

СОВЕЩАНИЕ ПО ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ФОТОГРАФИИ И КИНЕМАТОГРАФИИ

10-е Всесоюзное совещание по научной фотографии, состоявшееся 12—15 ноября 1957 г. в Ленинграде, было посвящено одной из наиболее быстро развивающихся и актуальных проблем фотокинотехники — высокоскоростной фотографии и кинематографии. Совещание было организовано Комиссией по научной фотографии и кинематографии Академии наук СССР совместно с Государственным оптическим институтом им. С. И. Вавилова.

Высокоскоростная фотография и кинематография служит неоценимым средством пространственно-временного анализа самых разнообразных, быстро протекающих явлений. Сюда относятся явления атомной физики, аэродинамические и гидродинамические процессы, явления взрыва и процессы разрушения материалов при ударных нагрузках, электрические разряды в газах и т. д. С другой стороны, методом скоростного фотографирования можно проводить изучение таких важных для практики вопросов, как кинематика быстро движущихся механизмов, обработка металлов резанием, протекание различных химических технологических процессов, процессы, связанные с применением атомной энергии, движение летательных аппаратов с дозвуковыми и сверхзвуковыми скоростями, задачи медицинской диагностики и многое другое.

В такой же мере, в какой в свое время применение оптического микроскопа ввело ученого в дотоле неизвестный микромир, раздвинув границы пространственного разрешения человеческого глаза, высокоскоростная фотография и кинематография вводят нас в столь же неизвестную до недавнего времени сферу быстро протекающих явлений, лежащих за границами непосредственного человеческого восприятия.

Нижним пределом высокоскоростной фотографии и кинематографии можно считать выдержки 10^{-4} сек и частоты порядка 10^{-4} сек⁻¹. Верхним же достигнутым в настоящее время пределом являются выдержки порядка 10^{-9} сек, временное разрешение при развертке около 10^{-12} сек и частоты киносъемки оптико-механическими средствами около 10^7 сек⁻¹.

Совещание по высокоскоростной фотографии и кинематографии привлекло к себе исключительно большое внимание. Это проявилось, в частности, в его многолюдности и разнообразии организаций, на нем представленных. Это и естественно, поскольку методы скоростной фотографии и кинематографии находят применение в самых разнообразных отраслях науки и техники.

Совещание было организовано следующим образом. Некоторые доклады, общим числом 10, были прочитаны на пленарных заседаниях, проходивших в большом конференц-зале АН СССР. Остальные 40 докладов были прослушаны на заседаниях трех секций: по источникам света (12 докладов), по приборостроению (8 докладов) и по применениям высокоскоростной съемки (20 докладов), — проходивших в помещении Дома кино. Параллельно работе секций была открыта выставка приборов и аппаратуры высокоскоростной фотографии.

Совещание открылось вступительным словом акад. А. А. Лебедева, осветившего возможности, заложенные в методе высокоскоростной фотографии, и задачи данного совещания. Далее на том же пленарном заседании было прочитано 5 докладов.

Первым был доклад М. М. Бутлова «Электронно-оптические преобразователи для изучения сверхбыстрых процессов», в котором были рассмотрены возможности осуществления быстродействующих затворов и высокоскоростной развертки с помощью электронно-оптических преобразователей, в которых отклонение изображения производится с помощью электрических полей.

Разработанные докладчиком преобразователи типа ПИМ-3 и ПИМ-4 позволяют производить многокадровую съемку процессов, протекающих за время порядка 10^{-7} — 10^{-8} сек. Преимущество такого метода высокоскоростного фотографирования заключается, в частности, в том, что в преобразователе происходит усиление яркости изображения. Разрешающая способность импульсных преобразователей, отнесенная к центру фотокатода, составляет 60—70 мм⁻¹. Преобразователь типа ПИМ-3 дает на экране изображение размером 25×25 мм.

Для исследования предельно коротких световых явлений разработан специальный многокадровый электронно-оптический преобразователь с каскадным усилением яркости изображения. Такой преобразователь обеспечивает уверенную фотографическую регистрацию единичного электрона, вылетающего со входного фотокатода преобразователя.

