

# **АКТУАЛЬНЫЕ РАЗРАБОТКИ НПК ВИДЕОСКАН В ОБЛАСТИ РЕГИСТРАТОРОВ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ 2009 г.**

МАЙОРОВ В.П., СЕМИН М.С. [mail@videoscan.ru](mailto:mail@videoscan.ru)

ЗАО «НПК ВИДЕОСКАН», Москва 111250, ул. Красноказарменная д. 14, [www.videoscan.ru](http://www.videoscan.ru)

Практически за один последний год в ЗАО «НПК ВИДЕОСКАН» на базе твердотельных приборов были разработаны и прошли испытания несколько устройств теневого и щелевого метода регистрации изображений быстропротекающих процессов.

Параллельно с разработкой устройств регистрации изображений были решены вопросы синхронизации и подсветки объектов съемки, разрабатывались методики парирования пересветки при регистрации комбинированных процессов, содержащих интенсивно светящиеся и не светящиеся объекты.

Принципиальной особенностью всех разработанных устройств является их функциональная законченность, позволяющая решать все основные задачи постановки эксперимента, начиная от самой задачи регистрации изображения до задач синхронизации момента съемки, подсветки объекта и привязки получаемых изображений от нескольких устройств к единому времени эксперимента.

Конечно, видеорегистраторы, позволявшие получать подобные изображения существовали раньше и применяются теперь, но это, в основном, фото и кино регистраторы на фотопленках, использующие механическую развертку или электронно-оптические приборы. И, хотя в настоящее время нет смысла говорить об альтернативности предложенных решений во всем спектре исследований, их возможности неоспоримы в оперативности просмотра полученных данных, обеспечении высокой производительности серийных испытаний, возможности накопления больших объемов информации с ее последующей обработкой.

Все предлагаемые устройства имеют варианты исполнения, обеспечивающие работу в полевых условия при удалении от управляющего компьютера до 15 км (по полевому оптоволоконному кабелю) в диапазоне температур от минус 30 до + 40 град. С.

## **1. ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВ**

### **1.1. Теневой импульсный регистратор изображений «ВидеоТИР»**

Регистратор «ВидеоТИР» (единственная из рассматриваемых разработок, сделанная до 2009 года) предназначен для получения теневых изображений объектов (Рис 1 и Рис 2) с

экспозициями 30-100нс, что при скорости движения объекта до 10 км/с обеспечивает «смаз» изображения менее 1мм. Причем указанная экспозиция относится к уже разработанному устройству подсветки и нет принципиальных ограничений получить пикосекундные времена экспозиции при использовании излучателей с меньшим временем излучения при условии создания потока с интегральной энергией порядка 1мкДж.

Регистратор «ВидеоТИР» является функционально законченным устройством, управляющимся и питающимся от компьютера.

При использовании «ВидеоТИР» для регистрации баллистических экспериментов он может быть оснащен оптическим устройством синхронизации момента съемки «ВидеоСтарт».

