ВЛИЯНИЕ ШИМ НА ВОСПРИЯТИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ И САМОЧУВСТВИЕ ЗРИТЕЛЕЙ ПРИ ВЫБОРЕ LED-ЭКРАНА

Пушкаренко Роман
магистр,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
Россия, город Москва

В детстве многим говорили: «Не смотри телевизор долго — глаза испортишь». В эпоху кинескопных телевизоров мерцание было связано прежде всего с частотой развёртки. Сегодня в образовательных учреждениях, театрах, на спортивных аренах и в общественных пространствах всё чаще используются современные LED-экраны direct-view — модульные видеостены, кабинеты для залов и сцен, решения для public space. Их изображение формируется за счёт управляемого излучения тысяч и миллионов RGB-светодиодов. И ключевой вопрос для проектировщика или заказчика звучит уже иначе: как параметры управления яркостью, включая широтно-импульсную модуляцию (ШИМ), влияют на визуальное восприятие и комфорт при длительном просмотре?

Как формируется яркость в LED-видеостене

В типовой архитектуре LED-экрана регулирование яркости и градаций серого осуществляется импульсными методами управления. На уровне драйверов светодиодов используется ШИМ: каждый пиксель не изменяет яркость «плавно», а включается и выключается с высокой частотой. Средняя яркость определяется долей времени, в течение которого диод находится во включённом состоянии. Такой подход подробно описывается в документации производителей драйверных микросхем для LED-видеоприменений, где указываются разрядность (битность) управления и параметры внутреннего PWM.

Важно понимать, что «частота ШИМ» в LED-экране — не одно число. В системе одновременно существуют несколько временных параметров:

— частота входного видеосигнала (например, 50 или 60 кадров в секунду);

— частота обновления экрана (refresh rate), то есть сколько раз в секунду аппаратно обновляется состояние пикселей;

— схема мультиплексирования (scan ratio), определяющая, как управляются строки или группы пикселей внутри модуля;

— параметры внутренней временной сетки для градаций серого (grayscale clock) и битность обработки.

Именно комбинация этих параметров формирует итоговую временную структуру свечения пикселя. Поэтому при подготовке технического задания запрос «укажите частоту ШИМ» недостаточен. Необходимо уточнять refresh rate, scan ratio, разрядность градаций серого и поведение системы при снижении яркости.

Мерцание, полосы на камере и зрительный комфорт

Распространённый пользовательский тест — навести камеру смартфона на LED-экран и увидеть бегущие полосы. Эти артефакты связаны с интерференцией между временной структурой свечения экрана (refresh, scan, PWM-циклы) и особенностями считывания матрицы камеры (rolling shutter или global shutter). Профессиональные системы обработки сигнала для LED-видеостен напрямую связывают наличие «scan lines» с количеством PWM-циклов, укладывающихся

в экспозицию камеры, и предлагают специальные режимы оптимизации под съёмку.

Однако отсутствие полос на камере не означает полного отсутствия временной модуляции для человеческого глаза. И наоборот, наличие полос чаще всего сигнализирует о выраженной временной структуре свечения, что требует более внимательной оценки параметров управления яркостью.

Научные исследования визуального дискомфорта наиболее однозначны в отношении низких частот мерцания — порядка десятков герц. В этом диапазоне мерцание может быть видимым или «почти видимым» и вызывать выраженный дискомфорт, особенно при больших светящихся площадях в поле зрения. Для LED-экранов это означает, что нежелательны режимы, создающие низкочастотную модуляцию значительной части экрана, например при определённых сценариях контента или некорректной настройке димминга.

В отношении высокочастотной модуляции (типичной для современных LED-панелей) доказательная база более сложная. В медицинских обзорах цифрового зрительного напряжения подчёркивается, что симптомы — сухость глаз, ощущение «песка», головная боль, быстрая утомляемость — носят многофакторный характер. Они зависят от расстояния до экрана, освещённости, контраста, частоты моргания, длительности непрерывной работы, индивидуальной чувствительности пользователя. Поэтому корректная инженерная позиция звучит так: временная модуляция — один из факторов зрительного дискомфорта, но не единственный.

Яркость, рабочие режимы и качество полутонов

В спецификациях LED-видеостен часто указываются значения пиковой яркости 800–1000 нит для indoor-серий и значительно выше для специальных применений. Однако номинальная яркость и реальная рабочая яркость — разные величины. В большинстве классов, переговорных и актовых залов экран эксплуатируется существенно ниже максимума, под конкретные условия освещения.

Именно в этом рабочем диапазоне необходимо оценивать качество изображения. У LED-панели существует компромисс между частотой обновления, разрядностью PWM/градаций серого и максимальной яркостью. Приоритет более высокой частоты обновления может сопровождаться снижением эффективной битности управления. В индустриальных материалах по LED-процессингу прямо указывается, что рост максимальной яркости или изменение режима работы может влиять на точность отображения низких уровней яркости.

