

СТОХАСТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА АККОМОДИРУЮЩЕГО АППАРАТА ГЛАЗ ОПЕРАТОРА ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА (ПК)

Проведено комп'ютерний стохастичний аналіз симптоматики скарг на здоров'я оператора ПК. Досліджено вплив візуальної кольорової імпульсної стимуляції на відновлювальну функцію працездатності оператора ПК.

Ключові слова: оператор, колір, імпульс, працездатність, динаміка стохастична, аналіз кореляційний

Проведен компьютерный стохастический анализ симптоматики жалоб на здоровье оператора ПК. Исследовано влияние визуальной цветоимпульсной стимуляции на восстановление зрительной функции работоспособности оператора ПК.

Ключевые слова: оператор, цвет, импульс, работоспособность, динамика стохастическая, анализ корреляционный

The computer stochastic analysis of symptoms of complaints is conducted on a health operator of the personal computer. Influence of visual impulse stimulation is investigational on renewal of visual function of capacity of operator of the personal computer.

Keywords: operator, color, impulse, capacity, dynamics of stakhosticheskaya, analysis is cross-correlation

Введение

Сформировавшаяся за миллионы лет эволюции зрительная система человека приспособлена для восприятия объектов в отраженном свете (предметы, картины, печатные тексты и т.п.).

Изображение на видеодисплейных терминалах (мониторах) принципиально отличается от привычных глазу объектов наблюдения – оно светится, состоит из дискретных точек, которые с определенной частотой загораются. Спектр цветного компьютерного изображения не соответствует естественным цветам (спектры излучения мониторов отличаются от спектров поглощения зрительных пигментов в колбочках сетчатки глаза, которые ответственны за наше цветовое зрение) [1].

Персональные компьютеры в зависимости от технологии использования, функциональных особенностей комплектуются мониторами на основе электронно-лучевой трубки, жидкокристаллических, плазменных экранов. Эти экраны имеют как преимущества, так и общие недостатки: низкий уровень контраста и яркости, неоптимальная структура знаков, неудобство при наблюдении за экраном под острым углом зрения. Особенности изображения на экране вызывают зрительное утомление. При длительной работе на компьютере у глаз не бывает необходимых фаз расслабления мышц глаза. Аккомодирующий аппарат глаз находится в напряженном состоя-

нии, снижается работоспособность. Возможно возникновение астенопии [2].

Вынужденная рабочая поза оператора, выполнение стереотипных мелких движений кистями рук при наборе текста, редактировании могут приводить к заболеваниям костно-мышечной системы и периферической нервной системы. Сотрудниками кафедры охраны труда и экологии Украинской академии печати проанализированы особенности трудового процесса на компьютеризованных рабочих местах ряда организаций. Выборка жалоб на ухудшения здоровья от компьютерной техники приведена в табл. 1 в зависимости от стажа работы.

А. П. Лютый

Кандидат технических наук, доцент*

Контактный тел.: 061-283-40-22

Т. И. Михайлова

Врач-терапевт высшей категории

Запорожское машиностроительное конструкторского бюро «Прогресс»

И. Д. Труфанов

Доктор технических наук, профессор*

Контактный тел.: 050-421-17-24

E-mail: adlas@mail.ru

В. И. Шмирко

Кандидат технических наук, доцент**

Контактный тел.: (06 12) 63-84-55

Г. И. Дудник

Кандидат технических наук, доцент**

Контактный тел.: (06 12) 96-34-36

К. И. Чумаков

Ассистент*

Контактный тел.: 066-551-10-87

E-mail: adlas@mail.ru

*Кафедра «Электрические аппараты»***

Кафедра «Охрана труда и окружающей среды»*

***Запорожский национальный технический университет

Таблица 1

Характеристика жалоб операторов компьютерной техники

№	Симптомы воздействия компьютера	Количество работников, которые сообщили про симптомы, от общего количества опрошенных (%)		
		Стаж работы		
		До 1 года	От 2 до 3 лет	От 3 до 5 лет
1	Боль и резь в глазах	58,8	67,5	88,7
2	Головные боли	17,6	23,5	42,5
3	Боли в области спины	18,5	21,2	32,2
4	Общая усталость	29,4	25,7	42,6
5	Усталость мышц рук	15,1	22,3	38,7
6	Повышенная раздражительность	11,7	21,6	35,3
7	Нарушение ночного сна	8,3	15,5	20,6
8	Ухудшение памяти	7,2	12,3	17,1

Из анализа информации о жалобах операторов персональных компьютеров можно выделить три группы симптомов, связанных со зрительным аппаратом, костно-мышечной системой, регуляцией сосудистого тонуса. Таким образом проблема безопасной работы с видеодисплейными терминалами настолько актуальна, что нашла отражение в рекомендациях всемирной организации здравоохранения при ООН, Европейского экономического сообщества (директива № 86/ЕЕС-1992 г.).

Любая болезнь проходит три стадии развития:

1. Повреждение информационного поля человека (функциональная).
2. Повреждение энергетического поля (метаболическая).
3. Манифестация симптомов, когда в тканях тела происходят структурные изменения (морфологическая).

Для снижения нервно-эмоционального напряжения, утомления зрительного анализатора, улучшения мозгового кровообращения, преодоления неблагоприятных последствий гиподинамии, предотвращения усталости разработаны гигиенические требования ГСанПиН 3.3.2.007-98 «Государственные санитарные правила и нормы работы с визуальными дисплейными терминалами электронно-вычислительных машин».

Установлены санитарно-гигиенические требования к режимам труда и отдыха. Рекомендовано использовать специальный комплекс физических упражнений направленных на снятие нервного напряжения, мышечное расслабление, снятие усталости глаз, повышение работоспособности [3].

Результаты опроса операторов персональных компьютеров показали что, за редким исключением, они выполняют рекомендованный комплекс упражнений. Основная причина – дискомфорт во время выполнения упражнений. Метод снятия усталости зрительного аппарата должен быть коротким, эффективным, необременительным.

Цель и база исследования. Основные результаты исследований

Целью настоящего исследования является анализ симптоматики жалоб специалистов, которые выполняют работу преимущественно с видеотерминалами и документацией, используя интенсивный обмен информацией с ЭВМ.

Задача исследования предупредить хроническое утомление зрительного анализатора остановить развитие болезни на первой функциональной стадии, определить эффективность визуальной цветоимпульсной стимуляции для снижения усталости глаз снятия, эмоционального напряжения с помощью аппарата «АСИР» [4].

Базой разработки мероприятий по снижению напряженности аккомодирующего аппарата глаз являются наши результаты машинного моделирования стохастической динамики системотехнических моделей (рис. 1 и 2) аккомодирующей системы глаза.

Аналитические зависимости, полученные при этом, используются при статистических оценках динамики воздействия световой информации знаковосинтезирующих индикаторов компьютерных экранов на аккомодирующую способность глаз человека.

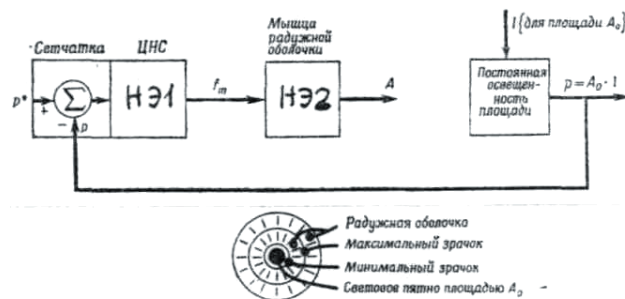


Рис. 1. Функциональная схема стохастически разомкнутой системы аккомодации глаза человека

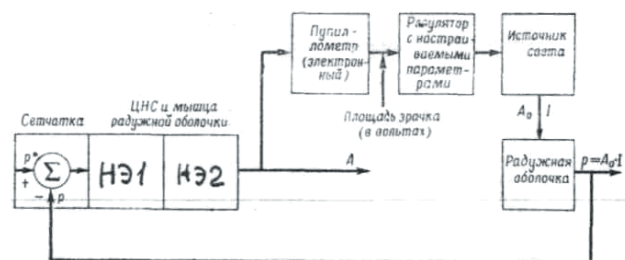


Рис. 2. Функциональная схема стохастически замкнутой адаптивно-экстремальной системы аккомодации глаза человека с положительной обратной связью

1. Системотехника управления зрачком ([6] рис. 3, 4) представляет собой самонастраивающуюся систему адаптивного переменного строения по каналу анализа и экстраполяции, что достигается изменением коэффициента передачи схемных динамических звеньев: 13 – претектальных ядер, 14 – хиазмы, 15 – ядер Эдингера – Вестфала. В этом случае цилиарный ганглий выполняет функции ПИД² – регулятора стохастического типа. Такая алгоритмическая структура позволяет размыкать обратную связь без физиологических нарушений, результатом чего даже при максимальном возбуждении сфинктера остаточная площадь зрачка отлична от нуля: при фиксировании на

зрачок пучка света, дающего световое пятно, площадь которого меньше остаточной площади, при увеличении интенсивности освещенность зрачка увеличивается (положительная обратная связь дифференцирующего типа), т. е. не будет происходить ограничения количества света, попадающего на сетчатку (не уменьшит ее освещенности) (рис. 1):

$$\frac{dp_1}{dt} = A_0 \frac{dI}{dt} \quad (A_0 - \text{площадь светового пятна}).$$

При нормальных условиях $\frac{dp_2}{dt} = (\Delta A) \cdot I_0$ (I_0 – средняя интенсивность освещения зрачка; ΔA – изменение площади зрачка, вызванное изменением dI/dt). В этом случае статический коэффициент передачи:

$$K = \frac{dp_2}{dt} / \frac{dp_1}{dt} = \frac{dI}{dt} / A_0 \cdot \frac{I_0}{dI/dt}.$$

Численная величина K составляет по Старку 0,2.

