

УДК 778.5.534.8

ББК 37.95

Раев О. Н.

К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОЙ ЧАСТОТЕ КИНОСЪЁМКИ

Раев Олег Николаевич, кандидат технических наук, доцент

E-mail: ncenter@list.ru

Технологический университет имени дважды героя Советского
Союза лётчика-космонавта А. А. Леонова,

Сергиево-Посадский филиал Всероссийского государственного
института кинематографии имени С. А. Герасимова

В профессиональном кинематографе стандартная частота киносъёмки принята равной 24 кадр/с почти 90 лет назад. Эта частота была оптимальной для фотографической записи звука, для расхода киноплёнки при киносъёмке и была удобной при монтаже. Однако при такой частоте киносъёмки возникают искажения в киноизображении при записи объектов съёмки, движущихся относительно светочувствительного слоя киноплёнки или матрицы.

Выполнен анализ оптимального значения частоты киносъёмки для современных цифровых киносъёмочных аппаратов.

Ключевые слова: кинематограф, киносъёмочный аппарат, частота киносъёмки, смаз движущегося изображения, мелькания изображений, преобразование изображений, искажения первого рода.

1. СТАНДАРТНАЯ ЧАСТОТА КИНОСЪЁМКИ

Частота киносъёмки это число кадров, экспонируемых при киносъёмке за одну секунду. Стандартная частота киносъёмки это такая частота, которая совпадает с частотой кинопроекции, одина-

ковой во всех кинозалах. Если частота киносъёмки будет меньше частоты кинопроекции, то зритель будет воспринимать движения объектов в киноизображении ускоренными, а если частота киносъёмки будет больше частоты кинопроекции, то — замедленными.

С первых лет развития кинематографа частота киносъёмки не регламентировалась, зависела от кинооператора, поскольку тогда все киносъёмочные аппараты имели ручной привод лентопротяжного механизма. Однако уже в то время считалось, что частота киносъёмки должна быть в пределах 16–18 кадр/с [1, с. 349].

В 1920-х годы при появлении звукового кинематографа частота киносъёмки была увеличена до 20 кадр/с, а затем до 24 кадр/с, которая с 1932 года и стала стандартной частотой киносъёмки во всём мире [1, с. 349]. Увеличение частоты киносъёмки было необходимо для увеличения скорости непрерывного движения киноплёнки в зоне записи оптической фонограммы на киноплёнке, что требовалось для повышения верхней границы записываемого звукового частотного диапазона в оптической фонограмме. Так, при частоте киносъёмки 24 кадр/с на киноплёнку с разрешающей способностью 80 лин/мм можно было записать фотографическую фонограмму, у которой максимальная частота записываемого звука достигала 7500 Гц [1, с. 350].

При стандартизации частоты киносъёмки учитывалось, что чем больше частота киносъёмки, тем больше расход киноплёнки. Например, при частоте киносъёмки 24 кадр/с на 35-мм киноплёнку при кассете ёмкостью 30 метров киноплёнки снимать можно только 1 минуту, после чего необходимо зарядить в кассету новую киноплёнку.

Кроме того, чем больше частота киносъёмки, тем больше сила воздействия зуба рейферного механизма на кромку перфорации в киноплёнке при её прерывистом транспортировании на шаг кадра, а следовательно, возрастает вероятность её повреждения.

Частота киносъёмки 24 кадр/с оказалась удобной и при ручном монтаже, так как 24 кадра на киноплёнке при кинопоказе демонстрируются зрителю 1 секунду, 12 кадров — полсекунды, 6 кадров — четверть секунды.

В цифровой киносъёмочной аппаратуре частота киносъёмки 24 кадр/с в настоящее время сохранена как стандартная, поскольку вся технология современного кинематографа отработана на эту частоту, увеличение частоты киносъёмки требует увеличения ско-

рости передачи цифровых данных и увеличения объёма хранимой и обрабатываемой информации.

2. ЧАСТОТА КИНОПОКАЗА

Если свет, излучаемый каким-либо объектом или отражаемый им, меняется во времени, то это привлекает внимание человека. При этом если свет, поступающий в глаза человека, изменяется с небольшой частотой, то человек воспринимает эти изменения в яркости светового потока без зрительного дискомфорта.

