161 странице машинописного текста, содержит 26 рисунков, 29 таблиц, список используемой литературы из 110 наименований и приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Для освещения производственных помещений по экономическим, техническим, эксплуатационным причинам могут использоваться различные типы источников искусственного света, однако, освещение, создаваемое ими не всегда удовлетворяет санитарно-гигиеническим требованиям. Результаты исследования их характеристик показывают целесообразность использования осветительных установок на основе ламп накаливания (включая галогенные) и люминесцентных ламп (включая компактные люминесцентные лампы). Люминесцентное освещение по экономическим и гигиеническим показателям имеет целый ряд преимуществ, но характеризуется значительной пульсацией светового потока, с которой связано ухудшение работы зрительного анализатора. Наиболее эффективным способом улучшения характеристик люминесцентного освещения следует признать использование индивидуальных электронных высокочастотных пускорегулирующих аппаратов.

Неправильное освещение может представлять значительную угрозу для здоровья работников, причинами во многих случаях являются слишком низкие уровни освещённости, слепящее действие источников света, соотношение яркостей, которое недостаточно хорошо сбалансировано, пульсации освещённости. Большой вклад в изучение влияния параметров осветительных установок на утомляемость работников внесён такими учёными как В.Г. Самсонова, В.А. Ильянок, Ц.И. Кроль, Ф.М. Черниловская, Г.Н. Яговкин и другими.

Следует отметить, что благодаря специфике производственных задач в большей степени негативному воздействию факторов световой среды подвержены операторы ПЭВМ.

Большинство рабочих мест дежурного персонала электрических подстанций 500 кВ (такие как места дежурного инженера и дежурного электромонтёра на главном щите управления) оборудованы ПЭВМ.

Дополнительным неблагоприятным фактором для указанных работников является работа в ночную смену (при 12-часовом графике). Следует помнить, что большое количество электрических подстанций располагается в северных районах, характеризующихся недостатком естественного освещения в зимний период.

В 2005 году кафедрой «Безопасность жизнедеятельности», была завершена аттестация рабочих мест по условиям труда основных подразделений МЭС Урала. Всего было подвергнуто аттестации около 500 рабочих мест, на которых занято более 1000 работников.

Согласно диаграмме, приведенной на рис. 1, в подразделениях МЭС Урала эксплуатируются осветительные установки на основе различных типов ламп.

Среди них светильники с лампами накаливания (ЛН), двухламповые светильники с люминесцентными лампами типа ЛБ и ЛД, 4-ламповые растровые зеркальные светильники преимущественно импортного производства с лампами типа ТЛД, а также одиночные лампы ДРЛ.

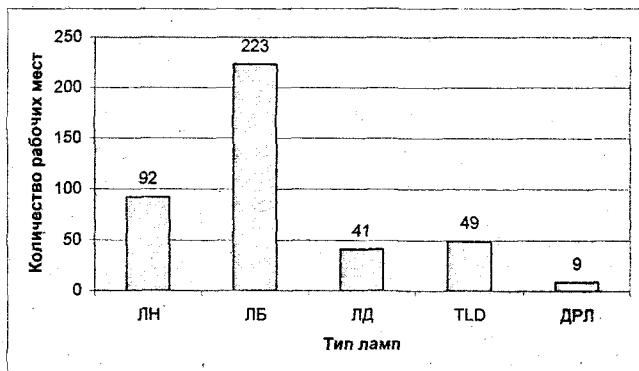


Рис. 1. Типы ламп, используемые для освещения рабочих мест МЭС Урала

Наиболее часто (на 223 рабочих местах) встречаются лампы ЛБ. Для освещения небольших помещений (на 92 рабочих местах), несмотря на неэкономичность, продолжают использоваться ЛН.

Широкое распространение (49 рабочих мест) в последнее время получили импортные 4-ламповые светильники с лампами типа ТЛД, которые используются, в основном, для освещения кабинетов административных помещений.

Согласно диаграмме, приведенной на рис. 2, все перечисленные типы ламп не отвечают требованиям нормативных документов по показателю «коэффициент пульсации освещенности» (K_p). Средние значения K_p указанных типов ламп намного превышают допустимый уровень (5%).

Известно, что использование двухламповых светильников с лампами ЛБ, подключенными по схеме с отстающим и опережающим током или включение ламп в различные фазы электрической сети позволяют снизить значение Кп до 10–11%. Так как в нашем случае среднее значение Кп для ламп ЛБ составило 22,5% можно сделать вывод, что указанные технические мероприятия выполняются не всегда, кроме того, эксплуатируется большое количество неисправных ламп (не горящих или неспособных к нормальному включению), что приводит к ещё большим значениям Кп (до 35%).