Функционирование такой системы позволяет стабилизировать коэффициент K за счет условной подсистемы замыкания обратной связи (рис. 2) за счет сигнала пупиллометра, пропорционального изменению величины зрачка, т. е. происходит компенсация возможных неустойчивых режимов.

2. Функциональное назначение таких электронно-оптических устройств определяет светотехнические свойства: яркость экрана (детерминированная или стохастическая) $L_{\text{э}}$, неравномерность яркости экрана $H_{\text{э}}$ и параметры контраста. Статистические характеристики световых потоков знакосинтезирующих индикаторов являются статистическими, вероятностные параметры которых приведены в табл. 1, где за $\{x_i\}$ принята освещенность $L_{\text{э}}$.

Под величиной $L_{\text{э}}$ понимается математическое ожидание (табл. 2), как средняя яркость составляющих его индикаторов: $L_{\text{э}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k L_{\text{и}}$ (k –

число индикаторов; $L_{\text{и}}$ – яркость i -го индикатора).

Основным требованием является требование технических санитарно-гигиенических условий (ТУ): $L_{\text{э}} \geq L_{\text{э ТУ}}$. С учетом погрешности реакции аккомодирующей системы глаза δ_i вычисляется интервальная оценка действительной яркости (освещенности экрана), как светового потока, действующего на сетчатку глаза:

$$L_{\text{уд}}(1 - \delta_i) \leq L_{\text{и}} \leq L_{\text{уд}}(1 + \delta_i);$$

$$\frac{L_{\text{и}}}{1 + \delta_i} \leq L_{\text{уд}} \leq \frac{L_{\text{и}}}{1 - \delta_i}; \quad \frac{L_{\text{э}}}{1 + \delta} \leq L_{\text{э}} \leq \frac{L_{\text{э}}}{1 - \delta}, \quad (1)$$

где $L_{\text{уд}}$ – действительное значение яркости i -го индикатора (по данным табл. 1);

$$\delta_i = \Delta L_{\text{и}} / L_{\text{уд}}.$$

где $L_{\text{и}}$ – относительное и абсолютное автокорреляционное отношение яркости и спектра яркости, вычисляемое по соотношениям табл. 2.

В реальном промышленном контроллере значения яркостей зеленого цвета ($i = 80$), составляющих экран имеют диапазоны математического ожидания (п.п. 1–12, табл. 1): 1 – 110; 2 – 112; 3 – 112,5; 4 – 127,3; 5 – 136,4;

6 – 142,8; 7 – 163,3; 8 – 177,9; 9 – 182,2; 10 – 185; 11 – 185,5; 12 – 190 кд/м².

В данном случае среднее математическое ожидание составляет $L_{\text{э}} \approx 150$ кд/м². При относительной погрешности $\delta = \kappa = 0,2$ имеем интервальную оценку для действительной яркости $125 \leq L_{\text{э}} \leq 187,5$ кд/м².

3. Неравномерность оценивания проводится по параметрам автокорреляционной функции и спектральной плотности (табл. 3) на основе размаха $R_{\text{эд}} = L_{\text{уд max}} - L_{\text{уд min}}$, откуда с учетом (1) имеем:

$$\frac{R_{\text{э}}(1 - \delta) - 2\delta L_{\text{уд min}}}{1 - \delta^2} \leq R_{\text{эд}} \leq \frac{R_{\text{э}}(1 + \delta) + 2\delta L_{\text{уд min}}}{1 - \delta^2},$$

т. е. $\frac{R_{\text{э}} - 2\delta L_{\text{э0}}}{1 - \delta^2} \leq R_{\text{эд}} \leq \frac{R_{\text{э}} + 2\delta L_{\text{э0}}}{1 - \delta^2}.$

С учетом относительной погрешности величина неравномерности яркости по размаху:

$$R_{\text{э1}} = \frac{L_{\text{уд max}} - L_{\text{уд min}}}{L_{\text{э}}}, \quad R_{\text{э2}} = \frac{L_{\text{уд max}} - L_{\text{уд min}}}{L_{\text{э0}}},$$

Откуда для $L_{\text{уд max}} = 190$ и $L_{\text{уд min}} = 110$ кд/м² имеем $R_{\text{э}} = 80$ кд/м², при этом интервальная оценка для действительного значения размаха при $\delta = 0,2$ имеет вид:

$$20,83 \leq R_{\text{эд}} \leq 145,83 \text{ кд/м}^2.$$

(Можно также использовать относительный размах

$$R_{\text{э1}} = \frac{L_{\text{уд max}} - L_{\text{уд min}}}{L_{\text{э}}}; \quad R_{\text{э2}} = \frac{L_{\text{уд max}} - L_{\text{уд min}}}{L_{\text{э0}}}).$$

В этом случае интервальные оценки будут иметь значения:

$$\frac{R_{\text{э1}}(1 - \delta) - 2\delta(L_{\text{уд min}} / L_{\text{э}})}{1 + \delta} \leq R_{\text{эд1}} \leq \frac{R_{\text{э1}}(1 + \delta) + 2\delta(L_{\text{уд min}} / L_{\text{э}})}{1 - \delta};$$

$$\frac{R_{\text{э2}}(1 - \delta) - 2\delta(L_{\text{уд min}} / L_{\text{э0}})}{1 + \delta} \leq R_{\text{эд2}} \leq \frac{R_{\text{э2}}(1 + \delta) + 2\delta(L_{\text{уд min}} / L_{\text{э0}})}{1 - \delta} \quad (2)$$

откуда значение по ТУ должны иметь значения: $0,663 \leq R_{\text{эд1}} \leq 1,66$.

По аналогии с оценкой неравномерности яркости индикатора оценивается неравномерность яркости экрана:

$$H_{\text{эд}}^+ = \frac{L_{\text{уд max}} - L_{\text{эд}}}{L_{\text{эд}}} = \frac{L_{\text{уд max}}}{L_{\text{эд}}} - 1;$$

$$H_{\text{эд}}^- = \frac{L_{\text{уд min}} - L_{\text{эд}}}{L_{\text{эд}}} = \frac{L_{\text{уд min}}}{L_{\text{эд}}} - 1. \quad (3)$$

При $L_{\text{уд max}} \geq L_{\text{эд}}$ и $L_{\text{уд min}} \leq L_{\text{эд}}$ выполняются соотношения $H_{\text{эд}}^+ \geq (0 - 1) \leq H_{\text{эд}}^- \leq 0$, при этом $|H_{\text{эд}}^-| \leq 1$.

Учет погрешности измерения яркости приводит к следующим интервальным оценкам для математических ожиданий значений $H_{\text{эд}}^+$ и $H_{\text{эд}}^-$:

$$H_{\text{э}}^+ - \frac{2\delta}{1 + \delta} \cdot \frac{L_{\text{уд min}}}{L_{\text{э}}} \leq H_{\text{эд}}^+ \leq H_{\text{э}}^+ + \frac{2\delta}{1 - \delta} \cdot \frac{L_{\text{уд min}}}{L_{\text{э}}};$$

$$H_{\text{э}}^- - \frac{2\delta}{1 + \delta} \cdot \frac{L_{\text{уд min}}}{L_{\text{э}}} \leq H_{\text{эд}}^- \leq H_{\text{э}}^- + \frac{2\delta}{1 - \delta} \cdot \frac{L_{\text{уд min}}}{L_{\text{э}}} \quad (4)$$

С учетом значений ТУ компоненты (4) можно задавать соотношениями:

$$H_{\text{э}}^+ - \frac{2\delta}{1 - \delta} \cdot \frac{L_{\text{уд min}}}{L_{\text{э}}} \leq H_{\text{ТУ}}; \quad H_{\text{э}}^- + \frac{2\delta}{1 - \delta} \cdot \frac{L_{\text{уд min}}}{L_{\text{э}}} \leq H_{\text{ТУ}}. \quad (5)$$

