

## ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ КАК НОВЫЙ ГИГИЕНИЧЕСКИЙ ФАКТОР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ЗРИТЕЛЬНЫЙ КОМФОРТ СОВРЕМЕННЫХ ЭКРАНОВ

А. М. Курганский 

Национальный медицинский исследовательский центр здоровья детей, Москва, Россия

В последние десятилетия происходят информационная революция и интенсивное развитие электронных устройств. При этом относительно недавно актуальным стал такой гигиенический фактор, как широтно-импульсная модуляция (ШИМ) свечения дисплеев, которая может вызывать зрительный дискомфорт (ШИМ-синдром) у людей с повышенной чувствительностью к зрительным нагрузкам. К основным жалобам можно отнести боль в глазах, головные боли, иногда чувство тошноты, вплоть до невозможности пользования такими экранами. При этом указанная характеристика экрана может быть свойственна не только LED (AMOLED и др.), но и IPS-дисплеям, в связи с наличием слоя светодиодной подсветки. Отсутствие регулирования этого вопроса привело к появлению Интернет-ресурсов, посвященных ШИМ и проблеме нарушения зрения, где пользователи уточняют информацию самостоятельно, что свидетельствует об актуальности выбранной темы. В настоящей работе рассмотрены теоретические аспекты ШИМ, технические характеристики дисплеев с ШИМ, описаны подходы к ее измерению, представлено обсуждение возможных путей снижения зрительного дискомфорта. Помимо этого приведены описание методики измерения ШИМ дисплеев с помощью фотоаппарата с выдержкой, установленной на 1/20 с, и результаты апробации методики. Показана необходимость дальнейших исследований по оценке влияния ШИМ на зрение и разработке методики гигиенической оценки ШИМ-мониторов и экранов смартфонов.

**Ключевые слова:** широтно-импульсная модуляция, дисплеи, экраны, мониторы, зрительный дискомфорт, зрительное утомление, ШИМ-синдром

 **Для корреспонденции:** Александр Михайлович Курганский  
Ломоносовский проспект, д. 2, стр. 1, г. Москва, 119991, Россия; kurgansk@yandex.ru

**Статья получена:** 07.12.2023 **Статья принята к печати:** 16.03.2024 **Опубликована онлайн:** 28.03.2024

**DOI:** 10.24075/rbh.2024.093

## PULSE-WIDTH MODULATION AS A NEW HYGIENIC FACTOR DETERMINING THE VISUAL COMFORT OF MODERN SCREENS

Kurgansky AM 

National Medical Research Center for Children's Health, Moscow, Russia

The information revolution and intensive development of electronic devices take place in the recent decades. Furthermore, not so long ago such a hygienic factor, as the display luminance pulse-width modulation (PWM) capable of causing visual discomfort (PWM symptoms) in individuals with increased sensitivity to visual load, has become relevant. The main complaints include eye pain, headache, sometimes nausea, up to the inability to use such screens. Moreover, this characteristic can be peculiar not only to LED (AMOLED, etc.), but also to IPS displays due to the presence of the LED backlight layer. No regulation of the issue has led to the emergence of online resources on PWM and the problem of visual impairment, where users verify the data on their own, which suggests the relevance of the subject selected. The paper reports theoretical aspects of PWM, technical characteristics of displays with PWM; the approaches to PWM measurement are described; the possible ways to reduce visual discomfort are discussed. Furthermore, the paper describes the method to measure PWM of displays using a photo camera with the exposure time set to 1/20 s, along with the method testing results. It has been shown that further research focused on assessing the effects of PWM on vision and the development of the method for hygienic assessment of monitors and smartphone screens with PWM are required.

**Keywords:** pulse-width modulation, displays, screens, monitors, visual discomfort, visual fatigue, PWM symptoms

 **Correspondence should be addressed:** Alexander M. Kurgansky  
Lomonosovsky prospect, 2, bld. 1, Moscow, 119991, Russia; kurgansk@yandex.ru

**Received:** 07.12.2023 **Accepted:** 16.03.2024 **Published online:** 28.03.2024

**DOI:** 10.24075/rbh.2024.093

В последнее время, несмотря на значительный прогресс в разработке и создании электронных устройств, благодаря которому технические характеристики даже бюджетных устройств вышли на достойный уровень, определяющий высокое быстродействие и большой объем памяти, что в итоге практически полностью избавило пользователей от неудобств в работе с компьютерами и смартфонами, неожиданным фактором, приводящим к выраженному зрительному дискомфорту у людей с повышенной чувствительностью к зрительной нагрузке, оказалась пульсация экранов, или так называемая широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Эту тему активно изучают как отечественные [1–6], так и зарубежные авторы [7–11].