Если увеличивать частоту мельканий света, то эти изменения в яркости светового потока начинают мешать зрительному восприятию, раздражают человека, утомляют его.

Существует граничная частота мельканий света, называемая критической частотой слияния мельканий. Если частота изменения света меньше критической частоты слияния мельканий, то зрительный аппарат человека воспринимает эти мелькания, но если частота изменения света превышает критическую частоту слияния мельканий зрительного аппарата, то человек воспринимает мелькающий свет так, как будто свет не изменяется (постоянен) во времени.

Критическая частота слияния мельканий является субъективной характеристикой зрения, у разных людей она разная.

Величина критической частоты слияния мельканий зависит от места изображения мелькающего источника света на сетчатке глаза — для центральной зоны сетчатки критическая частота слияния мельканий выше, чем для периферии сетчатки. В литературе представлены различные значения критической частоты слияния мельканий. По мнению большинства авторов, для фовеальной области сетчатки критическая частота слияния мельканий составляет 40–55 Гц, для парафовеальной области сетчатки возрастает до 55–60 Гц, а на крайней периферии снижается до 35–40 Гц [7, с. 98].

В кинематографе принято, что критическая частота слияния мельканий равна [6]:

- 48 Гц при демонстрации фильма обычного формата,
- 52 Гц широкоэкранный,
- 56 Гц широкоформатный.

Выявленные особенности человеческого зрения означают: для того, чтобы все зрители комфортно воспринимали кинофильмы,

необходимо обеспечить частоту смены освещённости киноэкрана не менее 60 Гц.

Но стандартная частота киносъёмки равна 24 кадр/с. И частота кинопроекции, соответственно, равна 24 кадр/с. Поэтому кинопроекторы сконструированы таким образом, что они выводят на киноэкран каждый кадр дважды, обеспечивая демонстрацию кинофильма с частотой смены освещённости экрана 48 Гц [8]. Очевидно, что эта частота смены освещённости экрана, хотя и считается допустимой из практики работы кинотеатров, так как не вызывает у зрителей заметного дискомфорта при просмотре ими кинофильмов, не обеспечивает у всех зрителей полного слияния отдельных дискретных изображений в единое непрерывное киноизображение.

3. СМАЗ И СКАЧКИ В КИНОИЗОБРАЖЕНИИ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ

При киносъёмке скорость движения изображения относительно светочувствительного слоя ограничивается кинооператорами до допустимых пределов, при которых смаз и скачки изображения движущихся объектов в кинофильме не заметны зрителю.

Смаз изображения движущегося объекта зависит от скорости движения оптического изображения, сформированного объективом, относительно светочувствительного слоя и от времени экспонирования кадра. Чем больше время экспонирования, тем больше смаз изображения.

Максимально время экспонирования может быть равным периоду кадровых смен, который равен обратной величине частоты киносъёмки. Однако если время экспонирования задать равным периоду кадровых смен, то движущийся объект запишется как сплошная смазанная полоса.

Скачки изображения движущегося объекта вызваны дискретизацией киноизображения по времени и определяются скоростью движения оптического изображения, сформированного объективом, относительно светочувствительного слоя и периодом кадровых смен. Скачки изображения сглаживаются смазом изображения: чем больше время экспонирования, тем меньше величина скачков изображения, но больше смаз.

Поэтому увеличение частоты киносъёмки позволяет увеличить скорость движения изображения относительно светочувстви-

тельного слоя и, следовательно, увеличить допустимую скорость перемещения движущихся объектов относительно киносъёмочного аппарата.

4. ИСКАЖЕНИЯ КИНОИЗОБРАЖЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ КИНОСЪЁМКЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЗАПИСИ КИНОИЗОБРАЖЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫМИ КАДРАМИ

Из теории записи и воспроизведения киноизображений [2, 3] известно, что при записи киноизображения отдельными кадрами возможно появление искажений, называемых искажениями первого рода, проявляющихся в замедлении изменений яркости во времени или скорости движения объектов в киноизображении. Яркий пример искажений первого рода — часто наблюдаемое в кинофильме замедленное вращение колёс автомобиля, их остановка или вращение колёс в противоположном направлении в изображении движущегося автомобиля.