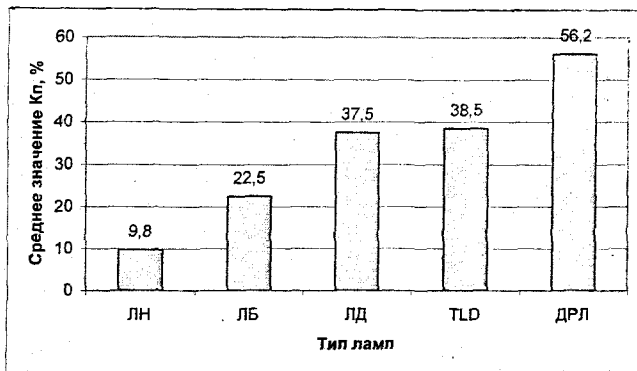


Рис. 2. Средние значения Кп для различных типов ламп

Следует обратить внимание на то, что не отвечают требованиям норм недавно смонтированные осветительные установки, укомплектованные импортными 4-ламповыми растровыми зеркальными светильниками с лампами типа ТЛД и отвечающие современным эстетическим требованиям. В итоге новые, внешне эффектные системы освещения, обеспечивающие достаточное количество света, не соответствуют нормативным требованиям по качеству освещения и являются вредными с точки зрения условий труда.

Среднее значение Кп для ламп ТЛД составило 38,5%, что значительно превышает допустимый уровень. Такое освещение даже визуально воспринимается как пульсирующее, что подтверждается многочисленными жалобами работников. Широкое внедрение таких светильников привело к массовому нарушению требований норм по пульсации освещённости в кабинетах, где выполняется напряжённая зрительная работа на компьютерах и с документами.

Лампы накаливания также характеризуются пульсирующим излучением. Среднее значение Кп для этих ламп составило 9,8%, что больше норматива. Таким образом, возможность применения ЛН ограничивается не только по причине их неэффективности, но и из-за пульсации освещённости.

Лампы типа ДРЛ характеризуются очень высоким значением коэффициента пульсации освещённости – 56,2%, поэтому крайне нежелательно применять их для освещения любых производственных помещений.

В результате проведения аттестации сделаны следующие выводы:

1. Оценены условия труда по показателям световой среды на 414 рабочих местах, на которых заняты 784 работника. ПЭВМ оборудовано 249 рабочих мест (60%), на которых заняты 451 работник (58%).

2. 81% рабочих мест, не оборудованных ПЭВМ, и 100% рабочих мест, оборудованных ПЭВМ, характеризуются вредными условиями труда по фактору «освещение».

3. На рабочих местах, не оборудованных ПЭВМ, вредные условия труда наблюдаются благодаря несоответствию требованиям нормативных документов освещённости рабочих поверхностей (53% рабочих мест) и пульсации освещённости (60% рабочих мест). Такие показатели, как «КЕО» и «прямая блескость» не играют решающей роли при определении класса условий труда по показателю «освещение».

4. На рабочих местах, оборудованных ПЭВМ, вредные условия труда наблюдаются благодаря несоответствию требованиям нормативных документов освещённости рабочих поверхностей (51% рабочих мест) и пульсации освещённости (99,6% рабочих мест). Такие показатели, как «КЕО», «Е экр», «отражённая блескость», «яркость светящихся поверхностей» на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ, не играют решающей роли при определении класса условий труда по показателю «освещение».

В данной работе оценено влияние параметров искусственного освещения на утомляемость операторов ПЭВМ, занятых на работе в предприятиях электроэнергетики.

Для проведения исследований была создана экспериментальная установка, позволяющая смоделировать различные параметры световой среды на рабочем месте оператора ПЭВМ. Опыты проводились в камере, изолированной от попадания естественного света шторой из тёмного непрозрачного материала. Установка состоит из системы общего равномерного освещения, включающей различные типы ламп и ПЭВМ со специальным программным обеспечением, позволяющей производить оценку зрительного утомления оператора.

Светильники с люминесцентными лампами различаются по характеристикам, один из них укомплектован традиционным электромагнитным пускорегулирующим аппаратом, и при оснащении лампами типа ЛБ-40 обеспечивает пульсацию освещённости на уровне 23–25%. Другой светильник укомплектован электронным высокочастотным (50 кГц) ПРА и с любыми типами люминесцентных ламп обеспечивает полное отсутствие колебаний светового потока ($K_p=0\%$). Вместо ламп накаливания в данной установке возможно использование компактных люминесцентных ламп (КЛЛ), которые в настоящее время широко представлены на рынке, но крайне редко используются для освещения производственных помещений, что позволило произвести исследование их характеристик.

В настоящее время на предприятиях используются ПЭВМ оборудованные дисплеями с электронно-лучевыми трубками (ЭЛТ) и ПЭВМ с жидкокристаллическими дисплеями (ЖКД), при этом считается, что ЖКД являются более «безопасными» и оказывают меньший вред органам зрения. Такие рассуждения являются, в основном, следствием рекламных материалов, не подтверждённых научными исследованиями. В отечественных и зарубежных литературных источниках не удалось обнаружить информации о влиянии типа дисплея ПЭВМ на состояние зрительных функций, поэтому было принято решение оценить это влияние. В итоге экспериментальная установка была оснащена двумя типами дисплеев (ЭЛТ и ЖКД), и в ряд оцениваемых параметров был включен дополнительный фактор – «тип экрана». Для получения корректных результатов были подобраны дисплеи одного производителя, обеспечен одинаковый размер видимой области, при помощи регулировки яркости и контрастности установлено одинаковое значение яркости белого поля.