Выдающийся по интересу доклад М. М. Бутлова, чл.-корр. АН СССР Е. К. Завойского, А. Г. Плахова, Г. Е. Смолкина и С. Д. Фанченко, прочитанный последним, под названием «Электронно-оптический метод фотографирования сверхбыстрых процессов», был посвящен детальному рассмотрению вопроса о предельном временном разрешении, которого можно достигнуть с помощью электронно-оптической развертки изображения. Теоретические исследования показали, что предельное разрешение должно достигать 10^{-14} сек. Практически уже удалось достигнуть разрешения порядка 10^{-12} сек. Авторами была разработана установка для регистрации ультракоротких световых вспышек, с помощью которой зарегистрирована временная развертка вспышек длительностью 10^{-10} сек, возникающих при искровом разряде конденсаторов малой емкости, заряженных до высокого напряжения.

П. В. Кевлишвили в докладе «Применение элементов электроники в аппаратуре для высокоскоростной фотографии» рассмотрел ряд схем электронных устройств: для синхронизации исследуемых явлений с работой съемочной камеры, для управления быстродействующими затворами (ячейки Керра и Фарадея), для измерения средней и мгновенной скоростей регистрации процесса, для включения съемочных камер с электронно-оптическими преобразователями.

Г. Л. Шнирман в содержательном докладе подробно осветил некоторые вопросы развития луп времени и фотохронографов с зеркальной разверткой. Были рассмотрены различные схемы зеркальных коммутаторов, съемочных камер с коммутирующим зеркалом и фотохронографов и проанализированы заложенные в них возможности. Наконец, были рассмотрены вопросы оптической компенсации сдвига изображения применительно к случаю луп времени.

Наконец, Л. А. Самуров в докладе «Оптическая редукция и новая схема сверхскоростной кинокамеры ФП-38» рассказал о разработанной им весьма интересной схеме оптического редуктора, в которой высокая скорость вращения пучка осуществляется за счет многократного отражения света от вращающихся плоских зеркал. Такой редуктор позволяет получать угловую скорость вращения луча, намного превосходящую соответствующую скорость вращения механических деталей, и может быть использован для расчленения изображения на элементы при скоростной киносъемке. Макет камеры позволил производить съемку с частотами от 10^6 до 10^7 сек⁻¹

на 8-миллиметровой киноплёнке с форматом кадра $3,6 \times 4,8$ мм при линейном раз-
решении на плёнке 40 мм⁻¹.

Рассмотрим теперь доклады, прочитанные на секции источников света. Широкое применение импульсных ламп при высокоскоростном фотографировании вызывает настоятельную необходимость изучения физического механизма импульсного электрического разряда в газах.

В докладе И. С. Маршак были рассмотрены основные закономерности, связывающие электрические характеристики разряда трубчатых импульсных ламп с параметрами лампы и питающего контура, зависимости напряжения зажигания импульсных ламп от загрязнения наполняющего лампы инертного газа и ряда параметров плазмы разряда, а также связь между допустимой нагрузкой импульсных ламп и их конструктивными параметрами. Докладчик сообщил также результаты экспериментальной проверки выведенных им теоретических закономерностей.

Вопросу о максимальных яркостях, которые можно получить с помощью импульсных ламп высокого давления, были посвящены доклады К. С. Вульфсона и Ф. А. Чарной, а также М. П. Ванюкова и А. А. Мака. В работе К. С. Вульфсона и Ф. А. Чарной было показано, что для разряда в атмосфере аргона, криптона, ксенона и кислорода существует предельное значение максимальной мгновенной яркости. В азоте насыщение яркости наблюдалось только в длинноволновой области спектра, а в гелиевых импульсных лампах это явление не наблюдалось вовсе. В азоте зарегистрирована максимальная яркость в 30 миллионов *стильбов*. Наличие предельной яркости в аргоне и ксеноне было подтверждено исследованиями, о которых сообщили М. П. Ванюков и А. А. Мак. В этом же сообщении были приведены данные о яркости капиллярного разряда в атмосфере воздуха и ксенона. В этом типе разряда наблюдалось увеличение яркости при повышении энергии разряда, а явление насыщения яркости не было зарегистрировано. С помощью капиллярного разряда в воздухе при атмосферном давлении получена яркость до 50 миллионов *стильбов* и температура в канале около 94 000° К.

