

ЛАБОРАТОРНАЯ
ТЕХНИКА

УДК 531.552

РЕГИСТРАЦИЯ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ СКОРОСТНОЙ
КАМЕРОЙ НАНОГЕЙТ-22/16

© 2022 г. С. И. Герасимов^{a,b,d,*}, М. И. Крутик^c, В. С. Роженцов^a,
А. Г. Сироткина^b, К. В. Тотышев^a

^a РФЯЦ-ВНИИ экспериментальной физики

Россия, 607190, Саров Нижегородской обл., просп. Мира, 37

^b Саровский физико-технический институт – филиал НИЯУ «МИФИ»

Россия, 607186, Саров Нижегородской обл., ул. Духова, 6

^c Научно-производственное предприятие «НАНОСКАН»

Россия, 107076, Москва, ул. Стромынка, 18

^d Институт проблем машиностроения РАН — филиал Института прикладной физики РАН
Россия, 603024, Нижний Новгород, ул. Белинского, 85

*e-mail: s.i.gerasimov@mail.ru

Поступила в редакцию 11.11.2021 г.

После доработки 30.11.2021 г.

Принята к публикации 02.12.2021 г.

Представлен способ регистрации быстропротекающих процессов на основе разработанной в России скоростной восьмиканальной шестнадцатикадровой электронно-оптической камеры НАНОГЕЙТ-22/16, предназначенной для регистрации серии из 8-ми или 16-ти кадров изображения быстропротекающих процессов в видимой области спектра. Приведены описание, принцип работы и методика использования камеры.

DOI: 10.31857/S0032816222030028

При регистрации быстропротекающих процессов, как правило, приходится сталкиваться с процессами, характеризующимися различными уровнями освещенности. Работа взрывных или ствольных разгонных устройств сопровождается излучением ударно сжатого газа при разлете продуктов детонации или горения в воздух; соударение ударника с преградой может сопровождаться образованием излучающей отраженной ударной волны или горением мелкодисперсных металлических частиц и т.д. При этом стандартные высокоскоростные камеры, работающие, как правило, с частотой, определяемой максимальным значением, при котором реализуется предельно возможное разрешение, не позволяют варьировать эту частоту с целью выделения разных фаз процесса, например, характеризующихся разным уровнем освещенности. Для того чтобы устранить этот недостаток, была разработана отечественная скоростная восьмиканальная шестнадцатикадровая электронно-оптическая камера (э.о.к.) НАНОГЕЙТ-22/16, предназначенная для регистрации серии из 8-ми или 16-ти кадров изображения быстропротекающих процессов в видимой области спектра (рис. 1).

Пылевлагозащищенный корпус э.о.к. обеспечивает возможность ее применения в условиях полигона.

Электронно-оптическая камера представляет собой 8-канальную систему, состоящую из одного входного объектива, зеркально-линзового блока разделения изображения на восемь каналов (дополнительный объектив, зеркальная восьмигранная призма, восемь зеркал) и самих электронно-оптических каналов (K_1-K_8). Данные, полученные в результате регистрации изображения быстропротекающего процесса, через восемь волоконно-оптических линий связи OP_i передаются на трансивер, преобразующий сигналы на восьми оптических входах в сигнал на единственном выходе USB-3, который соединен с соответствующим входом компьютера. На мониторе персонального компьютера визуализируются все 16 зарегистрированных изображений.

Технические характеристики камеры

Камера имеет следующие характеристики:

— количество независимых электронно-оптических каналов — 8; в состав одного канала входит



Рис. 1. Электронно-оптическая камера НАНОГЕЙТ-22/16.

электронно-оптический преобразователь (э.о.п.) с модулями управления его работой, проекционный объектив с апертурой 0.32 и переменным масштабом переноса с экрана э.о.п. на цифровую систему считывания импульсного оптического изображения;

– число кадров, регистрируемых камерой при поступлении запускающего сигнала на вход “Пуск”, – 16;

– минимальный временной интервал между первыми восемью кадрами – 5 нс;

– число кадров, регистрируемых с каждого канала, – 2;

– временной интервал между двумя кадрами в каждом канале – 2.7–1000 мкс;

– спектральный диапазон чувствительности фотокатода э.о.п. – 380–800 нм;

– рабочий диаметр фотокатода – 18 мм;

– длительность стробирующего (затворного) импульса от 5 нс до 20 мкс;

– пространственное разрешение при всех значениях длительности строб-импульсов ≥ 36 пар линий/мм;