Наиболее приемлемым тестом для интегральной оценки зрительной утомляемости в различных производственных условиях является корректурная проба. Обычно такие исследования проводятся при помощи специальных бланков в печатном виде, но так как объектом исследования является оператор ПЭВМ, такой метод использоваться не может, необходимо применение корректурной пробы в виде компьютерной программы. Вследствие этого было подобрано специальное программное обеспечение, представляющее собой компьютерный вариант корректурной пробы, что позволило максимально воссоздать условия, характерные для рабочего процесса.

В результате экспериментов были установлены факторы световой среды, существенно влияющие на утомляемость операторов ПЭВМ. Для решения поставленной задачи использовалась математическая теория отсеивающего эксперимента согласно плану Плакетта – Бермана с 8 экспериментами для 7 факторов. Дисперсия ошибок наблюдения оценивалась введением в план фиктивных факторов, поэтому, к существующим 5 варьируемым факторам были добавлены 2 фиктивных.

В эксперименте принимали участие добровольцы мужского пола с нормальным зрением, возрастом от 21 до 24 лет. Измерения уровня зрительной утомляемости для каждой из восьми комбинаций факторов дублировались по три раза каждым добровольцем. В итоге, с каждым испытуемым было проведено по 24 измерения зрительной утомляемости. Порядок выполнения 24 опытов был рандомизирован при помощи генератора случайных чисел. Рандомизация проводилась для исключения влияния переменных, неконтролируемым образом изменяющихся во времени.

Особенностью реализации плана эксперимента является повторение опытов с разными людьми (число испытуемых $m=4$), то есть дублирование опытов в каждой строке плана 4 раза.

В табл. 1 представлены итоговые результаты эксперимента, включающие оценку дисперсии в каждой строке D_j , необходимую для оценки воспроизводимости опытов. Оценка воспроизводимости (равноточности

результатов) может производиться по критерию Кохрена (если выборки равного объёма) или по критерию Бартлетта (если выборки разного объёма). Так как в данном случае количество повторенных опытов в каждой строке одинаково, следует использовать критерий Кохрена.

Вслед за реализацией плана эксперимента производится обработка его результатов, которая состоит из следующих операций:

1. Расчёт эффектов отдельных факторов.

Оценка эффекта B_i равна разности между суммами значений целевой функции для фактора X_i на уровнях $+1$ и -1 , поделенной на N :

$$B_i = \frac{\sum_{j=1}^N y_j x_i^j}{N}, \quad (1)$$

где B_i – эффект i -го фактора;

y_j – значение отклика в j -эксперименте;

x_i^j – уровень i -го в j -эксперименте;

N – число строк матрицы рассматриваемого плана.

2. Проверка значимости параметров.

Для выявления существенных факторов используется t -критерий и проверяется выполнение условия:

$$|B_i| \geq t_{кр} S_i, \quad (2)$$

где B_i – эффект i -го фактора;

$t_{кр}$ – критическое значение t -распределения для уровня значимости $\alpha=0,05$ и $\varphi=2$ степеней свободы;

S_i – оценка дисперсии коэффициента B_i ,

$$S_i = \sqrt{\frac{S_l^2}{4k}}. \quad (3)$$

Для оценки дисперсии ошибок наблюдений были добавлены 2 фиктивных фактора. Эффекты этих фиктивных переменных будут равны нулю лишь в том случае, если не имеется взаимодействий, и измерения являются абсолютно точными. Поскольку на практике это обычно не выполняется, их можно использовать для оценки дисперсии наблюдений S_l :

$$S_l^2 = 4k(B_{i+1}^2 + \dots + B_{N-1}^2)/(4k - l - 1), \quad (4)$$

где S_l – дисперсия наблюдений;

$4k=N$ – число строк рассматриваемого плана;

$B_{i+1} \dots B_{N-1}$ – эффекты фиктивных факторов;

l – число значимых факторов.

Значимость факторов проверяем по условию 2 для всех четырёх опытов с каждым из добровольцев и для усреднённого значения.

Для $m=1$: $S_1^2=4$; $S_i=0,707$; $|B_i| \geq t_{кр} S_i=4,303 \cdot 0,707=3,04$.

Для $m=2$: $S_1^2=5,1$; $S_i=0,7986$; $|B_i| \geq t_{кр} S_i=4,303 \cdot 0,7986=3,4365$.

Таблица 1

Итоговые результаты эксперимента

N	RANDOM		Уровни факторов							Уровни откликов						
	1	2	X1 E, лк	X2 Kп, %	X3 f, Гц	X4 L ₀ , кд/м ²	X5 Тип экрана	X6 ф.ф.	X7 ф.ф.	\bar{y} (m=1)	\bar{y} (m=2)	\bar{y} (m=3)	\bar{y} (m=4)	\bar{y}	D _j	
1	21	19	20	200	60	0	ЭЛ	-	-	125,2	114,5	125,8	129	123,6	39,79	
2	14	22	17	400	60	40	Ж	-	-	119	115,2	124,2	127	121,6	27,88	
3	7	11	16	400	0	40	ЭЛ	-	-	109	93,8	111,4	109,8	106	67,15	
4	6	2	4	200	0	85	40	ЭЛ	-	106	90,2	105,7	106,2	102	62,19	
5	13	23	24	400	25	85	0	ЭЛ	-	115,4	103,6	123,9	119,6	115,6	76,31	
6	5	10	12	200	0	60	0	Ж	-	111,4	101,9	117,5	116,4	111,8	50,6	
7	9	3	1	200	25	85	40	Ж	-	120	117,7	128,7	129,5	124	36,01	
8	8	15	18	400	0	85	0	Ж	-	105,6	89,1	106,7	105,1	101,6	70,17	