Таблица 2

Наиболее употребительные законы распределения вероятностей

№ п/п	Название закона	Плотность вероятности $\omega(x)$	Интегральный закон распределения $F(x)$	Математическое ожидание \bar{X}	Дисперсия σ_x^2
1	Равномерный	0 при $x < a$ $(b - a)^{-1}$ при $a \leq x \leq b$ 0 при $x > b$	0 при $x < a$ $(x - a)(b - a)^{-1}$ при $a \leq x \leq b$ 1 при $x > b$	$\frac{b - a}{2}$	$\frac{(b - a)^2}{12}$
2	Нормальный	$\frac{1}{\sqrt{2\pi b}} \exp\left[-\frac{(x - a)^2}{2b^2}\right]$	$\frac{1}{2}\left[1 - \Phi_1\left(\frac{x - a}{b\sqrt{2}}\right)\right]$, где $\Phi_1(x)$ – см. в приложении 1	a	b^2
3	Усеченный нормальный	$\frac{C}{\sqrt{2\pi b}} \exp\left[-\frac{(x - a)^2}{2b^2}\right]$; 0 при $x < x_1$; 0 при $x > x_2$	0 при $x < x_1$; $\frac{C}{2}\left[1 - \Phi_1\left(\frac{x - a}{b\sqrt{2}}\right)\right]$ при $x_1 \leq x \leq x_2$; 1 при $x > x_2$	Ca	Cb^2 , где $C = \frac{1}{\Phi_1\left(\frac{x_2 - a}{b\sqrt{2}}\right) - \Phi_1\left(\frac{x_1 - a}{b\sqrt{2}}\right)}$
4	–	0 при $ x < a$; $\frac{1}{\pi\sqrt{a^2 - x^2}}$ при $ x \geq a$;	0 при $ x \leq a$; $0,5 + \pi^{-1} \arcsin(xa^{-1})$ при $-a \leq x \leq a$; 1 при $x \geq a$	0	$\frac{a^2}{2}$
5	–	$(0,5k^3)x^2 \exp(-kx)$ при $k > 0, x \geq 0$	$1 - (0,5k^2x^2 + kx + 1) \times \exp(-kx)$	$\frac{3}{k}$	$\frac{51}{k^2}$
6	Коши	$\frac{4}{\pi(4 + x^2)}$	$0,5 + \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{x}{2}$	0	∞
7	Логарифмический нормальный	$\frac{1}{b\sqrt{2\pi}} \times \exp\left[-\frac{(\lg x - \lg a)^2}{2b^2}\right]$ при $x \geq 0$	$1,15a \exp(2,65b^2) \times \left[1 - \Phi_1\left(\frac{\ln \frac{x}{a}}{3,36b} - 1,63b\right)\right]$	$a \cdot 10^{b^2(2\ln e)^{-1}}$	b^2
8	Гамма-распределение $\left[\Gamma(a + 1) = \int_0^\infty e^{-t} t^a dt\right]$ где Γ – гамма-функция	0 при $x \leq 0$; $\frac{1}{b\Gamma(a + 1)} \left(\frac{x}{b}\right)^a \times \exp\left(-\frac{x}{b}\right)$ при $x > 0$	$\frac{\exp\left(-\frac{x}{b}\right)}{\Gamma(a + 1)} \times \left[-\left(\frac{x}{b}\right)^a + \sum_{k=1}^a (-1)^{k+1} a(a - 1) \dots (a - k + 1) \left(\frac{a}{b}\right)^{a-k}\right]$	$b(a + 1)$	$b^2(a + 1)$, $a > -1$, $b > 0$

Окончание таблицы. 2

№ п/п	Название закона	Плотность вероятности $\omega(x)$	Интегральный закон распределения $F(x)$	Математическое ожидание \bar{X}	Дисперсия σ_x^2
9	Эрланга ($k > 0$ – целое число)	$\frac{\lambda(\lambda x)^k}{k!} \exp(-\lambda x)$ при $x > 0$; 0 при $x \leq 0$	$\frac{\exp(-\lambda x)}{k!} \left[\begin{array}{l} -(\lambda x)^k + \\ \sum_{i=1}^k (-1)^{i+1} k(k-1), \dots \\ \dots, (k-i+1)(\lambda x)^{k-i} \end{array} \right]$	$\frac{k+1}{\lambda}$	$\frac{k+1}{\lambda^2}$
10	Накагами	$\frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{z}\right)^m x^{2m-1} \exp\left(-\frac{m}{z}x^2\right)$ при $x \geq 0$, где $m = \frac{\left(\frac{\bar{x}^2}{x^2}\right)^2}{\left[x^2 - \left(\frac{\bar{x}}{x}\right)^2\right]^2} \geq 0,5,$ $z = \frac{\bar{x}^2}{x^2}$	–	$\frac{\Gamma(m+0,5)}{\Gamma(m)} \times z \left[1 - \frac{\Gamma^2(m+0,5)}{m\Gamma^2(m)} \right] \times \sqrt{\frac{z}{m}}$	
10а	Односторонний нормальный	См. строку 10 при $m = 0,5$; $\frac{2}{2z\pi} \exp\left(-\frac{x^2}{2z}\right)$ при $x \geq 0$, 0 при $x < 0$	$\Phi_1\left(\frac{x}{2z}\right)$ при $x \geq 0$	$0,8\sqrt{z}$	$0,37z$
10б	Релея	См. строку 10 при $m = 1$; $2xz^{-1} \exp(-x^2z^{-1})$ при $x \geq 0$	$1 - \exp(-x^2z^{-1})$ при $x \geq 0$	$0,89\sqrt{z}$	$0,20z$
10в	Райса	См. строку 10 при $m > 1$; $\frac{2a}{\sigma} \exp\left(-\frac{x^2 + x_0^2}{\sigma}\right) I_0\left(\frac{2xx_0}{\sigma}\right)$ при $x \geq 0$ где I_0 – функция Бесселя нулевого порядка от мнимого аргумента; $x_0^2 = \frac{z}{m} \sqrt{m^2 - m};$ $\sigma = \frac{z}{m} (m - \sqrt{m^2 - m})$	–	–	–
11	Экспоненциальный	$\lambda \exp(-\lambda x)$ при $x \geq 0$; 0 при $x < 0$	$1 - \exp(-\lambda x)$ при $x > 0$; 0 при $x < 0$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda^2}$
12	Вейбулла	$\gamma x^{\gamma-1} \exp(-x^\gamma)$ при $x > 0$; $\gamma > 0$	$1 - \exp(-x^\gamma)$ при $x \geq 0$; $\gamma > 0$	$\frac{1}{\gamma} \Gamma\left(\frac{1}{\gamma}\right)$	$\Gamma\left(\frac{2}{\gamma} + 1\right) - \Gamma^2\left(\frac{1}{\gamma} + 1\right)$

Таблица 3

Связь автокорреляционных функций и спектров

№ п/п	Автокорреляционная функция	Дисперсия $D[X] = \sigma_x^2$	Энергетический спектр $G_x(\omega)$	Характеристика процесса	Примечание
1	$C^2\delta^2(\tau)$	0	C^2	Белый шум	–
2	$\frac{C^2}{\pi\tau} \text{Sin}\omega_c\tau$	$\frac{C^2\omega_c}{\pi}$	C^2 при $ \omega \leq \omega_c$; 0 при $ \omega > \omega_c$	Сингулярный процесс	
3	$C^2\exp(-\alpha \tau)$, где $\alpha = R_k C_k$ – сопротивление и емкость конденсатора	C^2	$\frac{2C^2\alpha}{\alpha^2 + \omega^2}$	Несингулярный процесс. Имеет разрывы первого рода для первой производной	Первая производная от автокорреляционной функции имеет разрыв первого рода при $\tau = 0$
4	$C^2\exp(-\alpha\tau^2)$	C^2	$C^2\sqrt{\frac{\pi}{\alpha}} \exp(-\omega^2(4\alpha)^{-1})$	Сингулярный процесс (гауссовский низкочастотный фильтр)	–
5	$\frac{C^2}{\pi\tau} (\text{Sin}\omega_2\tau - \text{Sin}\omega_1\tau)$	$\frac{C^2}{\pi}(\omega_2 - \omega_1)$	0 при $ \omega < \omega_1$ C^2 при $\omega_1 \leq \omega \leq \omega_2$ 0 при $ \omega > \omega_2$	Сингулярный процесс, полученный при прохождении через полосовой фильтр	–
6	$C^2\text{Cos}\beta\tau\exp(-\alpha \tau)$,	C^2	$C^2\alpha \left[\frac{1}{\alpha^2 + (\beta + \omega)^2} + \frac{1}{\alpha^2 + (\beta - \omega)^2} \right]$	Несингулярный процесс, полученный при прохождении белого шума через колебательный контур	См. примечание к п. 3
7	$C^2 \left(\text{Cos}\omega_0\tau + \frac{\alpha}{\omega_0} \text{Sin}\omega_0 \tau \right) \times \exp(-\alpha \tau)$	C^2	$\frac{4C^2\alpha(\alpha^2 + \omega_0^2)}{[\omega^2 - (\omega_0 + \alpha)^2]^2 + 4\alpha^2\omega^2}$	Несингулярный процесс, полученный при прохождении белого шума через колебательный контур	См. примечание к п. 3
8	$C^2 \left(1 + \alpha \tau + \frac{\alpha^2\tau^2}{3} \right) \times \exp(-\alpha \tau)$	C^2	$\frac{16C^2\alpha^5}{3(\alpha^2 + \omega^2)^3}$	Процесс, полученный при прохождении белого шума через тройной фильтр	–
9	$C^2(1 + \alpha \tau) \times \exp(-\alpha \tau)$	C^2	$\frac{4\alpha^2C^2}{(\alpha^2 + \omega^2)^2}$	Процесс, полученный из белого шума путем пропускания через двойной фильтр	–
10	$C^2\text{Cos}\omega_0\tau$	C^2	$C^2\delta(\omega - \omega_0)$	Периодический случайный сингулярный процесс со случайной фазой с фиксированной частотой ω_0 и амплитудой A	–
11	$0,5\sum_{k=1}^n C_k^2\text{Cos}\omega_k\tau$	$0,5\sum_{k=1}^n C_k^2\text{Cos}\omega_k\tau$	$0,5\sum_{k=1}^n C_k^2\delta(\omega - \omega_k)$	Сумма n процессов вида, указанного в п. 10.	–
12	$0,5C^2R_\xi(\tau)\text{Cos}\omega_0\tau$	$0,5C^2$	–	Синусоидальный процесс, модулированный по амплитуде случайным процессом $\xi(t)$	При постоянстве начальной фазы процесс периодически нестационарен