В известной научной литературе отсутствуют данные о распространенности ШИМ-синдрома как у детей, так и у студентов, однако, по данным научно-популярных источников, распространенность синдрома составляет 10–20% [12], что требует дальнейшего изучения.

Описывая технические детали, следует сказать, что существуют два метода изменения яркости экрана. Первый подход основан на изменении мощности свечения, при этом свет от источника является постоянным. Второй подход основан на применении ШИМ, при этом свет от экрана имеет определенную частоту пульсации. То есть имеется частота мерцания подсветки (например, 120 Гц), которая, в зависимости от длительности импульса, то есть времени, на которое включаются светодиоды (скважности), определяет итоговую яркость свечения экрана. Различия подходов наглядно демонстрирует рис. 1.

ШИМ-синдром может проявляться болью в глазах, утомлением глаз, спазмом аккомодации, головной болью, чувством тошноты, что делает невозможным работу за экраном с ШИМ. При продолжительном воздействии может наблюдаться срыв адаптации зрительной системы, приводящий к временному нарушению зрения.

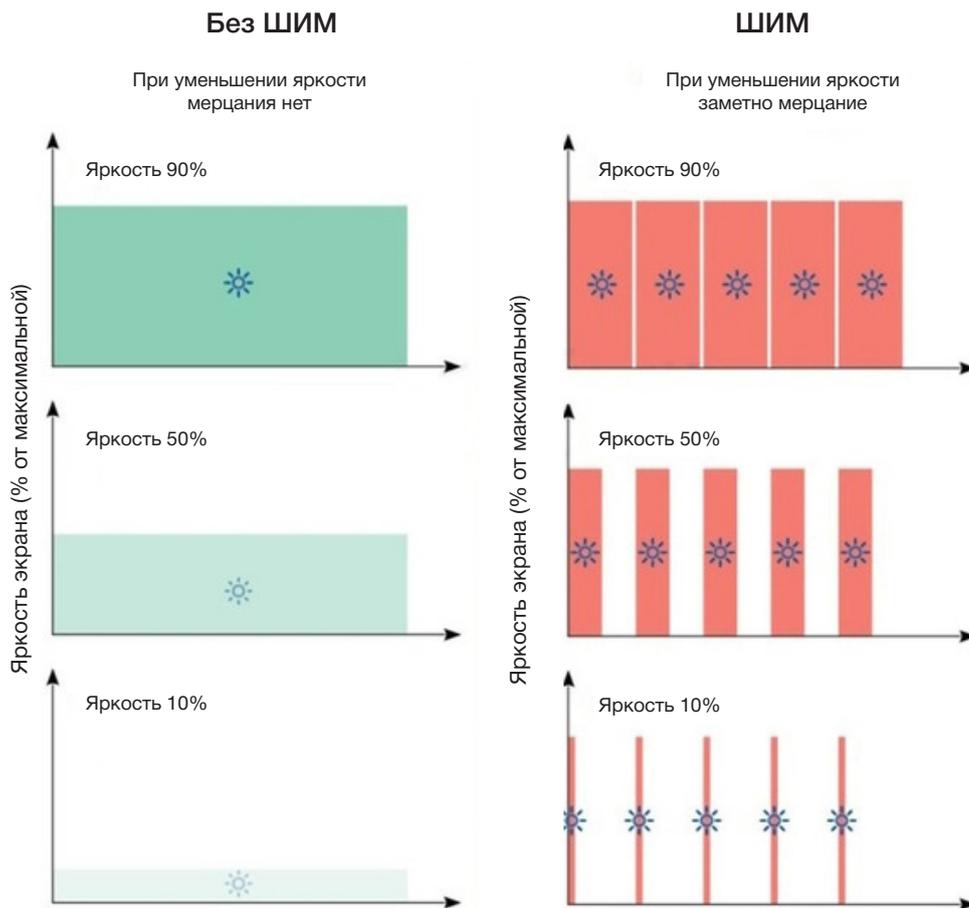


Рис. 1. Сравнение различных технологий изменения яркости экрана — за счет изменения мощности свечения (слева) и применения ШИМ (справа). Рисунок взят из свободного источника [13]

Важно учитывать, что LCD-экран состоит из жидких кристаллов, не имеющих своего свечения, а только пропускающих свет. Слой жидких кристаллов имеет свою частоту обновления (этот параметр обычно указывают в технических характеристиках экрана). Находящийся под ним слой светодиодной подсветки, наоборот, имеет собственное свечение, что и приводит к появлению ШИМ. Это значит, что у LCD-экранов причиной ШИМ является мерцание подсветки [14], а не частота обновления экрана. При этом производители из коммерческих соображений не публикуют этот показатель, что создает определенный риск для чувствительного контингента при покупке экранов.