Б. М. Водоватов и И. М. Эпштейн сообщили о результатах измерения спектрального распределения энергии излучения наиболее характерных типов трубчатых импульсных ламп в диапазоне длин волн от 2300 Å до 12 000 Å.

В докладе М. П. Ванюкова, А. Ф. Добрецова, В. И. Исаенко и А. А. Мака сообщалось о разработанной авторами разборной импульсной лампе и схеме для ее питания. Лампа наполняется техническим аргонном до давления 10 атм и позволяет получать световые вспышки длительностью до 1 мксек с частотами в несколько тысяч герц при средней мощности до 4 кат, рассеиваемой в лампе в течение длительного промежутка времени.

Для освещения объектов, снимаемых с частотами в несколько миллионов кадров в секунду, необходим источник света с яркостью 10^6 — 10^7 *стильбов*, сохраняющей постоянной в течение примерно 10^{-4} сек. Такой источник осуществили Н. Н. Огурцов и И. В. Подмошеник с помощью разряда искусственной линии через отверстие в текстолитовой пластине. При диаметре отверстия 2 мм, толщине пластины 6—10 мм и применении искусственной линии, составленной из трех ячеек ($C=100$ мкф, $L=3$ мкген, $U=3$ ке), были получены световые вспышки с яркостью 10^7 *стильбов*, сохраняющей постоянной с точностью до $\pm 3\%$ в течение 10^{-4} сек. Имеется возможность дальнейшего повышения яркости такого источника света за счет повышения напряжения, до которого заряжается линия.

В докладе В. П. Иванова, А. Л. Вассермана, В. П. Жильцова и А. А. Букаревой было приведено описание нескольких вариантов схем включения импульсных ламп с частотами в несколько килогерц, в которых коммутация напряжения осуществляется с помощью триодов, включаемых как в цепь заряда рабочих конденсаторов, так и параллельно этим конденсаторам.

В докладе М. Г. Файгенбаума была рассмотрена возможность использования авиационных свинцовых аккумуляторов типа 12-A-30 и 12-A0-50 для питания импульсных ламп.

Л. М. Медведев рассказал об основных типах керамических высоковольтных конденсаторов, пригодных для работы с импульсными лампами.

И. М. Гуревич сделал доклад о разработанном им импульсном фотометре УИФ-1 с электронной модуляцией приемника излучения, позволяющем измерять энергию световых вспышек длительностью от $1 \cdot 10^{-6}$ до $4 \cdot 10^{-3}$ сек в световых или энергетических единицах.

Был заслушан также доклад Д. А. Гоухберга о спектральных, световых и электрических характеристиках ксеноновых дуговых ламп. Излучение этих ламп, имеющих цветовую температуру порядка 5600° К, приближается к естественному дневному свету, яркость же их достигает 10^5 *стильбов*, и поэтому такие лампы представляют особый интерес для кинопроекции, киносъемки цветных фильмов, цветной микрофотографии и т. д.

В сделанном сверх программы докладе Ю. М. Кутева было сообщено об интегральном свечемере для измерения интегральной силы света импульсных ламп.

Перейдем к обзору докладов на секции приборостроения.

В докладе А. С. Дубовика была рассмотрена теория зеркальной развертки, применяемой в фоторегистраторах и лупах времени. Разбирается также вопрос о применении многократного отражения луча от двух синхронно вращающихся зеркал для осуществления кино съемок с частотами в десятки миллионов сек^{-1} . Докладчик сообщил также о разрабатываемой в настоящее время кинокамере, максимальная частота съемки которой будет достигать $32 \cdot 10^6 \text{ сек}^{-1}$.