4. Ковариационная оценка применяется при использовании одного параметра

$$H_{эд} = \frac{|L_{удmax} - L_{эд}| + |L_{удmin} - L_{эд}|}{2L_{эд}},$$

как коэффициента вариации

$$K_{эд} = S_{эд} / L_{эд},$$

где $S_{эд}$ – СКО яркостей, равное $S_{эд} = \sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (L_{удi} - L_{эд})^2}$,

откуда с учетом δ интервальные оценки в соответствии с данными (соотношениями) табл. 3 для $(L_{удi} - L_{эд})^2 = L_{удi}^2 - 2L_{удi}L_{эд} + L_{эд}^2$, $i = 1, \dots, k$, имеем:

$$\frac{S_{уд}^2 + L_{эд}^2}{(1+\delta)^2} - \frac{2L_{уд}L_{эд}}{(1-\delta)^2} \leq (L_{удi} - L_{эд})^2 \leq \frac{L_{удi}^2 - L_{эд}^2}{(1-\delta)^2} - \frac{2L_{удi}L_{эд}}{(1+\delta)^2}, \quad (6)$$

или при переходе к дисперсии имеем:

$$\begin{aligned} \frac{k}{k-1} \left[\frac{L_{уд}^2 + L_{эд}^2}{(1+\delta)^2} - \frac{2L_{эд}}{(1-\delta)^2} \right] &\leq \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (L_{удi} + L_{эд})^2 \leq \\ &\leq \frac{k}{k-1} \left[\frac{L_{уд}^2 + L_{эд}^2}{(1-\delta)^2} - \frac{2L_{эд}}{(1+\delta)^2} \right]; L_{уд}^2 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k L_{удi}^2. \end{aligned} \quad (7)$$

5. Динамические свойства системы (рис. 2) вычисляются соотношением вероятностных функций (детерминированные статические и стохастические частотные), приведенные в табл. 4.

В табл. 4 величина R_{LL} является автокорреляционной функцией освещенности экрана, как функции возмущения сетчатки (рис. 2), описываемой моделями (6) или (7). Модели (6) или (7) являются поведенческими моделями вероятностного типа с переменными значениями математических ожиданий, дисперсии и коэффициентов вариации и ковариации.

С точки зрения методологии математического моделирования поведенческая модель (рис. 2) представляется в виде структурно-алгоритмической модели (рис. 3), где элементы представлены в виде стандартизованных операторных передаточных (непрерывных и z-вида) функций динамических звеньев:

Исследование модели (рис. 3) на ПЭВМ показало, что для оптического канала системы аккомодации глаза и ее системы, имеется допустимая область вариации параметров.

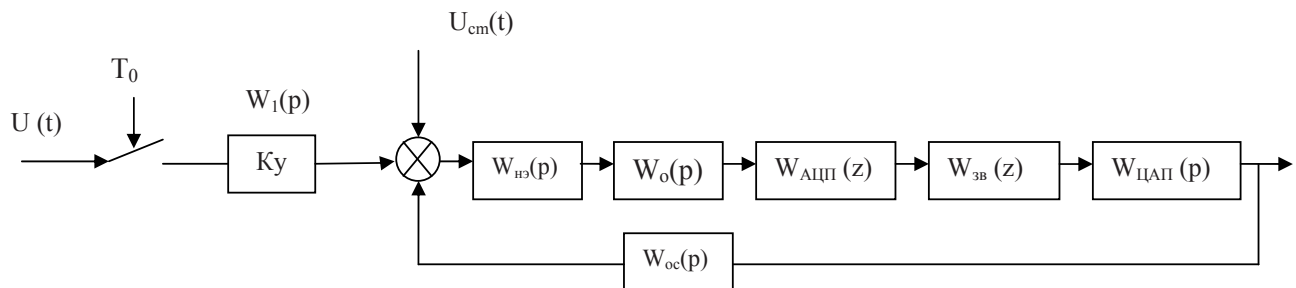


Рис. 3. Структурно-алгоритмическая схема модели нелинейного оптического канала глаза: $W_1(p)$ – усилителя; $W_{нэ}(p)$ – нелинейного звена (НЭ1, НЭ2 – рис. 2); $W_o(p)$ – оптического канала; $W_{АЦП}(z)$, $W_{ЦАП}(p)$ – аналого-цифрового и цифроаналогового преобразователя; $W_{oc}(p)$ – обратной связи (гибкой и жесткой интегральной)

В данном случае несущественным является способ представления моделей элементов (в непрерывном или дискретном – z-виде по Лапласу или в частотном по Фурье) системы.

Более простой вид модели (рис. 3) в блочной форме получается с помощью гипотезы Хаммерштейна, которая позволяет вести моделирование с анализом наиболее существенных параметров НЭ1 и НЭ2 (рисунок). Результаты моделирования приведены в табл. 5.

6. Исследование эффективности оптических каналов аккомодации глаза человека на основе моделей (6) и (7) показало, что эти параметры оцениваются с помощью соотношений:

$$\begin{aligned} S_{эд}^2 \Psi_n^2(\delta, k) &\leq S_{эд}^2 \leq S_{эд}^2 \Psi_B(\delta, k); \\ \Psi_n^2(\delta, k) &= \frac{(1-\delta)^2 - 8\delta[k/(k-1)]Q}{(1-\delta^2)^2}; \\ \Psi_B^2(\delta, k) &= \frac{(1+\delta)^2 + 8\delta[k/(k+1)]Q}{(1+\delta^2)^2}; \\ Q &= L_{эд} / S_{эд}^2; S_{эд}^2 = \frac{k}{k-1} (L_{уд}^2 - L_{эд}^2), \end{aligned} \quad (8)$$

где $\Psi_n(\delta, k)$, $\Psi_B(\delta, k)$ – соответственно коэффициенты ковариации нижней и верхней оценки дисперсий $S_{эд}^2$.

При $(1-\delta)^2 - 8\delta \frac{k}{k-1}$ в качестве нижней границы принимается 0, откуда интервальные оценки для действительных коэффициентов вариации будут иметь значения:

$$\frac{S_{эд} \Psi_n(\delta, k)}{L_{эд}} (1-\delta) \leq \frac{S_{эд}}{L_{эд}} \leq \frac{S_{эд} \Psi_B(\delta, k)}{L_{эд}} (1+\delta). \quad (9)$$

В соответствии с вышеприведенными значениями $L_{эд}$ интервал коэффициента вариации будет иметь значение: $0 \leq K_{эд} \leq 1,52$.

Требование по ТУ в данном случае выражается условием:

$$\frac{S_{эд} \Psi_B(\delta, k)}{L_{эд}} (1+\delta) \leq K_{э(ТУ)}. \quad (10)$$

Оценка (10) будет являться нормативной оценкой параметров при разработке индикаторных устройств АСУТП и АСУП на основе ПЭВМ промышленного типа.

7. По подобной методике проводится исследование влияния на здоровье оператора ПК других факторов (табл. 1).