Таблица 3

Эффекты факторов и их значимость для усреднённых значений

Факторы	X1 E, лк	X2 Kп, %	X3 f, Гц	X4 L ₀ , кд/м ²	X5 Тип экрана	X6 ф.ф.	X7 ф.ф.
Эффект, B _i	2,11	7,89	2,44	0,09	-1,44	-0,56	1,11
t _ф , S _i	3,79						
Значимость	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	-	-

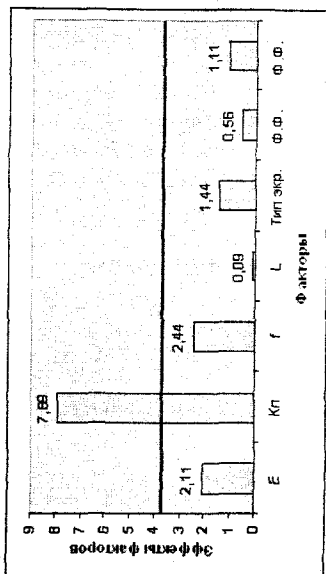


Рис. 3. Результаты оценки значимости факторов

Для $m=3$: $S_1^2=22,9$; $S_1=1,69$; $|B_i| \geq t_{кр} S_i = 4,303 \cdot 1,69 = 7,28$.

Для $m=4$: $S_1^2=5,1$; $S_1=0,7986$; $|B_i| \geq t_{кр} S_i = 4,303 \cdot 0,7986 = 4,4365$.

Для усреднённых значений: $S_1^2=6,2$; $S_1=0,88$; $|B_i| \geq t_{кр} S_i = 4,303 \cdot 0,88 = 3,79$.

В табл. 2 представлены результаты обработки эксперимента, вычислены эффекты факторов для четырёх опытов с каждым из добровольцев, показана значимость факторов.

Таблица 2

Эффекты факторов и их значимость для каждого из 4 опытов

Факторы	X1 E, лк	X2 Кп, %	X3 f, Гц	X4 L, кд/м ²	X5 Тип экрана	X6 ф.ф.	X7 ф.ф.
m=1							
Эффект, B_i	1,7	5,95	2,2	-0,45	-0,05	-1	0
$t_{кр} \cdot S_i$	3,04						
Значимость	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	-	-
m=2							
Эффект, B_i	2,825	9,5	3,1	0,975	-2,7	-0,525	1
$t_{кр} \cdot S_i$	3,4365						
Значимость	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	-	-
m=3							
Эффект, B_i	1,44	7,66	1,71	-0,49	-1,29	-0,16	2,38
$t_{кр} \cdot S_i$	7,28						
Значимость	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	-	-
m=4							
Эффект, B_i	2,45	8,45	2,725	0,3	-1,675	-0,525	1
$t_{кр} \cdot S_i$	3,4365						
Значимость	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	-	-

Согласно табл. 2 во всех четырёх опытах существенным оказался лишь один фактор X2 – коэффициент пульсации освещённости. Согласно табл. 3, результаты обработки усреднённых значений не противоречат итогам отдельных опытов, что подтверждает правильность сделанных выводов.

На рис. 3 результаты оценки значимости факторов представлены в графическом виде. Существенно влияющим может считаться лишь тот фактор, оценка которого превышает критическое значение, равное 3,79 (ед.).

3. Оценка воспроизводимости опытов.

В качестве проверки гипотезы об однородности дисперсий принимаем критерий Кохрена – отношение максимальной строчной дисперсии к сумме всех строчных дисперсий:

$$G = \frac{D_{j\max}}{D_N}, \quad (5)$$

где $D_{j\max}$ – максимальное значение строчной дисперсии;

D_N – сумма строчных дисперсий.

$$D_N = \sum_{j=1}^N D_j. \quad (6)$$

Значения строчных дисперсий D_j определяются в соответствии с выражением:

$$D_j = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (Y_{ji} - \bar{Y}_j)^2 \quad (7)$$

Полученные значения дисперсий в каждой строке указаны в последнем столбце табл. 1.

Для того, чтобы при заданном уровне значимости проверить гипотезу об однородности дисперсий, надо вычислить наблюдаемое значение критерия и по таблице найти критическое значение $G_{кр}$.

Наблюдаемое значение критерия $G_{набл} = 76,31/430,1 = 0,18$.

Критическое значение критерия при уровне значимости $\alpha = 0,05$, числе степеней свободы $m-1=3$ и количестве выборок $N=8$, найденное по таблицам, $G_{кр(0,05;3;8)} = 0,4377$.

Поскольку $G_{набл} = 0,18 < G_{кр} = 0,4377$, гипотеза об однородности дисперсий подтверждается, то есть результаты опытов достоверны и воспроизводимы.