Причина появления технологии ШИМ в современных экранах нами окончательно не установлена, поскольку, как было сказано выше, не все параметры указывают в технических характеристиках экранов. Существует ряд мнений, которые активно обсуждают на форумах, в том числе 4PDA [15]: что в последние несколько лет производители поставили себе задачу создать экран, которым можно пользоваться при ярком освещении на улице, и что такое нововведение значительно повысило яркостные характеристики экранов. При этом при высоких значениях яркости работа экрана сопровождается характерным шумом электромагнитного происхождения. Таким образом, чтобы снизить электрическое напряжение, приводящее к подобным шумам, производители, видимо, пошли по пути снижения частоты мерцания, что и вызывает неприятные ощущения у определенного процента населения.

Другой, более обоснованной версией является смена технологии подсветки с люминесцентной на светодиодную, которая привела к появлению ШИМ [14].

С физиологической точки зрения ШИМ можно сравнить с критической частотой слияния световых мельканий (КЧСМ), когда с увеличением частоты глаз перестает видеть пульсацию, а ориентировочное пороговое значение соответствует примерно 60 Гц. При этом существует термин «временное восприятие мерцания» (ВВМ) или «transient twinkle perception» (ТТР), показывающий, что в определенных условиях человеческий глаз может улавливать и более высокочастотные мерцания [14].

В литературе имеются данные, свидетельствующие о том, что рекомендуемый порог безопасного значения ШИМ не должен опускаться ниже 200 Гц. В противном случае такие экраны могут вызывать зрительный дискомфорт [14].

В ГОСТ 33393–2015 «Здания и сооружения» [16] приведено нормативное значение пульсации освещенности на рабочем месте, соответствующее значению 300 Гц. При этом в продаже есть более дорогие экраны с ШИМ свыше 2000 Гц, не вызывающие зрительного дискомфорта, что, видимо, представляет собой техническое решение данной проблемы.

Автор настоящей работы не ставит перед собой задачу обосновать нормативы пульсации экранов. Однако можно сделать вывод, что значения ШИМ экрана 100–120 Гц нежелательны и могут вызывать зрительный дискомфорт у чувствительной части населения. В статье изложено мнение автора об основных доступных методах оценки ШИМ, основанное на результатах апробации метода измерения ШИМ посредством динамического фотографирования экрана, и литературных данных.