Таблица 4

Стандартизованные вероятностные функции информационного канала

№ п/п	Вид процесса	Случайные величины		Общие статистические характеристики случайного процесса
		Обозначение	Статистические характеристики	
1	$A \sin(\omega t + \varphi);$ $A = f(L_0)$	φ	φ – равномерна в интервале $[0, 2\pi]$	Процесс эргодический $f_L(L, t_1) = \frac{1}{\pi \sqrt{A^2 - L^2}};$ $ L \leq A; R_{LL}(\tau) = 0,5A^2 \cos \omega \tau$
2	$A \sin(\omega t + \varphi);$ $A = f(L_0)$	φ, A	φ – равномерна в интервале $[0, 2\pi];$ A – имеет плотность $f_A(A);$ φ, A – независимы	Процесс эргодический $f_L(L, t_1) = \frac{1}{\pi} \int_L^\infty \frac{f_A(A) dA}{\sqrt{A^2 - L^2}};$ $R_{LL}(\tau) = 0,5M[A^2] \cos \omega \tau$
3	$A \sin(\omega t + \varphi);$ $A = f(L_0)$	φ, A	φ – равномерна в интервале $[0, 2\pi];$ A – имеет плотность распределения по Рэлею: $f_A(A) = A \exp\left(-\frac{A^2}{2}\right), A \geq 0,$ $f_A(A) = 0, A < 0$	Процесс Гаусса $R_{LL}(\tau) = 0,5M[A^2] \cos \omega \tau$
4	$\sum_{k=1}^{\infty} \left[C_k \cos k(\omega t + \varphi) + D_k \sin k(\omega t + \varphi) \right];$ $C_k, D_k = f(L_0)$	φ	φ – равномерна в интервале $[0, 2\pi];$	Процесс эргодический $R_{LL}(\tau) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{\infty} (C_k^2 + D_k^2) \cos k \omega \tau$
5	$\sum_{k=1}^{\infty} \left[C_k \cos k \cdot \omega_0 t + D_k \sin k \cdot \omega_0 \tau \right];$ $C_k, D_k = f(L_0)$	C_k, D_k	$M[C_k] = M[D_k] = 0;$ $M[C_k^2] = M[D_k^2];$ $M[C_k D_k] = 0;$ $M[C_i C_k] = M[D_i D_k], (i \neq k)$	Процесс эргодический $R_{LL}(\tau) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{\infty} M(C_k^2 + D_k^2) \cos k \omega_0 \tau$
6	$A \sin(\omega t + \varphi);$ $A = f(L_0)$	φ, ω	φ – равномерна в интервале $[0, 2\pi];$ $A = \sigma_L \sqrt{2};$ ω – имеет плотность $f_\omega(\omega)$	$f_L(L, t_1) = \frac{1}{\pi} \frac{1}{\sqrt{A^2 + L^2}}; L \leq A;$ $R_{LL}(\tau) = \frac{A^2}{2} \int_{\omega} \cos \omega \tau f_\omega(\omega) d\omega$
7	$A \sin(\omega t + \varphi);$ $A = f(L_0)$	A, φ, ω	φ – равномерна в интервале $[0, 2\pi];$ ω, A, φ – независимые: $f_\omega(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty r_{LL}(\tau) \cos \omega \tau d\tau;$ $M[A^2] = R_{LL}(0)$	$R_{LL}(\tau) = R_{\text{треб}}(\tau)$
8	$A \sin(\omega t + \varphi);$ $A = f(L_0)$	A, ω, φ	φ – равномерна в интервале $[0, 2\pi];$ A, ω, φ – независимые: $f_\omega(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty r_{LL}(\tau) \cos \omega \tau d\tau,$ A – имеет плотность $f_A(A)$	$R_{LL}(\tau) = R_{\text{треб}}(\tau)$ $f_L(L, t_1) = \frac{1}{\pi} \int_L^\infty \frac{f_A(A) dA}{\sqrt{A^2 - L^2}}; L \leq A;$
9	$A \sin(\omega t + \varphi);$ $A = f(L_0)$	A, ω, φ	φ – равномерна в интервале $[0, 2\pi];$ A, ω, φ – независимые: $f_\omega(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty r_{LL}(\tau) \cos \omega \tau d\tau;$ $f_A(A) = A G_L^{-2} \exp\left\{-\frac{L}{2\sigma_L}\right\} -$ закон Рэлея	$R_{LL}(\tau) = R_{\text{треб}}(\tau);$ $f_L(L, t_1) = (\sqrt{2\pi}\sigma_L)^{-1} \cdot \exp\left\{-\frac{L^2}{2\sigma_L^2}\right\} -$ нормальный закон

№ п/п	Вид процесса	Случайные величины		Общие статистические характеристики случайного процесса
		Обозначение	Статистические характеристики	
10	$A \sin\left(wt + \frac{\pi}{4}\right);$ $A = f(L_3)$	A, w	A, w – независимы; $f_w(w) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} r_{LL}(\tau) \cos w\tau d\tau$	$R_{LL}(\tau) = R_{\text{треб}}(\tau)$
11	$A \cos(wt + \varphi);$ $A = f(L_3)$	w, φ	φ – равномерна в интервале $[0, 2\pi]$; $A = \sigma_L \sqrt{0,2}$; w, φ – независимы; $f_w(w) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} r_{LL}(\tau) \cos w\tau d\tau$	$R_{LL}(\tau) = R_{\text{треб}}(\tau)$
12	$A \cos(wt + \varphi);$ $A = f(L_3)$	A, w, φ	φ – равномерна в интервале $[0, 2\pi]$; A, w, φ – независимы; $f_w(w) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} r_{LL}(\tau) \cos w\tau d\tau$	$R_{LL}(\tau) = R_{\text{треб}}(\tau),$ $f_L(L, t_1) = \frac{1}{\pi} \int_{L-\sqrt{A^2-L^2}}^{\infty} \frac{f_A(A) dA}{\sqrt{A^2-L^2}}$
13	$A \cos\left(wt + \frac{\pi}{4}\right);$ $A = f(L_3)$	A, w	A, w – независимы; $f_w(w) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} r_{LL}(\tau) \cos w\tau d\tau$	$R_{LL}(\tau) = R_{\text{треб}}(\tau)$
14	$C \sin wt + D \cos wt;$ $C, D = f(L_3)$	C, D, w	$M[C] = M[D] = M[w] = 0;$ $M[C^2] = M[D^2] = R_{LL}(0);$ $M[C_k D_k] = 0;$ $M[C_i C_k] = M[D_i D_k], (i \neq k)$ $f_w(w) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} r_{LL}(\tau) \cos w\tau d\tau$	$R_{LL}(\tau) = R_{\text{треб}}(\tau)$
15	$\sigma_L (\sin wt + A \cos wt);$ $\sigma_L = f(M(L_3))$	A, w	$M[A] = M[w] = 0;$ $M[A^2] = 1;$ $M[C_k D_k] = 0;$ $M[C_i C_k] = M[D_i D_k], (i \neq k)$ $f_w(w) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} r_{LL}(\tau) \cos w\tau d\tau$	$R_{LL}(\tau) = R_{\text{треб}}(\tau)$
16	$\sigma_L \sqrt{A \exp(-w^2)} \times$ $\times (\sin wt + \lambda \cos wt);$ $\sigma_L = f(M(L_3))$	w, λ	$M[w] = M[\lambda] = 0; M[\lambda^2] = 1;$ $A = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{S_L(w) dw}{\sigma_L^2 \exp(-w^2)};$ $S_L(w) = 4 \int_0^{\infty} R_{LL}(\tau) \cos w\tau d\tau;$ $f_w(w) = \frac{S_L(w)}{R_{LL}(0)}$	$R_{LL}(\tau) = R_{\text{треб}}(\tau)$
17	$\sigma_L [\sin w(t+T) + \lambda \cos(t+T)];$ $\sigma_L = f(M(L_3))$	λ, w	λ, w – независимы; $M[L] = M[w] = 0;$ $M[\lambda^2] = 1;$ $f_w(w) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} r_{LL}(\tau) \cos w\tau d\tau$	$R_{LL}(\tau) = R_{\text{треб}}(\tau);$ $M[L^{2m+1}(t)] = 0 (m = 1, 2, \dots);$ $M[L^{2m+1}(t)] = M_{\text{треб}}[L^{2n}(t)];$ $(n = 1, 2, \dots)$

Таблица 5

Динамические характеристики на выходах идеализированных нелинейных элементов (звеньев)