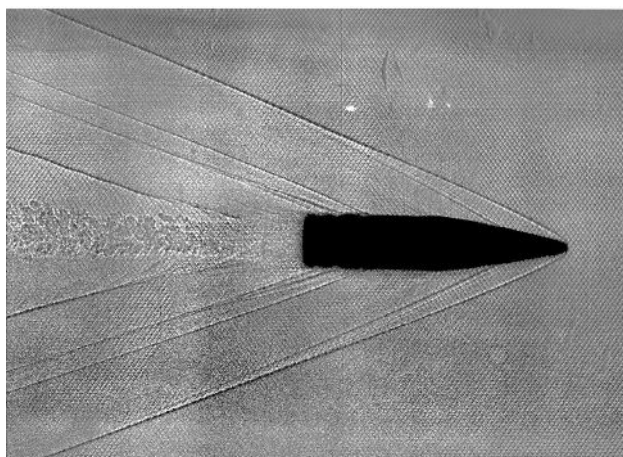


Рис. 1. Теневой снимок 30 мм снаряда.  
Скорость 1 км/с

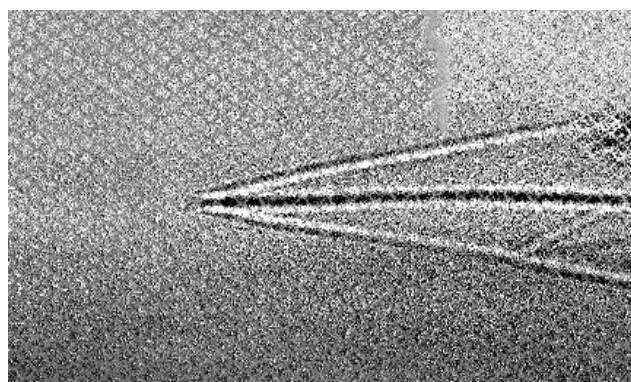


Рис. 2. Теневой снимок 0,8 мм шарика.  
Скорость 2,5 км/с

## 1.2. Регистратор - хронограф «ВидеоСтринг»

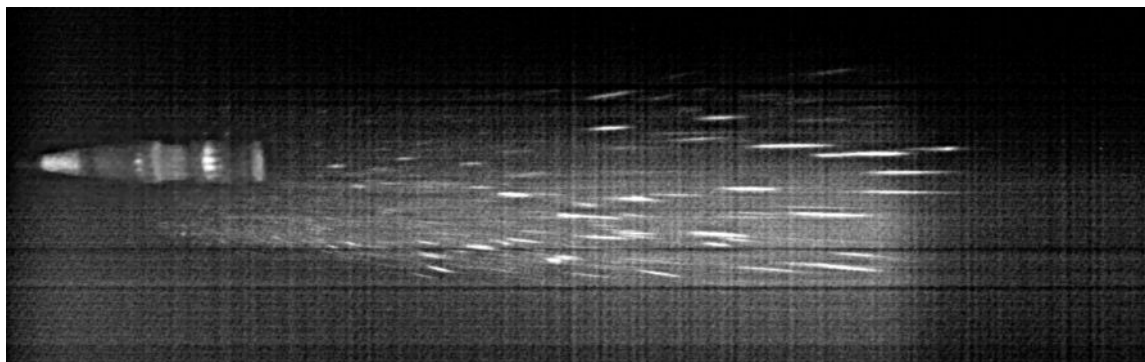
Регистратор-хронограф ВидеоСтринг, выполненный на базе CCD-сенсора позволяет регистрировать серию изображений строк (по аналогии с камерой, использующей развертку вращающимся зеркалом). Регистратор может быть использован в режиме одноцелевого и многоцелевого хронографа для регистрации самосветящихся процессов или объектов с использованием внешней подсветки (Рис 4).

Технические характеристики:

- максимальная частота регистрации строк 2-3 МГц (потенциально до 10 мГц);
- число элементов в строке - 1024
- число регистрируемых строк – 1000 (в зависимости от характера объекта до 2000);
- синхронизация регистрации с устанавливаемой задержкой начала регистрации – внешняя (от

процеса);

- регистрация предыстории (до синхронизации регистрации) – до 500 строк.



●—————→ **Время**

Рис 4. Изображение снаряда, полученное регистратором ВидеоСтринг. Частота записи 1млн. строк/с. За снарядом (позже по оси времени) видны вспыхнувшие осколки алюминиевой пластины, пробитой снарядом.

Относительно невысокое качество изображения объясняется тем, что вследствие ограничения по количеству экспериментов не удалось установить нужную экспозицию и масштаб изображения, при этом потенциальное качество изображения может быть на уровне 1000x1000 пикселей при 12 разрядном квантовании.