В. Б. Ликоренко рассказал об устройстве и основных параметрах сверхскоростной фоторегистрирующей установки СФР. Эта установка может быть использована как для получения пространственно-временной развертки с разрешением во времени до 10^{-8} сек , так и в качестве лупы времени для съемки с частотами до $2,5 \cdot 10^6 \text{ сек}^{-1}$. Установка снабжена устройством для синхронизации исследуемого явления с положением зеркала, обеспечивающим регистрацию изучаемой стадии процесса.

При осуществлении высокоскоростных камер необходимо получать предельно высокие скорости вращения зеркал. В докладе С. Н. Сидорова сообщалось о характеристиках малогабаритной газовой турбины, позволяющей получать условную скорость вращения зеркала размером $15 \times 29 \times 6 \text{ мм}$ до 360 000 об/мин.

О кино съемочной камере СКС-1, позволяющей производить съемку с частотами от 1000 до 200 000 сек^{-1} с общим временем кино съемки от 0,02 до 0,45 сек , рассказал И. И. Крыжановский. Съемка в этой камере производится на аэрофото пленку шириной 190 мм, причем кадры располагаются на пленке в виде строк текста книги. Для получения кинофильма кадры перепечатываются на 35-миллиметровую позитивную пленку.

О. Ф. Гребенников рассказал о растровом методе съемки быстро протекающих явлений и о результатах исследования растровых систем на действующем макете растровой камеры. Показано, что имеется возможность создания растровой аппаратуры с применением линзовых точечных растров, которая позволит при размере растра $13 \times 18 \text{ см}$ получить несколько сот растровых кадров при качестве изображения, не уступающем качеству 16-миллиметрового кинокадра. При этом имеется возможность производить съемку с частотой до 10^7 — 10^8 сек^{-1} .

Л. В. Акимкина посвятила свой доклад технологии изготовления оптических растровых решеток, разработанной во Всесоюзном кинофотоинституте. По этой технологии были изготовлены растры с размерами элементов от 0,3 мм до 0,7 мм.

Доклад А. И. Салищева был посвящен описанию искровых установок для высокочастотного фотографирования на неподвижную фото пленку. В этих установках применены оптические схемы, которые, в отличие от описанной в литературе схемы Кранца и Шардина, обеспечивают безопасность основных элементов аппаратуры при фотографировании, например, различных ударных явлений и явлений взрыва. Установки позволяют получать 12—13 силуэтных снимков с частотами $1,5$ — $4 \cdot 10^6 \text{ сек}^{-1}$ при диаметре фотографируемого поля 110—140 мм и масштабе увеличения 0,24 или 0,10.

В. А. Симонов и Г. П. Кутуков сообщили о разработанной ими электрической схеме, позволяющей генерировать импульсы сложной формы, необходимые для проведения покадровой съемки импульсных разрядов с помощью электронно-оптического преобразователя с разверткой изображения и электронно-оптическим затвором. В этой схеме формирование импульсов развертки и затвора осуществляется с помощью линий задержки, при отражении сигналов от их концов. Схема позволяет получать снимки с 6—10 кадрами при выдержках $5 \cdot 10^{-8}$ — $5 \cdot 10^{-7} \text{ сек}$.

Обратимся теперь к секции применений высокоскоростной съемки.

Большинство докладов этой секции сопровождалось демонстрацией технических фильмов, иллюстрирующих проведенные авторами исследования.

Интересный доклад Н. И. Рынденова был посвящен изучению процессов обработки точных деталей приборов (в частности, часовых механизмов). В результате исследования удалось установить условия резания, при которых форма деталей не искажается, и предложить способы устранения заусениц.

В докладе С. П. Тамбовцева исследовался процесс резания металлов. Было установлено, в какой мере при резании происходит пластическая деформация и как она сказывается на структуре поверхностного слоя изделия. Были выявлены различные дефекты процесса резания, в частности связанные с неправильной наладкой станков, недостаточно точной и жесткой посадкой детали и инструмента и т. д. Обнаружено любопытное явление образования над резом своеобразного давящего «кома» из групп разрушенных кристаллов, который подменяет собой острие резца и искажает форму изделия и качество его поверхности.

В докладе В. К. Переврзева и С. Р. Жуковского были описаны результаты исследования процесса образования металлизационного покрытия, полученного путем распыления металла.