Таким образом, в результате реализации отсеивающего эксперимента установлено, что среди исследованных параметров световой среды существенным оказался лишь фактор X_2 – коэффициент пульсации освещённости. Другие параметры световой среды: освещённость рабочей поверхности, яркость бликов на экране, а также частота обновления изображения на экране ПЭВМ и тип экрана не оказывают значительного влияния на зрительную утомляемость операторов.

Степень зрительного утомления не является постоянной величиной, для значительного большинства видов работ типичным является нарастание утомления, поэтому в работе была сделана попытка оценить влияние пульсации освещённости на изменение зрительной утомляемости в течение рабочей смены.

Аналогично ранее описанному эксперименту для проведения исследований были привлечены 4 добровольца мужского пола с нормальным зрением. С каждым добровольцем проводилось по два дневных эксперимента, имитирующих 8-часовую рабочую смену. В один день осветительная

установка, укомплектованная лампами ЛБ-40 обеспечивала уровень пульсации освещённости около 25%, в другой – отсутствие пульсации ($K_{п}=0\%$). Так как человек не способен визуально оценить этот параметр, испытуемым не сообщалось значение коэффициента пульсации освещённости в конкретном эксперименте, что позволило получить их субъективную оценку условий освещения.

Для того чтобы минимизировать привыкание человека к условиям освещения порядок выполнения экспериментов для разных добровольцев был рандомизирован.

Параметры искусственного освещения (освещённость рабочей поверхности, экрана монитора, яркость, неравномерность распределения яркости и др.) для разных экспериментов поддерживались на одинаковых уровнях и соответствовали требованиям нормативных документов.

Так как в результате предыдущих исследований не удалось подтвердить существенного влияния типа экрана на состояние зрительных функций оператора, для оценки степени зрительной утомляемости использовался монитор с электронно-лучевой трубкой как наиболее часто применяемый в настоящее время.

Условия эксперимента моделировали работу на компьютере средней интенсивности. Оценка степени зрительного утомления проводилась каждые 20 минут, в перерывах между измерениями добровольцы выполняли задание требующее переключения внимания с экрана ПЭВМ на рабочую поверхность (набор текста).

В табл. 3 и на рис. 4 показаны итоговые результаты эксперимента.

Измерения дублировались трижды, таким образом, с каждым добровольцем ежедневно проводилось по 78 опытов, что позволило оценить изменение зрительного утомления оператора в течение рабочей смены, в зависимости от глубины пульсации освещённости.

Через каждые 2 часа эксперимент прерывался на 15-минутный перерыв, через 4 часа следовал часовой перерыв на обед.

Согласно рис. 4 при высоком уровне пульсации освещённости (25%) зрительное утомление операторов немного возрастает от начала работы до обеденного перерыва, несколько снижается в результате отдыха и начинает довольно интенсивно увеличиваться к концу смены.

Благодаря резервным возможностям организма при начальных стадиях утомления возможно волевым усилием некоторое время удерживать производительность труда на исходном уровне. Способствует этому правильная организация режимов труда и отдыха. Для этого устанавливаются дополнительные 15-минутные перерывы после двух часов работы на ПЭВМ. Так как в данном случае имеет место адаптация человека к условиям эксперимента, упражняемость, то вследствие этого степень утомления остаётся на одинаковом уровне или немного снижается.

Перед обеденным перерывом степень утомления нарастает, при ослаблении волевого напряжения производительность труда снижается, в эти

Таблица 3

Итоговые результаты эксперимента

N	Время работы, мин	Кп=25%					Уравнение регрессии	Кп=0%					Уравнение регрессии		
		У ₁	У ₂	У ₃	У ₄	— у		У ₁	У ₂	У ₃	У ₄	— у			
1	5	100,2	115,2	124,7	118,9	114,7	$y = 0,1063x^3 - 0,975x^2 + 2,4197x + 113,03$ $R^2 = 0,9224$	94	112,3	116,6	113,6	109,1	$y = 0,3977x^2 - 2,9382x + 109,8$ $R^2 = 0,8936$		
2	25	102,2	115,9	125,3	119,7	115,7		93,8	111,5	116,3	114	108,9			
3	45	100,1	114,6	122,5	117,4	113,6		93,8	109,8	115,6	114,4	108,4			
4	65	96,9	116,4	123,1	119,6	114		91,3	110,2	114,2	113,6	107,5			
5	85	97,1	115,2	122,3	119,9	113,6		87,6	109,2	111,5	114,6	105,7			
6	105	98,7	113,6	121,1	121,4	113,7		87,4	107,1	111,5	113,1	104,8			
7	125	97,6	113,9	122,9	121,7	114,1		84,8	106,4	111,2	113,3	103,9			
Перерыв 15 минут								Перерыв 15 минут							
8	140	97,6	114,1	120,2	119,2	112,8		84,1	108,9	112	114,3	104,8			
9	160	96,9	115,1	121,1	119,7	113,2		84,8	107,2	110,6	115,2	104,5			
10	180	96	115,8	120,2	121,3	113,3		85	108,3	110,9	116,4	105,2			
11	200	97,6	117,3	122,5	123,5	115,2		85,2	110,8	109,5	116,6	105,5			
12	220	98	122,4	126,4	123,8	117,7		84,6	111,8	110,2	116,6	105,8			
13	240	96,9	125,5	128,2	124,6	118,8		86,1	111,1	108,7	115,8	105,4			
Перерыв 60 минут								Перерыв 60 минут							
14	305	91,5	117,6	122,3	121,4	113,2		85,3	112,5	108,6	115,6	105,5			
15	325	91,5	114,9	122,6	122,4	112,9		84,1	112,9	107,6	115,8	105,1			
16	345	92,2	116,8	123,5	122,9	113,9		83,9	113,3	108,5	116,3	105,5			
17	365	94,9	120	124,7	124,4	116		85,4	113,7	109,3	115,5	106			
18	385	94,6	123,2	124,7	123,2	116,4		85,1	115	110,4	115,5	106,5			
19	405	97,6	124,7	124,5	125,6	118,1		85,9	114,8	110,8	117,4	107,2			
20	425	98	124,4	125,8	125,8	118,5		89,9	112,7	112,4	118,2	108,3			
Перерыв 15 минут								Перерыв 15 минут							
21	440	98,2	124,9	129,6	124,9	119,4		90	113,7	115,1	118,2	109,2			
22	460	106,4	126,5	127,7	126,8	121,9		91,7	116,5	116,6	118	110,7			
23	480	107,8	128,1	130	129,7	123,9		96,6	118	119,6	119,8	113,5			
24	500	110,1	133,1	131,6	132,6	126,9	97,8	120,5	121,3	121,1	115,2				
25	520	116,2	135,3	136,2	134,5	130,6	96,2	121,3	122	121,6	115,3				
26	540	120,3	136,7	140	136	133,3	94,1	118	119,1	119	112,6				