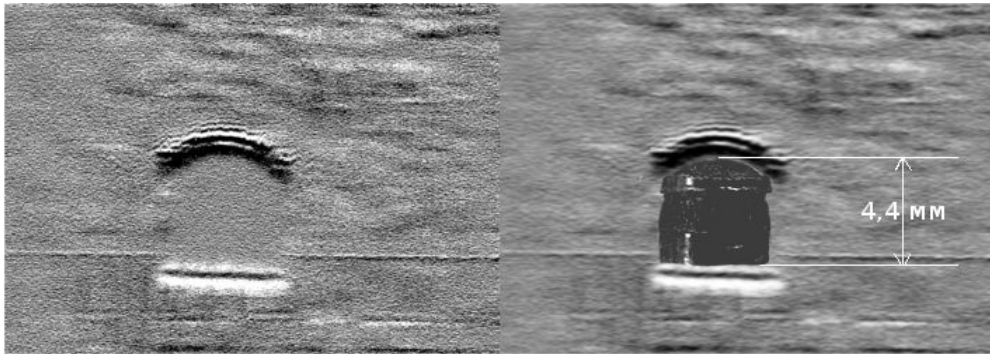
Наверное, следует отметить особенность полученного изображения с временной координатой по горизонтали. Здесь кажущееся движение осколков в направлении снаряда, объясняется тем, сами осколки являются разлетающимися от центра достаточно узкими протяженными образованиями. Потемнение изображения в правой части соответствует времени выключения импульсной подсветки и времени пролета последних горящих осколков - примерно 600 мкс от левого края изображения.

### **1.3. Теневой однострочный регистратор ВидеоТОР**

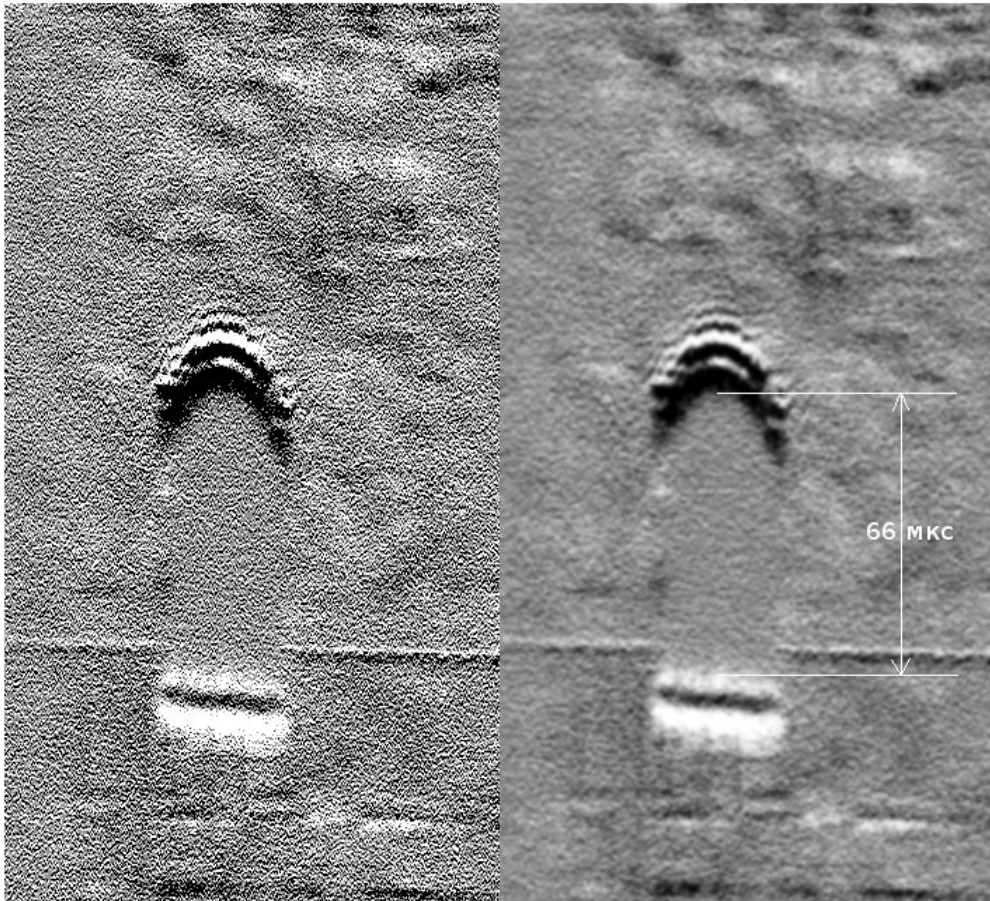
Одной из последних разработок 2009 года явилось создание теневого однострочного регистратора ВидеоТОР. Конструктивной и функциональной особенностью этого устройства является применение световозвращающего экрана в виде узкой полосы, освещаемой коллимированным потоком излучения полупроводникового лазера, что в совокупности позволило более чем на три порядка поднять уровень полезного сигнала (регистрируемый

поток собственного излучения) по сравнению с устройством ВидеоТИР.