Согласно теореме Владимира Александровича Котельникова [4] в применении к кинематографу, искажений первого рода в кинофильме не будет, если частота киносъёмки как минимум в два раза превысит частоту изменения яркости объекта во времени или частоту смены положения периодических объектов в кадре. Однако частота киносъёмки 24 кадр/с часто не обеспечивает выполнение требований теоремы Котельникова.

Опуская математические расчёты (интересующимся рекомендуем книгу [5]), приведём значения необходимой частоты киносъёмки, при которой не будут возникать искажения первого рода в наиболее часто встречающиеся в кинофильмах.

4.1. Освещение снимаемых объектов безинерционными источниками света

В большинстве европейских стран, в том числе и в России, безинерционные источники света, например металлогалогенные лампы, запитываются от бытовой электрической сети переменного тока 220 В с частотой 50 Гц. Световой поток, излучаемый безинерционными источниками света, пульсирует с частотой, вдвое превышающей частоту тока, т. е. такие лампы вспыхивают с частотой 100 Гц. Колебания яркости света, происходящие с такой частотой,

человек не видит, потому что они превышают критическую частоту слияния мельканий человеческого зрения почти в два раза.

Если произвести киносъёмку сцены, освещаемой такими источниками света, с частотой киносъёмки 24 кадр/с, то при просмотре полученного киноизображения зрители увидят заметную пульсацию яркости (мигание экрана), происходящую с частотой 4 Гц, хорошо воспринимаемой зрением человека. Этих искажений не будет, если частота киносъёмки, согласно теореме Котельникова, будет не меньше чем 200 кадр/с. Подавление мигания киноизображения путём применения допустимых значений времени экспонирования в данной статье не рассматривается.

В США, Бразилии, Японии и в ряде других стран частота электрического тока 60 Гц. Поэтому для бездефектной киносъёмки в этих странах необходимая частота киносъёмки равна 240 кадр/с.

4.2. Киносъёмка интерьеров с работающими телевизорами

В европейских странах частота телевизионной съёмки равна 25 кадр/с, а в североамериканских странах — 30 кадр/с. Обе эти частоты меньше критической частоты слияния мельканий зрения человека. Поэтому чтобы зритель не воспринимал мигания яркости телевизионного экрана, в телевидении каждый кадр выводится на экран телевизора двумя полями (полукадрами).

Следовательно, искажений первого рода при киносъёмке интерьеров с работающими телевизорами не возникнет, если частота киносъёмки в европейских странах будет не менее 100 кадр/с, а в североамериканских странах — не менее 120 кадр/с.

В последнее время появились телевизоры премиум-класса с диагональю экрана 72 см и больше, в которых предусмотрен режим «100 Гц». При включении режима «100 Гц» частота вывода телевизионных кадров увеличивается в 2 раза путём повторного показа каждого кадра изображения при удвоенной частоте развёртки. Частота обновления видеoinформации на экране такого телевизора составляет 100 Гц. Поэтому бездефектная киносъёмка интерьера с таким телевизором должна проводиться с частотой 200 кадр/с.

4.3. Киносъёмка движущихся автомобилей

Если количество лучей диска колеса легкового автомобиля равно, например, 18, то при киносъёмке с частотой 24 кадр/с запишется без искажений изображение движущегося автомобиля при

его скорости движения не более 4,3 км/час, но если количество лучей диска колеса будет равно 3, то скорость движения автомобиля допустима до 26 км/час [5].

Увеличение частоты киносъёмки до 100 кадр/с повысит допустимые значения скоростей движения автомобиля до 18 км/час и 108 км/час, соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принятая в настоящее время за стандартную частота киносъёмки 24 кадр/с не является оптимальной. Для повышения качества киноизображения частоту киносъёмки уже сейчас рекомендуется увеличить до 50, лучше до 60 кадр/с. В дальнейшем рекомендуется довести стандартную частоту киносъёмки до 200 или 240 кадр/с.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Голдовский Е. М.* Основы кинотехники. Москва : Искусство, 1965. 636 с.