Если при снижении яркости ухудшается точность работы в зоне «low grayscale», это проявляется как ступенчатые градиенты, постеризация, нестабильность цвета в тенях. Фраза «256 уровней на канал» корректна для 8-битного сигнала, однако профессиональные LED-системы часто декларируют 14—16-битную обработку градаций серого. Поэтому потеря полутонов связана не только с входной битностью сигнала, а с реальной архитектурой управления пикселем и выбранным режимом работы.

Длительный просмотр: комплексный подход

В образовательных и офисных сценариях LED-экран может работать 6–8 часов в день. Жалобы пользователей в таких условиях не всегда можно объяснить одним параметром. Исследования digital eye strain подчёркивают влияние длительной фокусировки, снижения частоты моргания, сухости воздуха, бликов, неэргономичной посадки, контрастных перегрузок.

Поэтому в техническом задании важно предусматривать не только требования к ШИМ или частоте обновления, но и:

— соответствие яркости реальной освещённости помещения;

— отсутствие бликов и паразитной засветки;

— стабильность цветопередачи и полутонов на рабочей яркости;

— отсутствие выраженных временных артефактов в статичных и динамических сценах.

Практический чек-лист для выбора LED-экрана

Перед закупкой рекомендуется запросить у поставщика:

— refresh rate и scan ratio для конкретной конфигурации;

— разрядность обработки (processing depth, grayscale levels);

— описание поведения при димминге и наличие компенсации низких градаций серого;

— рекомендуемый рабочий диапазон яркости для условий объекта.

При приёмке на объекте целесообразно:

1. Тестировать экран на той яркости, на которой он будет реально эксплуатироваться.

2. Проверять градиенты и тёмные сцены для оценки качества полутонов.

3. Оценивать статический и динамический контент с позиции зрительного комфорта.

4. При необходимости проводить пилотную эксплуатацию с участием реальных пользователей в течение 1–2 недель.

Если сравниваются LED-видеостены и крупноформатные LCD-панели с LED-подсветкой, корректно сопоставлять не «технологию в целом», а конкретные параметры временной модуляции и поведение при снижении яркости. LCD-решения также могут использовать PWM или гибридные схемы регулировки подсветки, а для дисплеев существуют стандартизированные методы оценки визуального качества и мерцания.

Заключение

ШИМ в LED-экранах — это не «вредная особенность», а инженерный инструмент управления яркостью и градациями серого. Вопрос заключается не в самом факте применения импульсной модуляции, а в её частоте, глубине, реализации и сочетании с другими параметрами системы.

Для школ, вузов, офисов и общественных пространств корректный выбор LED-экрана должен основываться на измеримых характеристиках: частоте обновления, разрядности обработки, поведении при димминге и качестве изображения на рабочей яркости. При этом оценка зрительного комфорта должна учитывать многофакторную природу цифрового зрительного напряжения.

Только комплексный инженерный подход — от анализа параметров драйверов до пилотной эксплуатации — позволяет обеспечить не просто яркое и эффектное, а действительно комфортное для длительного просмотра изображение.

Список литературы

1. Macroblock. **MBI5353: LED Display Driver IC (PWM, up to 32-scan)**. Официальная техническая документация производителя.

2. Chipone. **ICND2153: LED Display PWM Driver**. Техническое описание микросхемы драйвера для LED-дисплеев.

3. NovaStar. **NovaLCT LED Configuration Tool User Manual (версия 5.4.5)**. Руководство пользователя по настройке параметров refresh rate, scan ratio и grayscale.

4. Brompton Technology. **Tessera Processor Software 3.2.6 Release Notes**. Материалы по управлению PWM-циклами и оптимизации работы под камеру.

5. Brompton Technology. **Operating Modes Overview**. Описание компромиссов между частотой обновления, битностью PWM и яркостью.

6. Megapixel VR. **Solving Scan Lines with ICVFX**. Разъяснение причин появления полос при видеосъёмке LED-экранов.

7. ROE Visual. **LED vs LED Processing: What Makes the Difference in the End**. Аналитический материал о влиянии обработки сигнала и scan-параметров на итоговое качество изображения.

8. Leyard Europe. **NEV Series Brochure (Indoor LED Video Walls)**. Технические характеристики indoor-панелей, включая яркость и refresh rate.

9. LG Electronics. **Direct View LED Bundles — Commercial Specifications**. Определение параметра brightness и особенности настройки яркости под помещение.

10. ViewSonic. **Flicker-Free Technology Overview**. Описание подходов к снижению мерцания в LCD-мониторах.