Первые эксперименты, в частности визуализация возмущения воздуха, создаваемый движением пулькой духового пистолета (см. Рис. 3) на скорости 60 м/с, показали достаточно высокую чувствительность метода регистрации.



Масштабированные нижние изображения, приведенные к геометрическим пропорциям. На правое изображение наложена фотография духовой пульки.



Хронографическое теневое изображение уплотнений воздуха, вызванного движением пули духового пистолета. Скорость полета 65 м/с. Частота регистрации строк в направлении перпендикулярном полету пули 3 мГц. Левое изображение - производная по вертикали исходного изображения. Правое изображение - срезультат сглаживания.

Рис 3. Хронограмма выстрела из духового пистолета. Ось времени направлена сверху вниз.

Основные технические характеристики регистратора «ВидеоТОР» такие же как у хронографа «ВидеоСтринг».

#### **1.4. Лазерный однострочный регистратор «ВидеоЛОР».**

В настоящее время завершены работы по устройству лазерной подсветке объекта узким щелевым пучком, в результате чего создано полнофункциональное устройство получения изображений быстролетающих объектов в отраженном свете и хронограмм несамосветящихся процессов.

Основные технические характеристики регистратора «ВидеоЛОР» такие же как у хронографа «ВидеоСтринг».

#### **1.5. Двухкадровая экспозиция на ССД матрице.**

Режим двухкадровой экспозиции позволяет получить 2 последовательных во времени изображения объекта с временным сдвигом 1 мкс и менее. Такой режим используется, например, для исследования динамики потоков жидкостей и газов по методу Particle Image Velocimetry (PIV).

Принципиальной особенностью такого решения является получение двух изображений одним оптическим комплексом «объектив-матрица», что гарантирует идентичность геометрии регистрируемых изображений. Недостатком этого решения является невозможность получения двух изображений с одинаковым временем экспозиции, вследствие того, что экспозиция первого кадра, может быть предварительно задана, в то время как экспозиция второго кадра не может окончиться ранее того, как будет считано изображение первого кадра из секции выборки-хранения. Однако этот недостаток не проявляется при импульсной подсветке, когда длительность экспозиции определяется длительностью импульса подсветки, что может быть реализованл в регистраторе ВидеоТИР.

#### **1.6. Устройство синхронизации «ВидеоСтарт»**

Устройства синхронизации семейства «ВидеоСтарт» предназначены для формирования сигнала запуска различных регистраторов, при пересечении быстродвижущимся объектом плоскости синхронизации (блокирующей плоскости). Устройства «ВидеоСтарт» в зависимости от решаемых задач могут иметь различные оптические схемы, основанные на определении момента прерывания световых лучей исследуемым объектом.

В настоящее время разработаны и прошли испытания устройства «ВидеоСтарт 30» под объекты калибра 25-35 мм для объектов, движущихся со скоростями до 2 км/с, и «ВидеоСтарт 08», для объектов калибра от 0,8 до 4 мм для скоростей до 3 км/с.

### **1.7. Импульсная подсветка на полупроводниковых лазерах.**

Проблема невозможности получения одинаковых экспозиций в двух кадрах на одном CCD сенсоре может быть решена при использовании импульсной подсветки на лазерных диодах, которые позволяют формировать короткие импульсы с энергией достаточной для регистрации, как теневых изображений, так и с некоторыми ограничениями изображений в отраженном свете.

В настоящее время различные виды лазерной подсветки используются в регистраторах «ВидеоТИР», «ВидеоТОР» и «ВидеоЛОР».