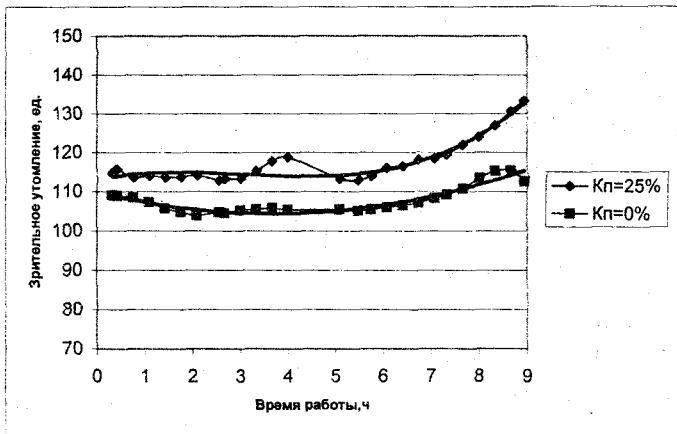


Рис. 4. Итоговые значения изменения зрительного утомления оператора в течение рабочей смены

моменты работник допускает больше ошибок, что подтверждают указанные графики. Обеденный перерыв продолжительностью 60 минут позволяет значительно снизить уровень утомления работника, но после обеда довольно быстро нарастает. Усиливающееся утомление настолько снижает максимальные возможности организма, что волевым усилием человек уже не в состоянии сохранять высокий уровень производительности, даже 15-минутные перерывы не в состоянии существенно повлиять на складывающуюся ситуацию. Согласно графикам, утомление во второй половине рабочей смены растёт гораздо быстрее и достигает больших значений.

Всё вышесказанное характерно, в основном, для работы в условиях значительной (25%) пульсации освещённости. При её отсутствии кривые изменения зрительной утомляемости имеют несколько другой вид. Если на человека не оказывает влияние такой существенный фактор как пульсация освещённости, организм в течение длительного времени способен компенсировать развивающуюся усталость. Согласно графикам, при отсутствии пульсации освещённости, зрительное утомление сохраняется примерно на одинаковом уровне до обеденного перерыва и лишь к концу смены немного возрастает. При отсутствии пульсации максимальные значения зрительного утомления в среднем на 13,5% ниже, чем при 25-процентной глубине пульсации освещённости. При этом наблюдается так называемое явление «конечного порыва» – кратковременного увеличения производительности труда к концу смены. Это явление исследователи объясняют «предчувствием близкого конца работы и наступления долгожданного отдыха». При 25-процентной пульсации освещённости такого явления не наблюдается, что лишний раз подтверждает существенное действие этого фактора на человека.

Как замечалось ранее, дежурный персонал электрических подстанций 500 кВ работает по 12-часовой смене. Реализация 12-часового эксперимента связана с определёнными трудностями (организационными, временными и др.), поэтому было принято решение, опираясь на полученные математические зависимости оценить возможное изменение утомляемости операторов ПЭВМ, работающих по 12-часовой рабочей смене.