А. Н. Ханукаев в докладе «Результаты исследования механизма разрушения стержней с помощью камеры ФП-22» осветил вопрос об исследовании на модели из органического стекла процесса разрушения стержней под влиянием ударной волны при взрыве. Исследование было направлено на изучение условий управления энергией взрыва при взрывных работах, проводимых в горной промышленности.

Л. П. Северин представил интересный материал о процессе разрушения горной породы под действием узкой мощной струи воды (гидромониторные струи).

Б. Н. Золотых и А. И. Круглов доложили о скоростной съемке импульсного разряда в жидкой диэлектрической среде с помощью камеры СФР (см. выше) и в рентгеновских лучах. Исследование проводилось с целью выяснения динамики электроэрозионного разрушения металлов при электроискровой их обработке.

Е. Г. Шаер доложил о методах медийной и антропологической фотографии с применением импульсных ламп, сопроводив доклад прекрасными цветными фотографиями.

В высшей степени интересная группа докладов была посвящена вопросам аэродинамики. К. Е. Монохов доложил о двух видах съемочной аппаратуры: для изучения течения газа в аэродинамических трубах и для исследования работающих машин стробоскопическим методом. А. И. Хохлов продемонстрировал результаты съемок пропеллерных лопастей, покрытых шелковинками, что позволяет охарактеризовать условия прохождения воздушных потоков около вращающейся лопасти, переход ламинарного течения в турбулентное и т. д. Наконец, Н. М. Гришин осветил результаты исследования прочности авиационных конструкций и некоторые вопросы аэро- и гидродинамики. В частности, изучались колебания крыльев самолетов, называемые флаттером, колебания колес самолета вокруг стойки (явление «шимми») и т. д., а также деформация упругих лопастей вертолета.

А. А. Кукибный доложил результаты исследования свободного полета зерен злаковых растений при фракционировании и очистке зернового материала. Было обнаружено, что разные фракции зерен имеют разную поступательную скорость в момент выброса и разный угол выброса, причем большинство зерен при этом вращается с угловыми скоростями до 7000 об/мин.

Второй доклад на сельскохозяйственную тему был сделан В. Маркаровым, изучавшим процесс механизации сбора чайного листа.

А. М. Рушаило от имени группы студентов Московского государственного университета сообщил о результатах проведенного ими исследования процесса входа тела (шары и цилиндры) в воду; это позволило изучить форму наветры и условия ее замыкания, а также характер возникающего всплеска.

Л. О. Макаров в докладе «Применение скоростной киносъемки для исследования процессов, происходящих в акустическом поле жидкости» осветил проблему ультразвуковой очистки загрязненных поверхностей.

С. В. Бухман рассказал об изучении температуры движущихся раскаленных угольных пылинок путем определения красно-синего отношения методом фотографической фотометрии в фотографических изображениях указанных пылинок.

Весьма интересным был доклад Г. Г. Трещева под названием «Исследование поверхностного кипения с помощью высокоскоростной киносъемки». Был установлен ряд особенностей поверхностного кипения, при котором могут быть достигнуты тепловые напряжения в несколько миллионов $\text{ккал} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$. Такие условия имеют место, в частности, в атомных реакторах.

Доклад С. В. Рыло, относящийся более к секции приборостроения, был посвящен расширению эксплуатационных возможностей киносъемочной камеры СКС-1.

Сверх программы доклады о разных применениях высокоскоростной съемки были сделаны Б. В. Кубеевым (применение скоростной съемки в учебной и научно-исследовательской работе высших учебных заведений), Н. С. Варламовым (исследование кулачковых механизмов кузнечных прессов и автоматов методами скоростной съемки) и Ф. Т. Шибеевым (исследование клапанных пружин посредством скоростной съемки).

На заключительном пленарном заседании были сделаны следующие 5 докладов.