– временная задержка срабатывания затвора э.о.к. – от 100 нс до 4 мс;

– временная нестабильность (джиттер) запуска каждого канала э.о.к. ≤ 10 нс;

– режим многократной экспозиции (для восьмикадрового варианта) 1–4;

– напряжение на микроканальной пластине э.о.п. (определяет конкретное значение коэффициента преобразования э.о.п. и устанавливается с шагом 1 В) – 400–910 В;

– максимальная частота запуска камеры – 1 Гц;

– разрядность аналого-цифрового преобразователя 12 бит;

– размер фоточувствительной поверхности камеры на основе прибора с зарядовой связью (п.з.с.) 15.4×15.4 мм;

– тип развертки – прогрессивная;

– число пикселей $\geq 2048 \times 2048$;

– формат сохраняемого файла изображения – tiff;

– количество волоконно-оптических выходов для связи с компьютером – 8.

Параметры запускающих сигналов и импульса Синхр

Электронно-оптическая камера запускается внешним импульсом, поступающим на вход “Пуск”, со следующими параметрами:

– полярность – положительная;

– амплитуда 5–15 В;

– регулируемый уровень запуска 5–12 В;

– длительность фронта импульса ≤ 5 нс;

– длительность импульса 60–1000 нс;

– входное сопротивление 50 Ом;

– импульс синхронизации на выходе “Синхр” – положительный, уровня TTL, фронт которого опережает фронт затворного импульса э.о.п. на 15–20 нс ($R_{\text{нагр}} = 50$ Ом).

Функциональные возможности

– Независимая установка значений длительности затворных импульсов, задержки открытия затворов и коэффициентов усиления для каждого канала.

– Раздельная и одновременная визуализация всех зарегистрированных изображений на компьютере в среде Windows 7 (Windows 10).

– Габаритные размеры (без объектива) $580 \times 300 \times 330$ мм.