№ п/п	Характеристика звена $Z_{\text{ВЫХ}} = \Phi_i(z_{\text{ВХ}})$	Закон распределения на входе $w(z_{\text{ВХ}})$	Математическое ожидание $\bar{z}_{\text{ВЫХ}}$	Дисперсия $D[z_{\text{ВЫХ}}] = \sigma_{z_{\text{ВЫХ}}}^2$	Закон распределения на выходе $w(z_{\text{ВЫХ}})$
1	0 при $z_{\text{ВХ}} \leq \alpha$, $a(z_{\text{ВХ}} - \alpha)$ при $\alpha \leq z_{\text{ВХ}} \leq \beta$, $a(\beta - \alpha)$ при $z_{\text{ВХ}} > \beta$	$\frac{1}{\gamma} \prod_{i=1}^{n=\gamma} \left(\frac{z_{\text{ВХ}}}{\gamma} \right); \gamma > \beta$	$a(\beta - \alpha) \times$ $\times \left(1 - \frac{\beta + \alpha}{2\gamma} \right)$	$\frac{\alpha^2 \beta^3}{\gamma} \left(\frac{1}{3} - \frac{\beta}{4\gamma} \right)$ при $\alpha = 0$	$\left\{ \frac{1}{\gamma} \alpha \delta(z_{\text{ВЫХ}}) + \frac{1}{a\gamma} + \left(1 - \frac{\beta}{\gamma} \right) \times \right\} \times$ $\times \delta[z_{\text{ВЫХ}} - a(\beta - \alpha)]$ $\times \prod_{i=1}^{\gamma} \left[\frac{z_{\text{ВЫХ}}}{a(\beta - \alpha)} \right]$
		$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{z_{\text{ВЫХ}}}} \times$ $\times \exp \left[-\frac{(z_{\text{ВХ}} - \bar{z}_{\text{ВХ}})^2}{2\sigma_{z_{\text{ВХ}}}^2} \right]$	$\bar{z}_{\text{ВХ}} = 0,5(\alpha + \beta)$	$\frac{\beta^2 + \alpha^2}{2} \times$ $\times \left[1 - \Phi_1 \left(\frac{\beta - \alpha}{2\sqrt{2}\sigma_{z_{\text{ВЫХ}}}} \right) + \right.$ $\left. + \sigma_{z_{\text{ВХ}}}^2 \Phi_1 \left(\frac{\beta - \alpha}{2\sqrt{2}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}^2} \right) \right]$	$\frac{1}{2} \left[1 - \Phi_1 \left(\frac{\beta - \alpha}{2\sqrt{2}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}} \right) \right]^{\delta(z_{\text{ВЫХ}} - \beta)^+} +$ $+ \delta(z_{\text{ВЫХ}} - \alpha) +$ $+ \frac{1}{\sqrt{2\pi}a\sigma_{\text{ВХ}}} \times$ $\times \exp \left[-\frac{(z_{\text{ВЫХ}} - 0,5\alpha - 0,5\beta^2)}{2a^2\sigma_{z_{\text{ВХ}}}^2} \right]$
2	b при $z_{\text{ВХ}} \geq c$, $az_{\text{ВХ}}$ при $-c \leq z_{\text{ВХ}} \leq c$ $-b$ при $z_{\text{ВХ}} \leq -c$ $a = b/c$	$\frac{1}{\gamma} \prod_{i=1}^{n=\gamma} \left(\frac{z_{\text{ВХ}}}{\gamma} + \frac{1}{2} \right); \gamma/2 > c$	0	$b^2 \left[1 - \frac{2}{\gamma} \left(c - \frac{b}{3a} \right) \right]$	$\left[\left(0,5 - \frac{c}{\gamma} \right) \delta(z_{\text{ВЫХ}} + b) + \frac{1}{\gamma a} + \right.$ $\left. + \left(0,5 - \frac{c}{\gamma} \right) \delta(z_{\text{ВЫХ}} - b) \times \right.$ $\left. \times \prod_{i=1}^{\gamma} \left(\frac{z_{\text{ВЫХ}} + b}{2b} \right) \right]$
		$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}} \times$ $\times \exp \left[-\frac{(z_{\text{ВХ}} - \bar{z}_{\text{ВХ}})^2}{2\sigma_{z_{\text{ВХ}}}^2} \right]$	0	$c^2 + [\sigma_{z_{\text{ВЫХ}}}^2 - c^2] \times$ $\times \Phi_1 \left(\frac{c}{\sqrt{2}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}} \right)$	0 при $ z_{\text{ВЫХ}} > c$; $0,5 \left[1 - \Phi_1 \left(\frac{c}{\sqrt{2}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}} \right) \right]^{\delta(z_{\text{ВХ}} + c)}$ + $+ \frac{1}{\sqrt{2\pi} + a\sigma_{z_{\text{ВХ}}}} \times$ $\times \exp \left[-\frac{(z_{\text{ВЫХ}}^2)}{2\sigma_{z_{\text{ВХ}}}^2 a^2} \right] +$ $+ 0,5 \left[1 - \Phi_1 \left(\frac{c}{\sqrt{2}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}} \right) \right]^{\delta(z_{\text{ВХ}} - c)}$ при $ z_{\text{ВЫХ}} < c$;
3		$\frac{1}{\gamma} \prod_{i=1}^{n=\gamma} \left(\frac{z_{\text{ВХ}}}{\gamma} + \frac{1}{2} \right)$	$\frac{k^2 \gamma^2}{12} = k\sigma_{z_{\text{ВХ}}}^2$	$\frac{59}{720} = k^2 \gamma^4$	$\frac{1}{\gamma \sqrt{k^2 z_{\text{ВЫХ}}}} \prod_{i=1}^{\gamma} \left(\frac{z_{\text{ВЫХ}}}{k\gamma^2/4} \right)$
		$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}} \exp \left[-\frac{(z_{\text{ВХ}}^2)}{2\sigma_{z_{\text{ВХ}}}^2} \right]$	$k\sigma_{z_{\text{ВХ}}}^2$	$k^2 \sigma_{z_{\text{ВХ}}}^4$	$\frac{\sqrt{z_{\text{ВЫХ}}} \cdot \exp(-z_{\text{ВЫХ}} k^{-1})}{2\sigma_{z_{\text{ВХ}}} k \sqrt{2\pi k}}$

Продолжение таблицы 5

№ п/п	Характеристика звена $Z_{\text{ВЫХ}} = \Phi_i(Z_{\text{ВХ}})$	Закон распределения на входе $w(Z_{\text{ВХ}})$	Математическое ожидание $\bar{z}_{\text{ВЫХ}}$	Дисперсия $D[Z_{\text{ВЫХ}}] = \sigma_{Z_{\text{ВЫХ}}}^2$	Закон распределения на выходе $w(Z_{\text{ВЫХ}})$
4	$\frac{1}{kz_{\text{ВХ}}^4} \prod_{i=1}^{\gamma} \left(\frac{z_{\text{ВХ}} - a}{b - a} \right)$	$\frac{1}{\gamma} \prod_{i=1}^{n=\gamma} \left(\frac{z_{\text{ВХ}} - a}{\gamma} \right)$ $a = b - \gamma$	$\frac{1}{b^{n-1}} - \frac{1}{a^{n-1}(1-n)k(b-a)}$ при $n \neq 1$, $\frac{\ln b - \ln a}{k\gamma}$ при $n = 1$	$\frac{1}{\gamma k^2} \left[\frac{1}{1-2n} \left(\frac{1}{b^{2n-1}} - \frac{1}{a^{2n-1}} \right) - \frac{1}{\gamma(1-n)^2} \left(\frac{1}{b^{n-1}} - \frac{1}{a^{n-1}} \right) \right]$ при $n \neq 1$, $\frac{1}{k\gamma} \left[\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) \frac{1}{k} - \ln b + \ln a \right]$ при $n = 1$	$\frac{1}{nk\gamma z_{\text{ВЫХ}}^2} \times$ $\times \prod_{i=1}^{\gamma} \left(\frac{z_{\text{ВЫХ}} - k^{-1}b^{-n}}{k^{-1}(a^{-n} - b^{-n})} \right)$
		$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}} \times$ $\times \exp \left[-\frac{(z_{\text{ВХ}} - \bar{z}_{z_{\text{ВХ}}})^2}{2\sigma_{z_{\text{ВХ}}}^2} \right]$ $\bar{z}_{z_{\text{ВХ}}} = 0,5(a+b)$	-	-	$\frac{1}{2} \left[1 + \Phi_1 \left(\frac{z_{\text{ВХ}}}{\sqrt{2\pi}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}} \right) \right] \times$ $\times \left[\delta \left(z_{\text{ВЫХ}} - \frac{1}{ka^n} \right) + \right]$ $\left[+ \delta(z_{\text{ВЫХ}} - k^{-1}b^{-n}) \right]$ $+ (nkz_{\text{ВЫХ}}^4 \sqrt{2\pi}\sigma_{z_{\text{ВХ}}})^{-1} \times$ $\times \exp \left[\frac{(\sqrt[n]{z_{\text{ВЫХ}}^{-1} k^{-1}} - \bar{z}_{z_{\text{ВХ}}})^2}{2\sigma_{z_{\text{ВХ}}}^2} \right] \times$ $\times \prod_{i=1}^{\gamma} \left(\frac{z_{\text{ВЫХ}} - k^{-1}b^{-n}}{k^{-1}(a^{-n} - b^{-n})} \right)$
5	$k_1 z_{\text{ВХ}} + k_2 z_{\text{ВХ}}^2 +$ $+ k_3 z_{\text{ВХ}}^3 + \dots +$ $+ k_j z_{\text{ВХ}}^j + \dots;$ $z_{\text{ВХ}} > 0$	$\frac{1}{\gamma} \prod_{i=1}^{\gamma} \left(\frac{z_{\text{ВХ}}}{\gamma} \right)$	$\sum_{j=1}^{\infty} \frac{\gamma^j}{j+1} k_j$	$\sum_{j=1}^{\infty} k_j j^{2j} \frac{1-2j^2}{(2j+1)(j+1)^2} +$ $+ 2\gamma \sum_{j=1}^{\infty} \gamma^j \sum_{l=j+1}^{\infty} \left(\frac{\gamma^{l-1}}{j+1+1} - \frac{2\gamma^{l-1}-1}{(j+1)(l+1)} \right)$	При $j = 1:2$ и $k \neq 0$; $\frac{1}{j} (k_1^2 + 4k_2 z_{\text{ВЫХ}}) \times$ $\times \prod_{i=1}^{\gamma} \left(\frac{z_{\text{ВЫХ}}}{k_i \gamma - k_2 \gamma^2} \right)$
		$\frac{c}{\sqrt{2\pi}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}} \times$ $\times \exp \left[-\frac{(z_{\text{ВХ}} - \bar{z}_{z_{\text{ВХ}}})^2}{2\sigma_{z_{\text{ВХ}}}^2} \right]$ $c = 2 \left[1 + \Phi_1 \left(\frac{\bar{z}_{z_{\text{ВХ}}}}{\sqrt{2}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}} \right) \right]$	$c \sum_{j=1}^{\infty} k_j \int_0^{\infty} \frac{z_{\text{ВХ}}^j}{\sqrt{2\pi}} \frac{c}{\sqrt{2\pi}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}} \times$ $\times \exp \left[-\frac{(z_{\text{ВХ}} - \bar{z}_{z_{\text{ВХ}}})^2}{2\sigma_{z_{\text{ВХ}}}^2} \right] dz_{\text{ВХ}}$	-	При $j = 1:2$ и $k \neq 0$; $\frac{c(k_1^2 + 4k_2 z_{\text{ВЫХ}})}{\sqrt{2\pi}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}} \times$ $\times \exp \left[-\frac{\sqrt{k_1^2 + 4k_2 z_{\text{ВЫХ}}} - k_1 - 2k_2 z_{\text{ВЫХ}}}{8k_2^2 \sigma_{z_{\text{ВХ}}}^2} \right]^2$
6	$kz_{\text{ВХ}}^2 1(z_{\text{ВХ}})$	$\frac{1}{2\gamma} \prod_{i=1}^{\gamma} \left(\frac{z_{\text{ВХ}} - \gamma}{2\gamma} \right)$	$\frac{k\gamma^2}{6} = \frac{k}{2} \sigma_{z_{\text{ВХ}}}^2$	$\frac{7k^2\gamma^4}{120}$	$\frac{1}{2\gamma\sqrt{kz_{\text{ВЫХ}}}} \prod_{i=1}^{\gamma} \left(\frac{z_{\text{ВЫХ}}}{0,25k\gamma^2} \right)$
		$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}} \times$ $\times \exp \left(-\frac{z_{\text{ВХ}}^2}{2\sigma_{z_{\text{ВХ}}}^2} \right)$	$\frac{k\sigma_{z_{\text{ВХ}}}^2}{2}$	$0,5k^2\sigma_{z_{\text{ВХ}}}^4$	$\frac{2 \exp \left(-\frac{z_{\text{ВЫХ}}}{2k\sigma_{z_{\text{ВЫХ}}}^2} \right)}{\sigma_{z_{\text{ВХ}}} \sqrt{2\pi k z_{\text{ВЫХ}}}} 1(z_{\text{ВЫХ}})$