Обзору основных свойств импульсных ламп, разработанных за последнее время отечественной промышленностью, был посвящен доклад И. С. Маршак, В. И. Васильева, А. И. Митроновой, В. П. Иванова и Р. Г. Вдовина «Новые импульсные лампы». Как известно, импульсные источники света, обладающие мгновенной мощностью до 10^5 — 10^6 вт и световым потоком до 10^6 — 10^8 лм, являются наиболее совершенным средством освещения при высокочастотном фотографировании. В настоящее время серийно выпускаются 12 типов импульсных ламп с энергиями вспышек от 0,01 до 15 000 джоулей и с длительностью свечения от 7 микросекунд до 12 миллисекунд.

Доклад В. Г. Пелля представлял собой прекрасно сделанный обзор источников непрерывного излучения, применяемых при высокоскоростной киносъемке. В частности, докладчик осветил вопрос о возможностях и границах форсирования

режима питания ламп накаливания, ксеноновых ламп, ртутных ламп и других источников света.

В докладе Ю. Н. Гороховского были освещены вопросы о требованиях к фотографическим материалам для высокоскоростной фотографии и кинематографии с точки зрения явления неважизаместимости, результаты исследования этого явления в случае цветных многослойных пленок и проблема контроля свойств фотографических материалов при коротких выдержках (10^{-4} — 10^{-7} сек).

А. А. Сахаров поделился своими соображениями о термивологии высокоскоростной фотографии, а И. А. Черный сделал краткое сообщение о работах 3-го Международного конгресса по высокоскоростной фотографии (Лондон, сентябрь 1956 г.).

На выставке аппаратуры для высокоскоростной съемки демонстрировалось 20 стендов с приборами и аппаратурой. Отечественные оптико-механические съемочные камеры были представлены аппаратами СКС-1, ФП-22, СКС-1 и макетом камеры ФП-38. Посетители могли также ознакомиться с действующим макетом растровой камеры, стробоскопической осветительной установкой ИМ-3, импульсными многокадровыми электронно-оптическими преобразователями ПИМ-3 и ПИМ-4, импульсными лампами промышленного производства, импульсным фотометром УИФ-1 и другими приборами. Отличные цветные фотографии различных деталей глаза, снятые частично во время операций при импульсном освещении, демонстрировал Украинский Институт глазных болезней им. В. П. Филатова. Были также выставлены два киносъемочных аппарата фирмы Цейс-Икон (ГДР): узкоплечная лупа времени и скоростная съемочная камера ZL-1.

В заключение совещания было принято развернутое решение. В этом решении было признано необходимым создать в системе Академии наук СССР специальную организацию для постоянного наблюдения и общего научного руководства научно-исследовательской деятельностью в области высокоскоростной фотографии и кинематографии. Предполагается, что этой организацией явится специальная секция Комиссии по научной фотографии и кинематографии АН СССР.

Далее, было признано желательным вступление Советского Союза в Международный комитет по высокоскоростной фотографии и участие советских ученых в соответствующих международных конгрессах. Ближайший конгресс такого рода будет происходить в сентябре 1958 г. в Кёльне (ФРГ).

Совещание признало необходимым организовать в ближайшее время подготовку высококвалифицированных специалистов по высокоскоростной фотографии. В качестве базы такой подготовки предлагается Ленинградский институт киноинженеров.

Совещание признало необходимым обратиться в Государственный научно-технический комитет при Совете Министров СССР с просьбой обязать промышленность провести следующие мероприятия: а) модернизировать существующую и разработать новую съемочную аппаратуру разнообразных типов и вспомогательное оборудование для наблюдения и обработки результатов высокоскоростных фото- и киносъемок; б) резко усилить работу по созданию новых типов импульсных источников света, а также приборов для их включения; в) наладить выпуск черно-белых и цветных фотокинопленок специально для высокоскоростных съемок.

Наконец, совещание признало желательным провести второе совещание по скоростной фотографии в конце 1959—начале 1960 года.

Совещание прошло в обстановке высокой активности, выразившейся в особенности в оживленных научных дискуссиях как в залах заседаний, так и в кулуарах. Предполагается, что труды совещания будут изданы отдельным томом «Успехов научной фотографии» в течение этого года.

М. П. Ванюков, Ю. Н. Гороховский