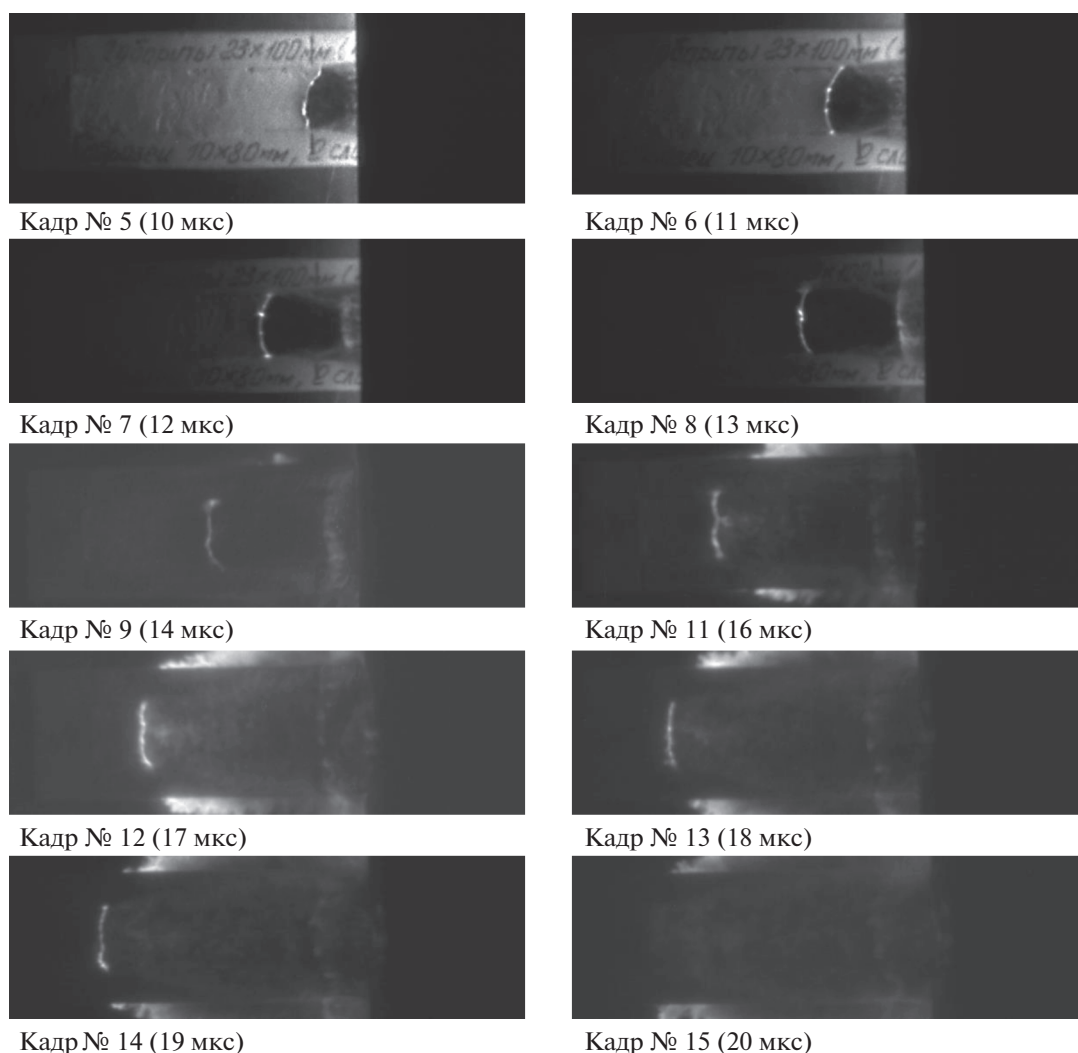


Рис. 3. Кадры регистрации детонации пленки состава ВС-2.

налов с интервалом 340 нс повторное срабатывание первого канала произойдет через 2.7 мкс.

Каждый канал может работать в режиме с многократной экспозицией. Затвор э.о.п. может открываться установленное количество раз при поступлении единственного импульса на разъем “Пуск”. Длительность всех затворных импульсов одинакова и равна установленному значению в окошке “Длительность”. Число затворных импульсов может устанавливаться от 1 до 4. Интервалы между повторяющимися импульсами задаются одинаковыми в диапазоне от 50 нс до 100 мкс.

Рабочая программа НАНОГЕЙТ обеспечивает возможность независимой установки параметров съемки индивидуально для каждого канала. После прихода импульса одновременно на все входы “Пуск” каждый э.о.п. срабатывает в соответствии с установленными параметрами (задержкой, дли-

тельностью экспозиции и напряжением на микроканальной пластине, определяющими коэффициент усиления), и все шестнадцать зарегистрированных изображений визуализируются на мониторе компьютера, отображая шестнадцать фаз быстропротекающего процесса.

Примеры использования камеры в условиях взрывного эксперимента и выстрела из легкогазовой установки приведены на рис. 3, 4.

В опытах со светочувствительными энергонасыщенными материалами было зарегистрировано распространение детонационной волны в пленках состава ВС-2 [1]. Согласно рис. 3, фронт детонационной волны имеет форму ломаной кривой, изменяющейся со временем. Указанное время на кадрах отсчитывается от момента появления инициирующего светового импульса газоразрядного протяженного излучателя [2].