### **1.8. Сверхкороткие экспозиции для камер семейства ВИДЕОСКАН.**

В дополнении к ранее существующей опции - «короткие экспозиции» - от 3.5 мкс нами был разработан аппаратный и программный драйверы, позволяющие «укоротить» циклограмму формирования времени экспозиции для некоторых камер семейства «ВИДЕОСКАН» до 70 нс. При этом следует отметить, что свойства «затвора» камеры таковы, что, хотя фронты открытия и закрытия «затвора» достаточно коротки, он не «закрывается» полностью, сохраняя некоторую остаточную «прозрачность», которая при попытке регистрации долго светящегося (по сравнению со временем «открытия затвора») или подсвеченного процесса может привести к засветке кадра. Это свойство затвора следует учитывать при постановке экспериментов.

### **1.9. Оптоволоконный кабель в полевом исполнении для камер ВИДЕОСКАН**

Исследование высокоинтенсивных процессов часто требует удаление оператора на десятки и сотни метров от места расположения регистрирующей аппаратуры. До последнего времени мы предлагали заказчикам кабели на основе витых пар медных проводов с максимальной длиной 50-70м. Теперь для этой цели мы можем предложить оптоволоконный кабель длиной от нескольких метров до 1,5 км, рассчитанный на достаточно жесткие условия эксплуатации в полевых условиях. Кроме того при этом регистрирующая аппаратура оказывается гальванически развязанной, что принципиально исключает возможность ее сбоя по общим электрическим цепям.

## 2. ПРИМЕРЫ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ НОВЫХ РЕГИСТРАТОРОВ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ

### 2.1. Получение изображений ударных волн.

Функциональные возможности получения теневого изображения, реализованные в регистраторах «ВидеоТИР» и «ВидеоТОР», позволяют кроме теневого изображения самих объектов получать изображение, образуемых ими ударных волн, например, в баллистических и взрывных экспериментах.

Следует отметить, что конструктивные особенности устройств, входящих в состав ВидеоТОР позволяют достаточно легко обеспечить их укрытие и защиту от воздействия осколков и других продуктов, образующихся в процессе экспериментов, при этом размер области регистрации может достигать нескольких метров.

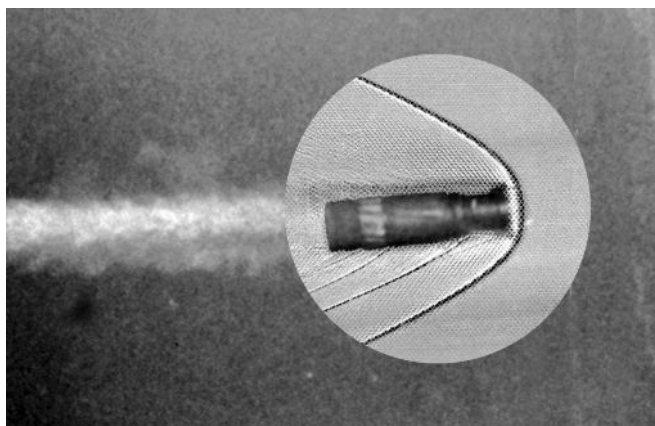


Рис. 5. Пример совмещения теневого изображения ударных волн и тени шлейфа, и изображения того же снаряда и шлейфа в отраженном свете.

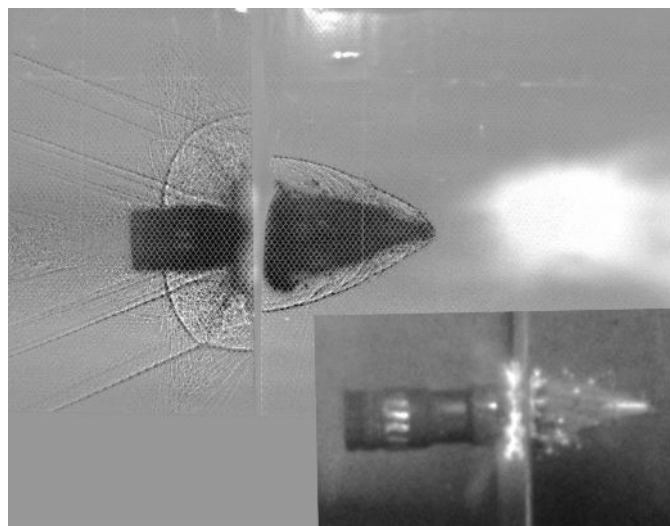


Рис. 6. Съемка одного процесса регистратором «ВидеоТИР» и «НАНОГЕЙТ-2» в близкие моменты времени.