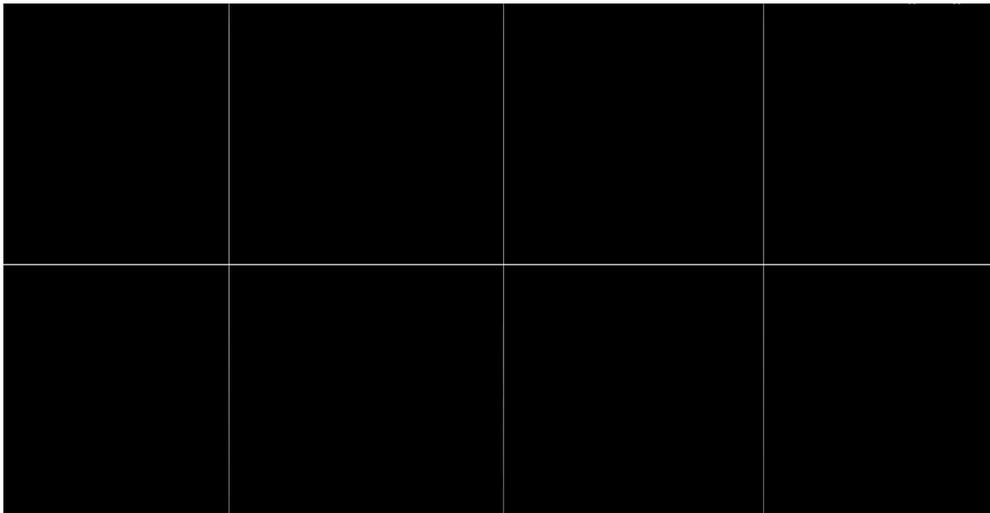


Рис. 2. Пример таблицы для определения ШИМ методом динамической фотографии

### Методы определения ШИМ экрана

Представляет интерес методика, разработанная энтузиастами и распространенная в Интернете [17], в том числе представленная на сайте фотографа Анатолия Лупашина. В соответствии с ней для определения ШИМ использовали экраны различной конструкции (Huawei MateBook D14, HP Pavilion 14-ec002ur, Xiaomi 11 Light 5G NE, iPhone 11, монитор AOC 23 дюйма) с выведенной на них таблицей (рис. 2). При помощи фотоаппарата Canon EOS 2000D с выдержкой, установленной на 1/20 с, была выполнена съемка в движении (горизонтальное движение вдоль экрана) с целью получить смазанные вертикальные линии диагностической таблицы (рис. 2). Далее было визуально оценено изображение вертикальных линий диагностической таблицы. В случае наличия пульсации на вертикальных линиях отображалось чередование светлых и затемненных полос, соответствующих фазам пульсации светодиодов на экране. Для количественной оценки ШИМ число полос умножали на показатель выдержки (20) и получали число пульсаций в секунду (Гц).

Важной проблемой является определение ШИМ экрана. Коэффициент пульсации ( $K_p$ ) рассчитывают по следующей формуле:

$$K_p = \frac{E_{\text{макс}} - E_{\text{мин}}}{2E_{\text{ср}}} \times 100\%,$$

где  $E$  — освещенность (Лк). Это значит, что он учитывает только значения освещенности (максимальное, минимальное и среднее) и не учитывает частоту колебаний, в связи с чем данная методика с применением люксметра-пульсометра не пригодна для оценки ШИМ.

В идеальном варианте для оценки ШИМ нужен осциллограф с фотодатчиком, который позволит построить кривую колебания освещенности экрана, но, к сожалению, такие приборы являются дорогостоящими и не входят в перечень приборов для гигиенической оценки видеодисплейных терминалов (ВДТ), в связи с чем в нашем случае было затруднительно получить доступ к данному оборудованию. При этом такого рода оборудование (осциллограф с фотодатчиком) достаточно трудно найти в свободной продаже. Существуют статьи (к примеру, публикация на Яндекс Дзен [18]), где указано, что пользователи самостоятельно изготовили фотодатчики для смартфона, но это потребовало определенной технической квалификации.

Отсутствие информации о наличии ШИМ в паспортах устройств и методики гигиенической экспертизы этого фактора привело к появлению форумов и сайтов по «борьбе с ШИМ» (RTINGS.com), где энтузиасты своими силами оценивают экраны на предмет наличия ШИМ, а люди, столкнувшиеся с проблемой ШИМ, получают информацию о комфортности нужного им устройства для зрения, потому что у этой категории пользователей покупка экрана с ШИМ может привести к дискомфорту и невозможности работы за экраном.

Существуют простые методики определения ШИМ — например, «карандашный тест», который представляет собой «размахивание» карандашом перед экраном, или фиксация экрана на видео в режиме «медленно», при которой на экране проявляются характерные полосы. Однако эти методы не позволяют выполнять количественную оценку ШИМ.

Автор статьи апробировал метод измерения ШИМ при помощи динамического фотографирования экрана на имевшемся в его распоряжении оборудовании, в результате чего для экранов, вызывавших субъективное ощущение зрительного дискомфорта, были получены значения ШИМ, не превышающие 120 Гц — ШИМ порядка 100 Гц (Huawei MateBook D14, HP Pavilion 14-ec002ur). При этом у экранов, характеризующихся субъективным зрительным комфортом, ШИМ полностью отсутствовала или ее значения превышали 300 Гц (рис. 3, 4).

### Меры по снижению вызванного ШИМ зрительного дискомфорта

Основной мерой является грамотный подбор монитора или замена уже имеющегося устройства (при наличии жалоб). При работе на ноутбуке рекомендуется подключать внешний экран, но существуют и дополнительные подходы, хотя и не вполне эффективные.

На многих сайтах «по борьбе с ШИМ» можно найти метод повышения яркости до 100%, которое, наоборот, делает свечение светодиодов практически постоянным и снижает их пульсацию, при этом саму яркость экрана регулируют (понижают) за счет параметра контрастности, однако такой подход эффективен не во всех случаях. К примеру, на ноутбуке Huawei MateBook D14 повышение яркости до 100% привело к возникновению выраженной ШИМ и субъективному ощущению боли в глазах, в связи