Окончание таблицы 5

№ п/п	Характеристика звена $Z_{\text{ВЫХ}} = \Phi_i(z_{\text{ВХ}})$	Закон распределения на входе $w(z_{\text{ВХ}})$	Математическое ожидание $\bar{z}_{\text{ВЫХ}}$	Дисперсия $D[z_{\text{ВЫХ}}] = \sigma_{z_{\text{ВЫХ}}}^2$	Закон распределения на выходе $w(z_{\text{ВЫХ}})$
7	$\exp(kz_{\text{ВХ}})$	$\frac{1}{\gamma} \prod_{i=1}^{\gamma} \left(\frac{z_{\text{ВХ}}}{\gamma} \right)$	$\frac{1}{\gamma k} \cdot \exp[(\gamma k) - 1]$	$\frac{1}{\gamma} \left(0,5 - \frac{1}{\gamma k} \right) \times$ $\times [\exp(2\gamma k) - 1]$	$\frac{1}{\gamma k z_{\text{ВЫХ}}} \prod_{i=1}^{\gamma} \left(\frac{z_{\text{ВЫХ}} - 1}{\exp(\gamma k) - 1} \right)$
		$\frac{c}{\sqrt{2\pi}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}} \times$ $\times \exp\left(-\frac{(z_{\text{ВХ}} - \bar{z}_{\text{ВХ}})^2}{2\sigma_{z_{\text{ВХ}}}^2}\right) \times$ $\times \prod_{i=1}^{\gamma} \left(\frac{z_{\text{ВХ}}}{b} \right)$ $c = 2 \left[\Phi\left(\frac{b - z_{\text{ВХ}}}{\sqrt{2}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}}\right) + \Phi\left(\frac{-z_{\text{ВХ}}}{\sqrt{2}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}}\right) \right]^{-1}$ $0 \leq z_{\text{ВХ}} \leq b$	$\frac{c}{\sqrt{2\pi}} \times$ $\times \exp(k\bar{z}_{\text{ВХ}} + 0,5k^2\sigma_{z_{\text{ВХ}}}^2) \times$ $\times \Phi_1\left(\frac{b}{\sqrt{2}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}}\right) -$ $- \Phi_1\left(\frac{\bar{z}_{\text{ВХ}}}{\sqrt{2}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}}\right) + \frac{k\sigma_{z_{\text{ВХ}}}}{\sqrt{2}}$	$\frac{c}{2} \exp\left[2kz_{\text{ВХ}} + \frac{(\bar{z}_{\text{ВХ}})^2}{2\sigma_{z_{\text{ВХ}}}^2}\right] \times$ $\times \Phi_1\left[\frac{1}{\sqrt{2}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}} - \sqrt{2}kz_{\text{ВХ}} + \frac{\bar{z}_{\text{ВХ}}}{\sqrt{2}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}}\right] +$ $+ \Phi_1\left(\sqrt{2}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}k + \frac{\bar{z}_{\text{ВХ}}}{\sqrt{2}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}}\right) - (\bar{z}_{\text{ВХ}})^2$	$\frac{c}{\sqrt{2\pi}\sigma_{z_{\text{ВХ}}}kz_{\text{ВЫХ}}} \times$ $\times \exp\left[-\left(k^{-1}\ln z_{\text{ВЫХ}} - \bar{z}_{\text{ВХ}}\right)^2\right] \times$ $\times \prod_{i=1}^{\gamma} \left(\frac{z_{\text{ВЫХ}} - 1}{e^{k\gamma} - 1} \right)$ $b > 0$
8	$k_1 + k_2 \ln z_{\text{ВХ}};$ $z_{\text{ВХ}} > 0$	$\frac{1}{\gamma} \prod_{i=1}^{\gamma} \left(\frac{z_{\text{ВХ}} - a}{\gamma} \right)$ $\gamma = b - a$ $a \leq z_{\text{ВХ}} \leq b$	$k_1 - k_2 + \frac{k_2}{\gamma} \ln \frac{b^b}{a^a}$	$2k_2^2 \left(\frac{1}{\gamma} \ln \frac{b^b}{a^a} - 1 \right) +$ $+ \frac{k_2^2}{\gamma^2} \ln \left(\frac{b^{2,8b}}{a^{0,8a}} \right)$	$\frac{\exp\left(\frac{z_{\text{ВХ}}}{k_2}\right)}{k_2 \left[\exp\left(\frac{b}{k_2}\right) - \exp\left(\frac{a}{k_2}\right) \right]}$

Разработанная методология применялась на практике при исследовании влияния промышленных факторов на здоровье операторов компьютеризированного электрооборудования АСУТП и операторов ПК АСУП в условиях машиностроительного предприятия и электрометаллургического завода.

Исследование выполнено на базе профилактория ЗМКБ «Прогресс». Анализировали жалобы трех групп пользователей ПК в течение трёх лет:

- инженеры конструктора, программисты;
- служащие бухгалтерии, планово-экономического отдела использующие разработанное программное обеспечение;
- операторы компьютерного набора.

Опрошено было 60 человек. В каждую группу из 20 человек были включены сотрудники, имеющие стаж практической работы с ПК до 3-х, до 5-ти и до 10 лет.

Работоспособность оценивалась, при опросе, самими пользователями по 5-ти бальной системе [5]. При этом учитывались признаки перенапряжения органов зрения, частота возникновения головных болей, двоение, утомляемость. Женщины чаще чувствуют дискомфорт труда, связанную с функциональным изменением здоровья. Поэтому и жалобы у них чаще, чем у мужчин (рис. 4).

По структуре недомоганий жалобы на костно-мышечную систему практически одинаковы для женщин и мужчин. Однако утомление зрительного аппарата у мужчин значительно выше. У женщин чаще наблюдается повышение артериального давления, головные боли (рис. 5).

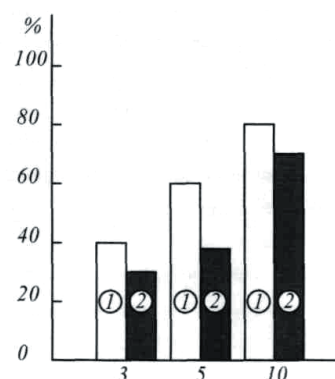


Рис. 4. Частота жалоб в течении года: 1 – женщины; 2 – мужчины

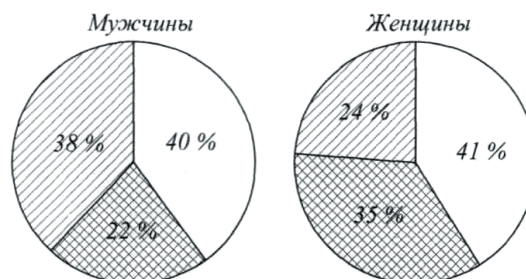


Рис. 5. Структура симптомов заболеваний: □ – болезни костно-мышечной системы; ▨ – вегето-сосудистая дистония; ▩ – заболевания органов зрения

Во время периодических медосмотров у специалистов, которые интенсивно используют компьютер в условиях значительного умственного напряжения, достаточно часто возникают психологические и поведенческие нарушения: нервозность и повышенная раздражительность, тревога, нерешительность, замкнутость. Только у 10 % опрошенных отмечено удовлетворительное психоэмоциональное состояние (рис. 6).