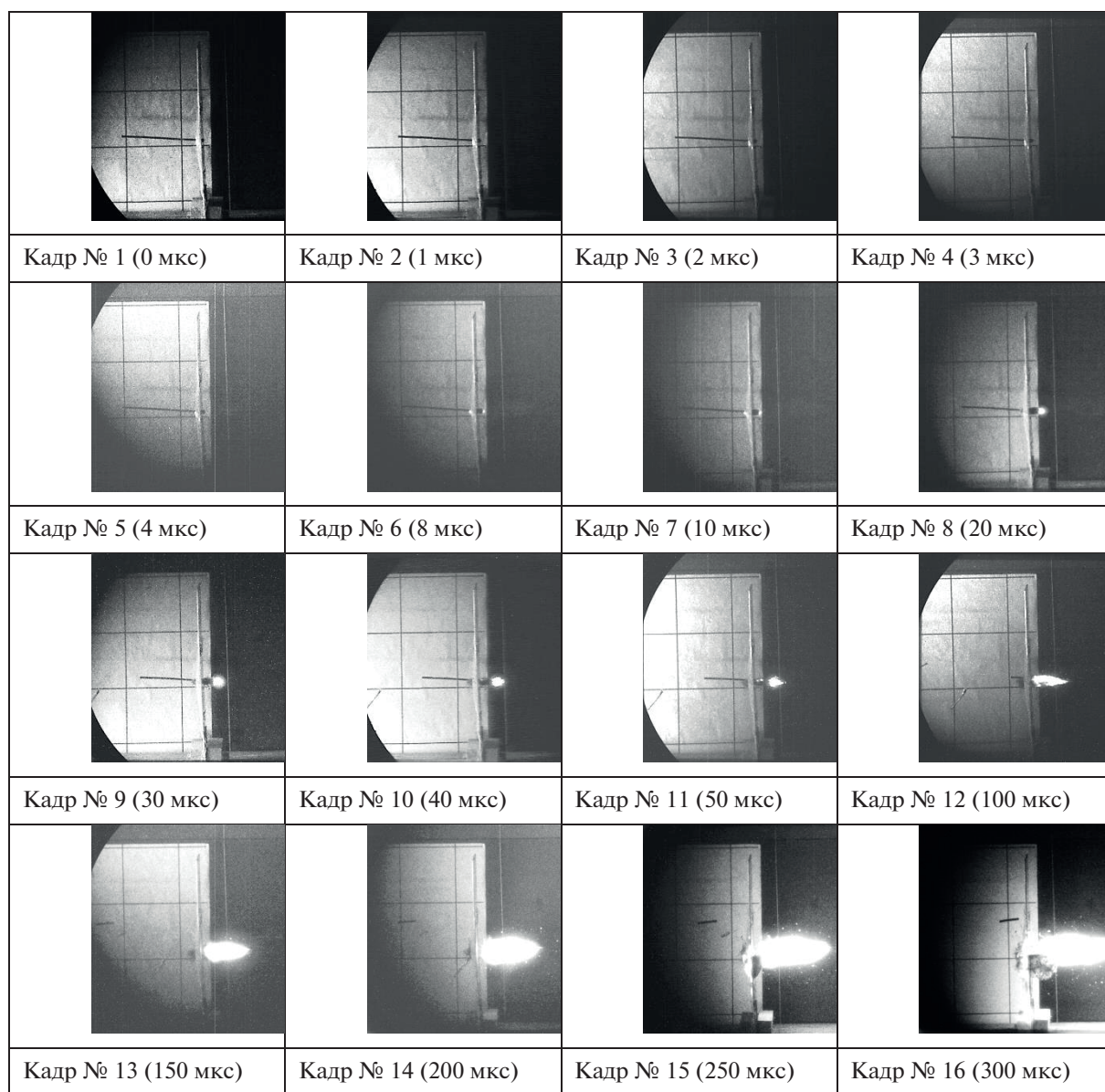


Рис. 4. Кадры регистрации высокоскоростного пробивания преграды стержнем. Указано время от срабатывания контактного датчика.

Кадры на рис. 4 получены при регистрации соударения стального стержня длиной 300 мм на скорости 2.2 км/с с алюминиевой преградой толщиной 5 мм. В экспериментах для фоторегистрации применялся объектив с фокусным расстоянием 300 мм и диафрагмой 5.0. Настройки параметров э.о.к.: время экспозиции 240 нс, напряжение на э.о.п. 800 В. В эксперименте регистрация проводилась без использования внешней подсветки. Время на кадрах отсчитывалось от срабатывания контактного датчика, расположенного на преграде. Поскольку камера позволяет варьировать время между кадрами, в данном случае решались две

задачи: определение появления светового импульса в начальной стадии соударения с визуализацией процесса пенетрации, а также регистрация светящейся зоны после прохождения преграды и деформации стержня. Для этого половина кадра перед преградой имеет светлый размеченный фон, а зона за преградой затемнена авиационным брезентом (авизентом).

Первые кадры получены с частотой 10^6 кадров/с, а заключительные — $2 \cdot 10^4$ кадров/с. Свечение в данном случае определяется зажиганием алюминиевых частиц, собираемых у торца стерж-

ня через 7–8 мкс после соударения. Область горения алюминиевых частиц сопровождается прохождением стержнем преграды, отставая от стержня к моменту времени 250 мкс, размеры области горения соизмеримы с линейным размером стержня.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 20-19-00613).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов С.И., Илюшин М.А., Кузнецов П.Г., Путьис С.М., Душенок С.А., Рожнецов В.С. // Письма в ЖТФ. 2021. Т. 47. Вып. 3. С. 11.
<https://doi.org/10.21883/PJTF.2021.03.50567.18490>
2. Герасимов С.И., Ерофеев В.И., Кикеев В.А., Кузьмин В.А., Тотышев К.В., Косяк Е.Г., Кузнецова П.Г., Герасимова Р.В. // ПТЭ. 2020. № 5. С. 92.
<https://doi.org/10.31857/S0032816220040254>