### 2.2. Регистрация слабых «дозвуковых» возмущений воздуха

Высокая чувствительность регистратора «ВидеоЛОР», продемонстрированная в эксперименте с пулькой духового пистолета (см. главу 0) может найти свои экспериментальные задачи. При этом однако, осталась не ясной физическая основа зафиксированных перед пулькой артефактов – являются ли они следствием рефракции света на областях градиентов уплотнения либо интерференцией лазерного излучения на конусе уплотненного воздуха.

### 2.3. Совмещение теневых изображений и изображений в отраженном свете.

На рисунках 5 и 6 приведены изображения, снятые в близкие моменты времени рядом расположенными регистраторами «ВидеоТИР» и «НАНОГЕЙТ-2» (разработка «НПП НАНОСКАН»).

Следует отметить, что метод получения теневых изображений, реализованный в регистраторе «ВидеоТИР» позволяет получать изображения объекта тенью методом при одновременном включении ламп-вспышек, обеспечивающих регистрацию объекта в отраженном свете другими устройствами.

На рисунке 5 представлены изображения шлейфа за снарядом в теновом «варианте» (наблюдается как темное образование) и в отраженном свете - светлое образование.

На рисунке 6 видны изображения летящих в предпреградную область осколков, наблюдающихся в виде «облака» на изображении в отраженном свете (нижнее изображение) и в виде поля ударных волн на теновом изображении вверху. Совместный анализ изображений позволяет судить как о количестве выброшенного вещества, по плотности изображения «облака», так и о векторе скорости разлетающихся частиц по направлению и углу расхождения ударных волн.

### 2.4. Теневая съемка интенсивно светящихся объектов.

При соблюдении определенных условий регистраторами «ВидеоТИР» и «ВидеоТОР» возможна теневая съемка интенсивно светящихся объектов.

На рисунке 7 зарегистрированы две фазы пробития трассирующим 30 мм снарядом алюминиевой пластины, сопровождающийся образованием горящих осколков.

Верхняя пара это теневые изображения, полученные регистратором «ВидеоТИР», нижняя пара — изображения в свете импульсной лампы подсветки, полученные камерой с ЭОП затвором - «НАНОГЕЙТ-2БП» (разработка «НПП НАНОСКАН»)

Приведенные изображения

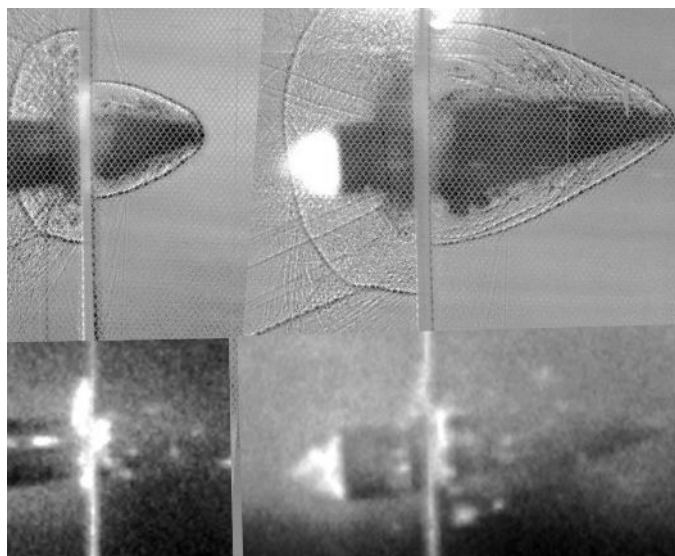


Рис. 7. Две фазы процесса пробития алюминиевой пластины.



демонстрирует, что при правильном расположении регистраторов и устройств подсветки и применении узкополосных фильтров, ни свет импульсных ламп подсветки, ни интенсивная вспышка алюминиевых осколков, ни горящий трассер не повлияли на качество теневой картинки.