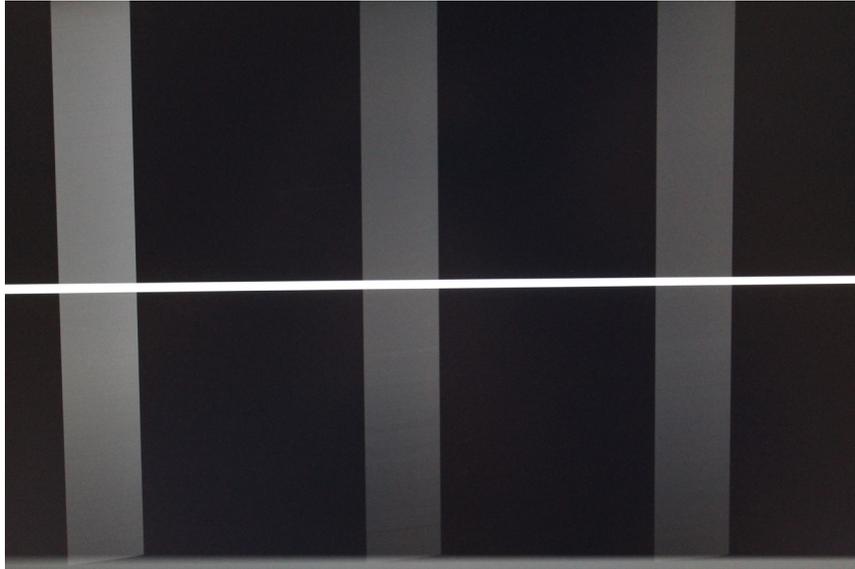


Рис. 3. Пример динамического фотографирования экрана (офисный монитор AOC 23 дюйма) — ШИМ отсутствует

с чем можно сделать вывод, что несмотря на положительную оценку в Интернете, подобный подход применим не ко всем типам экранов.

Другой подход основан на снижении свечения экрана за счет установки «темной темы» системы и браузера, что также не обеспечивает 100% эффективность снижения зрительного дискомфорта, снижая его лишь до определенной степени.

Важными мерами являются включение режима защиты зрения на мониторе при наличии такой функции и сокращение экранного времени.

Предпочтительна покупка дисплеев с технологией Flicker-Free [3], DC Dimming, сглаживающей ШИМ [2], или покупка «офисных» мониторов, имеющих сниженные показатели яркости и контрастности и рассчитанных на длительное использование.

Важно отметить, что ШИМ является не единственным фактором, определяющим зрительный дискомфорт. Сочетание факторов может приводить к тому, что устройства с ШИМ могут субъективно восприниматься по-разному при сравнительно одинаковой частоте пульсации. Вероятно, важную роль в этом играют синий свет, яркость