2. *Гребенников О. Ф.* Основы записи и воспроизведения изображений (в кинематографе) : учебное пособие для вузов кинематографии. Москва : Искусство, 1982. 239 с.

3. *Гребенников О. Ф., Тихомирова Г. В.* Основы записи и воспроизведения информации (в аудиовизуальной технике) : учебное пособие. Санкт-Петербург : СПбГУКиТ, 2002. 712 с.

4. *Котельников В. А.* О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи / Всесоюзный энергетический комитет. Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности. По радиосекции. Москва : Управление связи РККА, 1933. С. 1–19.

5. *Раев О. Н.* Формирование и преобразование изображений при киносъёмке. Чебоксары : ИПК «Чувашия», 2020. 263 с.

6. Частота слияния мельканий // Фотокинетика / гл. ред. Е. А. Иофис. Москва : Советская энциклопедия, 1981. С. 419.

7. *Шамишинова А. М., Волков В. В.* Функциональные методы исследования в офтальмологии. Москва : Медицина, 2004. 432 с.

8. *Щепанский Г. В.* Частота кинопроекции // Фотокинетика / гл. ред. Е. А. Иофис. Москва : Советская энциклопедия, 1981. С. 418, 419.

Oleg N. Raev

TO THE QUESTION OF THE NECESSARY SHOOTING FREQUENCY

Oleg N. Raev, PhD (Engineering), assistant professor

E-mail: ncenter@list.ru

Russian Federation State Institute of Cinematography

named after S. A. Gerasimov,

Leonov Moscow Region University of Technology

In professional filmmaking, the standard frame rate was adopted almost 90 years ago at 24 fps. This was optimal for photographic sound recording, for film consumption and was convenient for editing. However, at this frequency there are distortions in the film image when recording objects moving relative to the light-sensitive layer of the film or matrix. An analysis of the optimal filming frequency for modern digital cinematographs is made.

Key words: cinematography, camera, shooting frequency, moving image blur, flickering of images, image transformation, first kind distortions.

REFERENCES

1. Goldovskii E. M. *Osnovy kinotekhniki*. Moscow : Iskusstvo, 1965. 636 p.
2. Grebennikov O. F. *Osnovy zapisi i vosproizvedeniya izobrazhenii (v kinematografe) : uchebnoe posobie dlya vuzov kinematografii*. Moscow : Iskusstvo, 1982. 239 p.
3. Grebennikov O. F., Tikhomirova G. V. *Osnovy zapisi i vosproizvedeniya informatsii (v audiovizual'noi tekhnike) : uchebnoe posobie*. St. Petersburg : SPbGUKiT, 2002. 712 p.
4. Kotel'nikov V. A. *O propusknoi sposobnosti "efira" i provoloki v elektrosvyazi / Vsesoyuznyi energeticheskii komitet. Materialy k I Vsesoyuznomu s'ezdu po voprosam tekhnicheskoi rekonstruktsii dela svyazi i razvitiya slabotochnoi promyshlennosti. Po radioseksii*. Moscow : Upravlenie svyazi RKKa, 1933. P. 1–19.
5. Raev O. N. *Formirovanie i preobrazovanie izobrazhenii pri kinos'emke*. Cheboksary : IPK "Chuvashiya", 2020. 263 p.
6. *Chastota sliyaniya mel'kaniy // Fotokinotekhnika / gl. red. E. A. Iofis*. Moscow : Sovetskaya entsiklopediya, 1981. P. 419.
7. Shamshinova A. M., Volkov V. V. *Funktsional'nye metody issledovaniya v oftal'mologii*. Moscow : Meditsina, 2004. 432 p.
8. *Shchepanskii G. V. Chastota kinoproektsii // Fotokinotekhnika / gl. red. E. A. Iofis*. Moscow : Sovetskaya entsiklopediya, 1981. P. 418, 419.