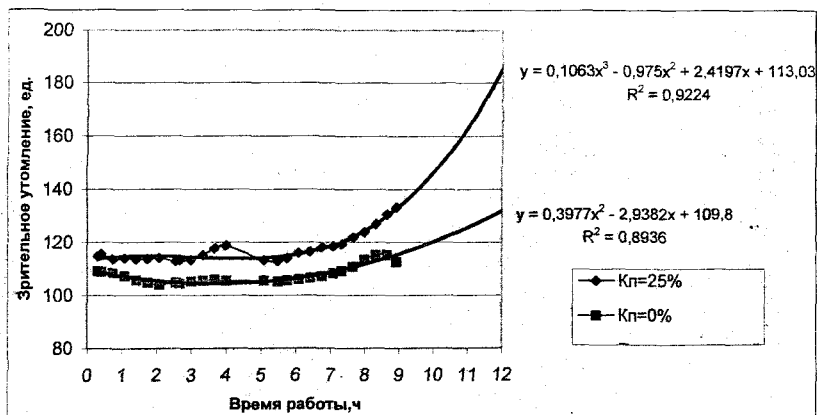


Рис. 5. Прогноз изменения зрительного утомления оператора в течение 12-ти часовой рабочей смены

Уравнения регрессии представлены в табл. 3 и на рис. 5. При регрессионном анализе использовалась полиномиальная аппроксимация. Полиномиальная аппроксимация используется для описания величин, попеременно возрастающих и убывающих. Степень полинома определяется количеством экстремумов (максимумов и минимумов) кривой. Полином второй степени может описать только один максимум или минимум. Полином третьей степени имеет один или два экстремума. Следовательно, для описания изменения зрительного утомления при 25-процентной глубине пульсации освещённости использовался полином третьей степени, а для описания зрительного утомления при отсутствии пульсации освещённости использовался полином второй степени. Значения величины достоверности аппроксимации R^2 в данном случае составили 0,92 и 0,89, что говорит о достаточно хорошей согласованности полученных зависимостей с фактическими данными.

Согласно полученным зависимостям, зрительное утомление операторов ПЭВМ при 25-процентной глубине пульсации освещённости к концу 12-часовой рабочей смены достигает на 29% больших значений, чем при отсутствии пульсации освещённости.

В конце каждого опыта добровольцами давалась субъективная оценка условий освещения. При 25-процентной пульсации освещённости к концу смены операторы жаловались на трудность сосредоточения внимания,

усталость и неприятные ощущения в глазах, что можно объяснить неблагоприятным действием указанного фактора.

Реализация технических мероприятий, направленных на нормализацию параметров световой среды, требует определённых финансовых затрат. Поэтому необходимо показать насколько результативными будут эти мероприятия и произвести оценку социально-экономического эффекта.

В случае обнаружения вредных условий труда на рабочих местах предприятия несёт дополнительные затраты выраженные в доплатах за неблагоприятные условия. Эти расходы можно оценить в рамках данной работы.

По результатам аттестации рабочих мест абсолютное большинство работников МЭС Урала получает доплаты за неблагоприятные условия труда в размере от 2 до 16% от оклада. В рамках работы был произведен расчёт величины доплат до и после проведения мероприятий по нормализации пульсации освещённости. Очевидно, что снижение дополнительных выплат будет касаться не всех работников, а в основном тех, кто большую часть рабочего времени подвергается воздействию параметров искусственного освещения, и чьи рабочие места оборудованы ПЭВМ. Но несмотря на это, затраты предприятия должны сократиться на значительную сумму.

Согласно полученным расчётным данным для всех работников МЭС Урала сумма доплат за неблагоприятные условия труда снизится на 1344%, то есть на величину равную 13,44 месячным окладам. Зная величину средней месячной заработной платы можно вычислить годовой экономический эффект. В 2003 году она составляла 6500 рублей в месяц, следовательно, модернизация осветительных установок, направленная на нормализацию пульсации освещённости приведёт не только к предотвращению неблагоприятного влияния на здоровье человека, но и к снижению затрат предприятия в размере: $6500(\text{руб./мес.}) \times 13,44 \times 12(\text{мес.}) = 1048320\text{руб.}$

Таким образом, социально-экономический эффект, полученный в результате обеспечения безопасных условий труда по показателю «коэффициент пульсации освещённости» в подразделениях МЭС Урала составляет более миллиона рублей в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе на основе исследований систем искусственного освещения в производственных условиях и лабораторных экспериментов с использованием аппарата математической статистики и теории планирования эксперимента, решена актуальная научно-техническая задача – установлены факторы, существенно влияющие на зрительную утомляемость операторов ПЭВМ, занятых на предприятиях энергетики, нормализация которых позволит обеспечить улучшение условий труда по показателям искусственного освещения.

Проведенные исследования позволяют сформулировать следующие основные результаты и сделать выводы:

1. Вопросы, связанные с влиянием параметров световой среды на операторов ПЭВМ недостаточно изучены и требуют дополнительных исследований.

2. В результате оценки условий труда по показателям световой среды установлено, что на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ, вредные условия труда наблюдаются благодаря несоответствию требованиям нормативных документов освещённости рабочих поверхностей (51% рабочих мест) и пульсации освещённости (99,6% рабочих мест). Такие показатели, как «КЕО», «Е экран», «отражённая блескость», «яркость светящихся поверхностей» не играют решающей роли при определении класса условий труда по показателю «освещение».

3. Все осветительные установки, применяемые в подразделениях МЭС Урала, характеризуются значениями коэффициента пульсации освещённости, превышающими 5%. Технические мероприятия, направленные на снижение пульсации освещённости в большинстве случаев не выполняются.