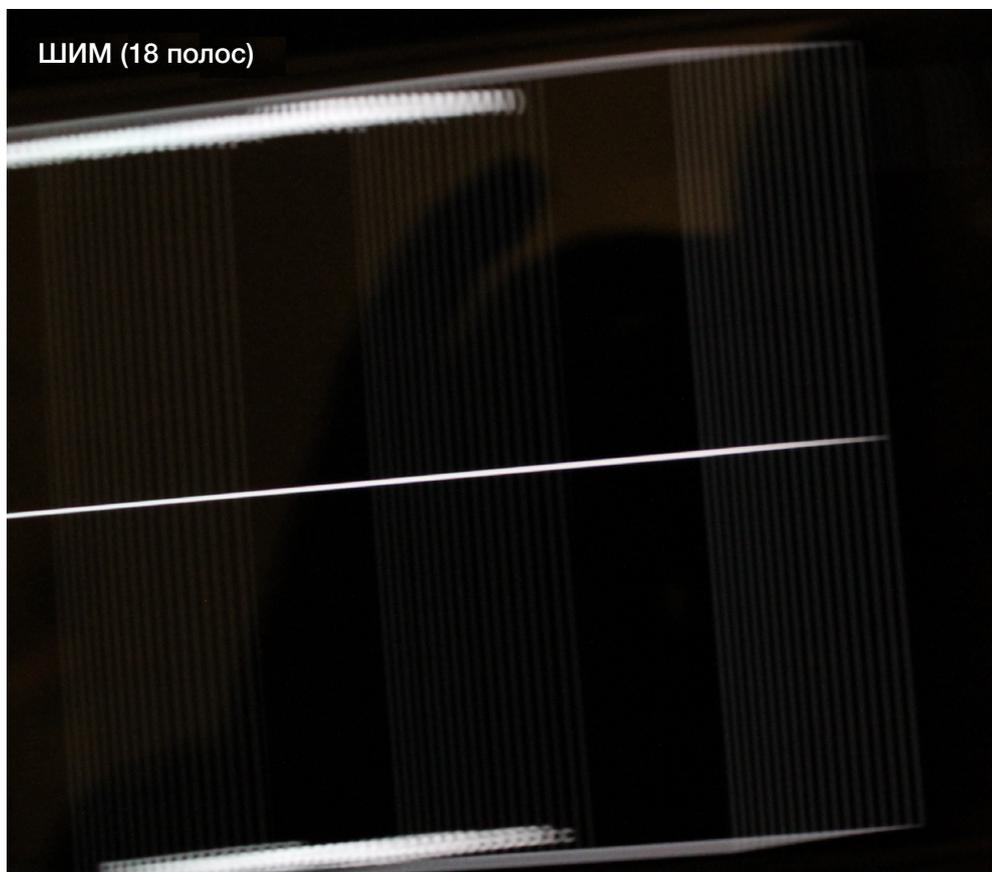


Рис. 4. Пример динамического фотографирования экрана (Xiaomi 11 Light 5G NE) в увеличенном масштабе — ШИМ из 18 полос (360 Гц)

и контрастность изображения. Известно, что одним из методов снижения негативного воздействия ШИМ является настройка яркости и контрастности [19]. Также, к примеру, одним из дополнительных факторов конструкции экрана, способным оказывать влияние на зрение, являются поляризационные пленки [15]. Некоторым пользователям именно наклеенные на экран поляризующие пленки и специальные очки-фильтры помогли снизить зрительный дискомфорт, что также требует дальнейшего изучения [15].

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что при использовании экрана традиционной конструкции зрительный дискомфорт маловероятен, а при использовании инновационного экрана, в конструкции которого присутствуют светодиоды, возникает риск выраженного зрительного дискомфорта, при этом ведущим фактором является ШИМ.

Таким образом, в настоящий момент в конструкцию экранов повсеместно внедряют светодиоды, при этом проблема гигиенической оценки светодиодов не решена окончательно. Важно избегать ситуаций, когда в погоне за качественным изображением («качественной картинкой») могут быть внедрены технологии, вызывающие зрительный дискомфорт у чувствительной группы населения. В связи с этим необходимы дополнительные исследования в этой области и комплексная оценка факторов, определяющих визуальный комфорт современного экрана, поскольку различные факторы могут потенцировать друг друга

(например, сочетание пульсации с высокой яркостью и контрастностью (резкостью) экрана, синим светом), приводя к выраженному зрительному дискомфорту.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) современных дисплеев является актуальным гигиеническим фактором, вызывающим зрительный дискомфорт у чувствительной к зрительной нагрузке группы населения. При этом отечественных публикаций по этой теме крайне мало, необходимы исследования по изучению данной проблемы. В связи с наличием жалоб необходимо на законодательном уровне обязать производителей дисплеев указывать параметр ШИМ в технической документации продукции. Помимо этого необходимы исследования распространения ШИМ-синдрома как среди студентов, так и среди детского населения, которые в сочетании с анализом технической информации позволят осуществлять закупку безопасного оборудования для нужд школьного образования. Необходимы гигиенические исследования для обоснования рисков воздействия ШИМ-свечения дисплеев на состояние зрительной системы. В дальнейшем рекомендуется разработать методику и критерии оценки ШИМ-дисплеев, используемых детьми и подростками, для применения в комплексе с оценкой других влияющих на зрительный комфорт факторов.