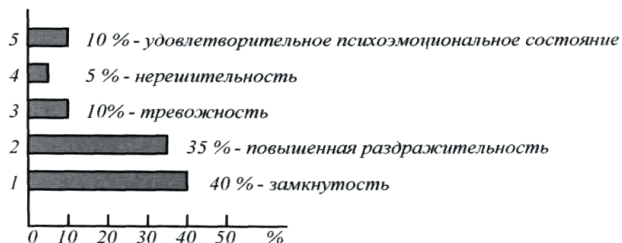


Рис. 6. Психоэмоциональное состояние операторов ПК

На практике используют биоритмическое воздействие на орган зрения квантов света энергией, соответствующей различным длинам волн низкой интенсивности. Рефлекторные реакции при этом выражаются в снижении и расширении зрачков, изменении формы хрусталика. При этом активизируются и укрепляются все группы глазных мышц, улучшается их кровоснабжение.

На первом этапе исследования оценивали влияние цвета на психоэмоциональное состояние оператора персонального компьютера. Из 60 человек опрошенных преимущественно предпочтению отдали зеленому как нейтральному, мягкому, успокаивающему. Красный цвет – наиболее активно влияющий на человека, который пробуждает его физическую силу, энергию, резко стимулирующий оказался наименее комфортным для опрошенных (рис. 7). Желтый цвет, легко стимулирующий, используют для активизации процессов возбуждения, нормализует артериальное давление. Однако по комфортности он несколько уступает зеленому.

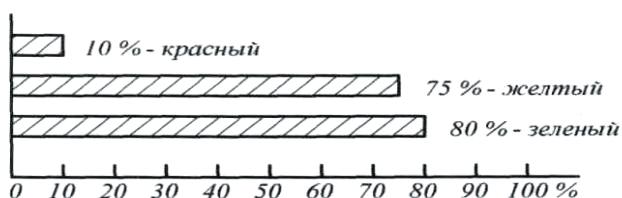


Рис. 7. Эмоциональное восприятие цвета оператором ПК

Одновременное воздействие цвета и ритмической освещенности исследовали на аппарате «АСИР» с использованием красного, желтого и зеленого светофильтров.

Желтый и зеленый светофильтры с импульсом освещенности 2 с, 4 с, 8 с по субъективному восприятию опрошенные оценили уровень комфортности (работоспособности) оценивали в 4–5 баллов. Красный светофильтр и ритмическая смена освещенности показали резкое снижение работоспособности опрошенных, а в ряде случаев даже непереносимость импульсного освещения (рис. 8).

Зеленый светофильтр с длительностью светового импульса 4 секунды наиболее благоприятно воздействует на психоэмоциональное состояние опрошенных.

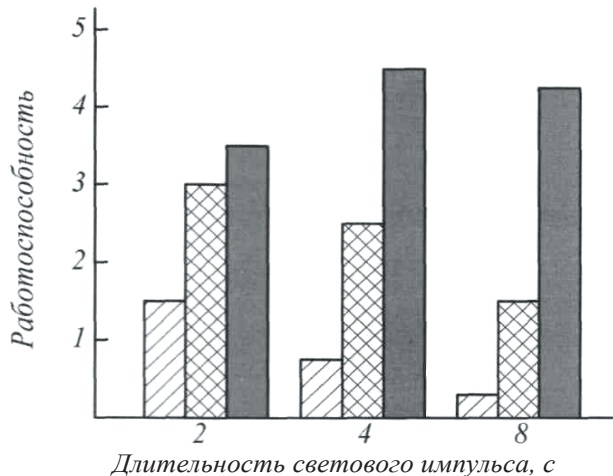


Рис. 8. Совместное влияние цвета и длительности светового импульса: // – красный светофильтр; // – желтый светофильтр; ■ – зеленый светофильтр

Всем участникам исследования было предложено пройти курс визуальной цветоимпульсной терапии на аппарате «АСИР» на базе санатория-профилактория «Славутич» ЗМКБ «Прогресс». Курс лечения включает 15 процедур по 15 мин. по режиму светофильтр зеленый, длительность светового импульса – 4 секунды. В результате проведенного курса лечения все пользователи ПК отметили улучшение общего самочувствия (рис. 9).

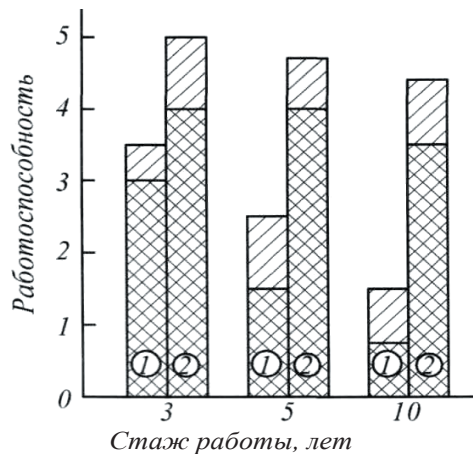


Рис. 9. Восстановительная реакция визуального цветоимпульсного воздействия на работоспособность оператора ПК: // – физиотерапевт, полив; 1 – женщины; 2 – мужчины

Субъективная оценка восстановления работоспособности оператора ПК со стажем до 3-х и 5-ти лет оценили в 4 балла, до 10 лет – несколько меньше (3,5 балла). Причем у мужчин восстановительная реакция была более интенсивной, чем у женщин. Наиболее эффективно восстанавливается работоспособность при комплексном использовании физиотерапии и поливитаминов.

Выводы

1. Длительная работа за монитором компьютера ухудшает здоровье, снижает работоспособность пользователя ПК.

2. Консервативный, немедикаментозный метод цветоимпульсной терапии более эффективен для профилактики начальных форм заболевания зрительного аппарата человека.

Литература

1. Жидецкий В.И. Охорона праці користувачів комп'ютерів: Навчальний посібник. – Львів: Афіша, 2001.
2. Гігієна праці: Підручник/ А.М. Шевченко, О.П. Яворовський, Г.О. Гончарук та ін.; За ред. проф. А.М. Шевченко. – К.: Інфотекс, 2000. – 608 с.
3. ГСанПиН 3.3.2.007-98 «Государственные санитарные правила и нормы работы с визуальными дисплейными терминалами электронно-вычислительных машин».
4. Аппарат визуальной цветоимпульсной стимуляции с биологической обратной связью (БОС) для снятия эмоционального напряжения (АСИР) ТУ 9.444-001-172-603189-98. Утв. Руководителем госконтроля качества и безопасности лекарственных средств и медтехники Рос. Федерации.

5. Цветоимпульсная офтальмотерапия аппаратом «АСИР» в комплексном лечении синдрома хронической усталости / Н.В. Гаврюшенко, Т.П. Михайлова, О.Б. Егорченко и др. // Медицинская реабилитация, курортология, физиотерапия. – 2008. – №2.
6. Информационные технологии гигиены зрительно-психологической работы оператора ЭМ/А.П. Лютый, И.Д. Труфанов, Т.И. Михайлова, В.И. Шмирко, Г.И. Дудник, С.И. Арсеньева // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, № 2/8(44). – 2010. – с. 9–20.
7. Боровиков В.П. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере для профессионалов. – СПб.: Питер, 2001. – 656 с.
8. Справочник по теории автоматического управления / под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.
9. Кроуэлл Р., Фикс Р. Введение в теорию узлов. – М.: Мир, 1987. – 348 с.
10. Лекции по теории графов/ В.А. Емеличев, О.И. Мельников, В.И. Сарвинов, Р.И. Тышкевич.– М.% Наука, 1990.–384 с.
11. Милсум Дж. Анализ биологических систем (Перевод с английского Э.Л. Наппельбаума. – М.: Мир, 1968. – 502 с.).

УДК 681.3

МЕТОДЫ СРАВНЕНИЯ УСПЕВАЕМОСТИ АКАДЕМИЧЕСКИХ ГРУПП

П. В. Кузенков*

З. В. Дударь

E-mail: software@kture.kharkov.ua

Кандидат технических наук, профессор, и.о. заведующего кафедрой*

А. В. Вечур

Кандидат технических наук, доцент*

E-mail: vechur@kture.kharkov.ua

*Кафедра ПО ЭВМ

Харьковский национальный университет радиозлектроники
пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

У статті розглянуті методи порівняння поточної успішності академічних груп на основі рейтингів шляхом вирішення багатокритеріальної задачі

В статье рассмотрены методы сравнения текущей успеваемости академических групп на основе рейтингов путем решения многокритериальной задачи

The article describes the methods to compare the current performance of academic groups based on rankings by solving the multicriteria

1. Введение

Расширение автономии вузов делает более актуальной проблему введения и использования оценоч-

ных подходов и процедур в системе образования. Поиск приемлемых показателей для оценки результатов деятельности вузов представляет собой нелегкую задачу. Показатели оценки результатов и системы сти-