4. На основании математической теории планирования эксперимента проведены исследования, в результате которых установлено, что среди рассмотренных параметров световой среды существенным является один фактор – «коэффициент пульсации освещённости». Другие параметры световой среды: «освещённость рабочей поверхности», «яркость бликов на экране», а также частота обновления изображения на экране ПЭВМ и тип экрана не оказывают значительного влияния на зрительную утомляемость операторов.

5. Зрительная утомляемость операторов ПЭВМ при 25-процентной глубине пульсации освещённости растёт быстрее и к концу 8-часовой рабочей смены достигает на 13,5% больших значений, чем при отсутствии пульсации освещённости.

6. На основании полученных математических зависимостей степени зрительного утомления от времени работы установлено, что вероятное зрительное утомление операторов ПЭВМ при 25-процентной глубине пульсации освещённости к концу 12-часовой рабочей смены достигает на 29% больших значений, чем при отсутствии пульсации освещённости.

7. На основании исследования параметров современных источников света, представленных на рынке светотехнических изделий, разработаны рекомендации по нормализации параметров световой среды.

8. Оценка социально-экономического эффекта мероприятий по нормализации показателя «коэффициент пульсации освещённости» установила, что экономия средств за счёт снижения выплат персоналу за неблагоприятные условия труда в обследованных подразделениях МЭС Урала составляет более одного миллиона рублей в год.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах

1. **Тряпицын, А.Б.** Идентификация опасности на предприятиях электроэнергетики [Текст] / А.Б. Тряпицын, А.В. Кудряшов: 2-я Всероссийская науч.-практ. конф. «Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии»: [сб. докл.] / Челябинск: Издательство ЗАО «Челябинская межрайонная типография», 2003. – С. 12.
2. **Кудряшов, А.В.** Об аттестации рабочих мест по условиям труда персонала магистральных электрических сетей [Текст] / А.В. Кудряшов // Электробезопасность. – 2003. – N 2,3. – С. 16–20.
3. **Кудряшов, А.В.** Оценка условий труда в электроэнергетике [Текст] / А.В. Кудряшов: 1-я Международная конф. «Безопасность. Технологии. Управление»: [сб. докл.] / под научн. ред. Л.Н. Горинной. – Тольятти: Тольяттинский государственный университет, 2005. – С. 172–175.
4. **Кудряшов, А.В.** Анализ условий труда операторов ЭВМ [Текст] / А.В. Кудряшов: Всерос. науч. - техн. конф. «Наука – производство – технологии - экология»: [сб. докл.] / Киров: ВятГУ, 2005. – С. 58–59.
5. **Кудряшов, А.В.** Условия труда в электроэнергетике [Текст] / А.В. Кудряшов ; Естествознание и гуманизм. [сб. научн. работ] / под ред. Н.Н. Ильинских. – Томск: СибГМУ, 2005. – С. 60–61.
6. **Кудряшов, А.В.** Методика исследования влияния пульсации освещения на работоспособность операторов ПЭВМ [Текст] / А.В. Кудряшов: региональная научно-практическая конф. «Экология. Риск. Безопасность»: [сб. докл.] / под общей ред. А.П. Кузьмина. – Курган: Издательство Курганского гос. университета, 2005. – С. 60.
7. **Кудряшов, А.В.** Способы улучшения характеристик люминесцентного освещения [Текст] / А.В. Кудряшов: региональная научно-практическая конф. «Экология. Риск. Безопасность»: [сб. докл.] / под общей ред. А.П. Кузьмина. – Курган: Издательство Курганского гос. университета, 2005. – С. 60–61.
8. **Кудряшов, А.В.** Организация эксперимента по оценке влияния коэффициента пульсации на восприятие информации с экранов ПЭВМ [Текст] / А.В. Кудряшов // Фундаментальные исследования. – 2006. – N 4. – С. 33–34.
9. **Кудряшов, А.В.** Характеристика показателей световой среды на электрических подстанциях МЭС Урала [Текст] / А.В. Кудряшов // Электробезопасность. – 2005. – N 2. – С. 26–33.
10. **Кудряшов, А.В.** Исследование систем искусственного освещения на основе люминесцентных ламп [Текст] / А.В. Кудряшов // Фундаментальные исследования. – 2006. – N 4. – С. 32–33.
11. **Кудряшов, А.В.** Нормирование освещённости рабочих мест операторов ПЭВМ [Текст] / А.В. Кудряшов // Фундаментальные исследования. – 2006. – N 4. – С. 33.
12. **Кудряшов, А.В.** Нормализация световой среды для пользователей ПЭВМ в электроэнергетике [Текст] / А.В. Кудряшов: Всерос. науч. - техн.

конф. «Наука – производство – технологии - экология»: [сб. докл.] / Киров: ВятГУ, 2006. – С. 34–35.

13. **Кудряшов, А.В.** Характеристики современных источников света [Текст] / А.В. Кудряшов // *Фундаментальные исследования*. – 2006. – N 4. – С. 30–31.

14. **Кудряшов, А.В.** Влияние показателей световой среды на работу операторов [Текст] / А.В. Кудряшов // *Фундаментальные исследования*. – 2006. – N 4. – С. 31–32.