## Литература

1. Ситнов К. Е. Исследование широтно-импульсной модуляции ЖК-экранов и осветительных приборов в рамках практического курса по естествознанию. Физика в школе. 2020; (S2): 208–11.
2. Бояршинов Д. В., Ванина А. Г. Влияние широтно-импульсной модуляции в дисплеях на человека. В сборнике: Инновационные векторы цифровизации экономики и образования в регионах России. Ставрополь, 2021: 75–91.
3. Гаев Л. В., Симонов И. Н. Анализ проблемы широтно-импульсной модуляции и поиск способов борьбы с ней. В сборнике: Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению. Материалы II Международной научно-практической конференции молодых ученых. Комсомольск-на-Амуре, 2022: 43–7. DOI: 10.17084/978-5-7765-1521-7-2022-43.
4. Kudryashov AV, Kalinina AS, Yagovkin GN. Pulse width modulated LED light control and vision adaptation. Proceedings of the 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), St. Petersburg, Russia; 16–19 May 2017. St. Petersburg, 2017: 1–4. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076145.
5. Кудряшов А. В., Калинина А. С., Ярмольник Ю. А., Севостьянов Г. В. Пульсация современных источников света и мобильное приложение для ее оценки. Вестник НЦБЖД. 2020; 1(43): 155–63.
6. Макаренко А. А., Лоза Н. И. Зрение и гаджеты. Успехи в науке и образовании. Сборник статей II Международного научно-исследовательского конкурса. Пенза, 2023; 298–302.
7. Mouli S, Palaniappan R. Toward a reliable PWM-based light-emitting diode visual stimulus for improved SSVEP response with minimal visual fatigue. J Eng. 2017; (2): 7–12. DOI: 10.1049/joe.2016.0314.
8. Kim Hs, Song GS, Ahn HB, Lee CY, Kim JH. A study on the effects of LED light's pulse width modulation on work concentration. In: Uden L, Heričko M, Ting IH, editors. Knowledge management in organizations. KMO 2015. Lecture notes in business information processing, vol. 224. Springer, Cham.; 2015. p. 550–60. DOI: doi.org/10.1007/978-3-319-21009-4\_41.
9. Palaniappan R, Mouli S, Balli T, McLoughlin I. On the mental fatigue analysis of SSVEP entrainment; Proceedings of the 2018 2nd International Conference on BioSignal Analysis, Processing and Systems (ICBAPS); Kuching, Malaysia. 24–26 July 2018; Piscataway Township, NJ, USA: IEEE; 2018. p. 19–24. DOI: 10.1109/ICBAPS.2018.8527400.
10. Kim M. Assessment of the effect on the human body of the flicker of OLED displays of smartphones. J Inf Disp. 2021; 22 (4): 269–74. DOI: https://doi.org/10.1080/15980316.2021.1950854.
11. Wu Z, Wang I, Tu Y, et al. Effect of PWM dimming frequency of OLED smartphones on visual fatigue. International Conference on Display Technology. 2023; 54 (S1): 379–82. DOI: 10.1002/sdtp.16308.
12. Дельфанто [Интернет]. ШИМ экрана; 2018–2024 [дата обращения 1.12.2023]. URL: https://delphanto.ru/blog/shim-ekrana/.
13. Smart-Lab [Интернет]. ШИМ-эффект, для тех кто собрался покупать монитор или ноут; 2018 [дата обращения 1.12.2023]. URL: https://smart-lab.ru/blog/495560.php.
14. Чистобаев Д. В., Краснобаев Е. А. Анализ методов управления светодиодной подсветкой дисплейных устройств. Цифровая трансформация. 2018; 2 (3): 60–4.
15. Форум 4PDA [Интернет]. Второй смартфон — болят глаза. Помогите с выбором. Не могу пользоваться новыми смартфонами. Прошу помощи с настройками или выбором устройства. с.27; 2021 [дата обращения 1.12.2023]. URL: https://4pda.to/forum/index.php?showtopic=943228&st=520.
16. ГОСТ 33393–2015 Здания и сооружения. Методы измерения коэффициента пульсации освещенности.
17. Baker S. Pulse width modulation [Internet]. 2018 [cited 2023 Dec 1]. URL: https://www.tftcentral.co.uk/articles/pulse\_width\_modulation.htm.
18. Яндекс Дзен [Интернет]. Как с помощью смартфона проверить телевизор на вредное ШИМ мерцание. Технические советы и не только. 2021 [дата обращения 1.12.2023]. URL: https://dzen.ru/a/YGxgFB-35zWqQ7Zwo.
19. Айзятова М. В., Александрова И. Э., Лашнева И. П., Курганский А. М. Обоснование оптимальных параметров яркости экрана интерактивной панели для снижения риска общего и зрительного утомления школьников. Анализ риска здоровью. 2023; (1): 46–54.

## References

1. Sitnov KE. Issledovanie shirotno-impul'snoj moduljatsii ZhK-jekranov i osvetitel'nyh priborov v ramkah prakticheskogo kursa po estestvoznaniyu. *Fizika v shkole*. 2020; (S2): 208–11 (in Rus.).
2. Bojarshinov DV, Vanina AG. Vlijanie shirotno-impul'snoj moduljatsii v displejah na cheloveka. V sbornike: *Innovacionnye vektory cifrovizatsii jekonomiki i obrazovaniya v regionah Rossii*. Stavropol', 2021: 75–9 (in Rus.).
3. Gaev LV, Simonov IN. Analiz problemy shirotno-impul'snoj moduljatsii i poisk sposobov bor'by s nej. V sbornike: *Nauka, innovacii i tehnologii: ot idej k vnedreniju*. Materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchenyh. *Komsomol'sk-na-Amure*, 2022: 43–7 (in Rus.). DOI: 10.17084/978-5-7765-1521-7-2022-43.
4. Kudryashov AV, Kalinina AS, Yagovkin GN. Pulse width modulated LED light control and vision adaptation. *Proceedings of the 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, St. Petersburg, Russia; 16–19 May 2017. St. Petersburg, 2017: 1–4. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076145.
5. Kudrjashov AV, Kalinina AS, Jarmolnik JuA., Sevostjanov GV. Pul'sacija sovremennyh istochnikov sveta i mobil'noe prilozhenie dlja ee ocenki. *Vestnik NCBZhD*. 2020; 1(43): 155–63 (in Rus.).
6. Makarenko AA, Loza NI. Zrenie i gadzhety. Uspehi v nauke i obrazovanii. *Sbornik statej II Mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo konkursa*. Penza, 2023; 298–302 (in Rus.).
7. Mouli S, Palaniappan R. Toward a reliable PWM-based light-emitting diode visual stimulus for improved SSVEP response with minimal visual fatigue. *J Eng*. 2017; (2): 7–12. DOI: 10.1049/joe.2016.0314.
8. Kim Hs, Song GS, Ahn HB, Lee CY, Kim JH. A study on the effects of LED light's pulse width modulation on work concentration. In: Uden L, Heričko M, Ting IH, editors. *Knowledge management in organizations*. KMO 2015. *Lecture notes in business information processing*, vol. 224. Springer, Cham.; 2015. p. 550–60. DOI: doi.org/10.1007/978-3-319-21009-4\_41.
9. Palaniappan R, Mouli S, Balli T, McLoughlin I. On the mental fatigue analysis of SSVEP entrainment; *Proceedings of the 2018 2nd International Conference on BioSignal Analysis, Processing and Systems (ICBAPS)*; Kuching, Malaysia. 24–26 July 2018; Piscataway Township, NJ, USA: IEEE; 2018. p. 19–24. DOI: 10.1109/ICBAPS.2018.8527400.
10. Kim M. Assessment of the effect on the human body of the flicker of OLED displays of smartphones. *J Inf Disp*. 2021; 22 (4): 269–74. DOI: <https://doi.org/10.1080/15980316.2021.1950854>.
11. Wu Z, Wang I, Tu Y, et al. Effect of PWM dimming frequency of OLED smartphones on visual fatigue. *International Conference on Display Technology*. 2023; 54 (S1): 379–82. DOI: 10.1002/sdtp.16308.
12. Delfanto [Internet]. *ShIM jekrana; 2018–2024* [cited 2023 Dec 1]. (In Rus.). Available from: <https://delphanto.ru/blog/shim-ekrana/>.
13. Smart-Lab [Internet]. *ShIM-jeffekt, dlja teh kto sobralsja pokupat' monik ili nout; 2018* [cited 2023 Dec 1]. Available from: <https://smart-lab.ru/blog/495560.php>.
14. Chistobaev DV, Krasnobaev EA. Analiz metodov upravljeniya svetodiodnoj podsvetkoj displejnyh ustrojstv. *Cifrovaja transformacija*. 2018; 2 (3): 60–4 (in Rus.).
15. Forum 4PDA [Internet]. *Vtoroj smartfon — boljat glaza. Pomogite s vyborom. Ne mogu pol'zovat'sja novymi smartfonami. Proshu pomoshhi s nastrojkami ili vyborom ustrojstva*. p.27; 2021 [cited 2023 Dec 1]. (In Rus.). Available from: <https://4pda.to/forum/index.php?showtopic=943228&st=520>.
16. GOST 33393–2015 *Zdanija i sooruzhenija. Metody izmerenija koeficienta pul'sacii osveshennosti*. (In Rus.).
17. Baker S. *Pulse width modulation* [Internet]. 2018 [cited 2023 Dec 1]. Available from: [https://www.tftcentral.co.uk/articles/pulse\\_width\\_modulation.htm](https://www.tftcentral.co.uk/articles/pulse_width_modulation.htm).
18. Jandeks Dzen [Internet]. *Kak s pomoshh'ju smartfona proverit' televizor na vrednoe ShIM mercanie. Tehnicheskie sovety i ne tol'ko*. 2021 [cited 2023 Dec 1]. (In Rus.). Available from: <https://dzen.ru/a/YGxFB-35zWqQ7Zwo>.
19. Ajzjatova MV, Aleksandrova IJe, Lashneva IP, Kurganskij AM. Obosnovanie optimal'nyh parametrov jarkosti jekrana interaktivnoj paneli dlja snizhenija riska obshhego i zritel'nogo utomlenija shkol'nikov. *Analiz riska zdorov'ju*. 2023; (1): 46–54 (in Rus.).