Следует отметить, что функциональная возможность регистратора «ВидеоТОР» в части подавлении засветки от интенсивно светящихся фрагментов объекта или регистрации объекта сквозь прозрачную светящуюся среду до трех порядков превышает возможности регистратора «ВидеоТИР», что, предположительно, может быть использовано для получения изображения структуры кумулятивной струи.

## **2.5. Исследование запреградных явлений**

Еще одним приложением регистраторов «ВидеоТОР» и «ВидеоЛОР», использующих их конструктивные особенности - малые и легко укрываемые в узких щелях элементы конструкции, включая устройства синхронизации и подсветки, может быть исследование запреградных явлений, связанных с разлетом осколков.

## **2.6. Регистрация предыстории процессов.**

Регистраторы «ВидеоСтринг», «ВидеоТОР» и «ВидеоЛОР» имеют возможность синхронизировать процесс регистрации «от процесса» при этом существенной особенностью этих регистраторов является возможность регистрации предыстории процесса, что принципиально важно, когда интересующая фаза развития процесса нестабильна по времени относительно его инициализации. Примером такого процесса может быть развитие природной молнии, когда синхронизация «от процесса с упреждением» невозможна принципиально.

## **2.7. Регистрация поведения объекта на траектории.**

Функциональная завершенность регистраторов «ВидеоТИР» и «ВидеоЛОР», включающих как сами регистраторы с программно-аппаратными средствами удаленной связи с компьютером так и устройства подсветки, дополненные устройствами синхронизации «ВидеоСтарт», позволяют применять их самостоятельно или включать их в состав мобильных или стационарных измерительных комплексов.

В качестве примера эффективного использования регистраторов ВидеоЛОР в баллистических экспериментах может быть предложено использование нескольких установленных вдоль трассы комплексов на базе регистраторов ВидеоЛОР.

В этом случае может быть решена задача наблюдения за эволюцией объекта (отделение поддона или раскрытие аэродинамических плоскостей и пр.). В случае же установки трех регистраторов ВидеоЛОП в одной плоскости под углом 120 градусов относительно друг друга и общей синхронизации съемки можно получить полное (со всех сторон) высококачественное изображение объекта, например при прочностных испытаниях.

### **2.8. Хронограммы изменения профиля объектов.**

Еще одним применением регистратора «ВидеоЛОП» является получение хронограммы изменения профиля объекта в одной или нескольких плоскостях, создаваемых устройствами лазерной подсветки.

### **2.9. Двухкадровая съемка в регистраторе «ВидеоГИР». Режим мультиэкспозиции.**

Применение двухкадровой экспозиции в регистраторе «ВидеоГИР» позволяет получить два теневого изображения процесса с экспозициями, определяемыми длительностью импульсов подсветки (от 30 нс) и временной задержкой 1 мкс и менее. Такая возможность - получение двух изображений при строгом сохранении их геометрии открывает принципиально новые возможности исследования развития процессов.

Кроме того возможно применение режима мультиэкспозиции, путем формирования за время экспозиции одного кадра нескольких импульсов подсветки.

Используя двухкадровую съемку и двухкадровую экспозицию в каждом кадре можно получить четыре теневого изображений процесса, например, развитие трещин в стекле или нестабильностей в прозрачной среде.

### **2.10. Хронографирование спектров**

Регистратор-хронограф «ВидеоСтринг», дополненный спекроанализатором может быть использован для записи спектров быстропротекающих процессов в диапазоне длин волн от ближнего ИК до ближнего УФ. При этом в последнее время появились сообщения о возможности нанесения флуоресцирующих покрытий непосредственно на поверхность CCD матриц, что существенно отодвигает границу регистрируемого излучения в УФ область.

### **2.11. Измерение скорости движения объектов.**

Вследствие того, что изображения, получаемые регистраторами «ВидеоТОР», «ВидеоЛОП» и «ВидеоСтринг», имеют по одной из координат координату времени, они могут быть

эффективно использованы для прецизионного измерения скоростей движущихся объектов. Так, установив два регистратора на некотором базовом расстоянии и синхронизировав их в едином времени, можно, путем определения отношения базового расстояния между плоскостями регистрации к временному интервалу (расстоянию) между изображениями объекта, на оси единого времени, сразу получить значение скорости движения объекта. При этом, поскольку известно, что точность определения положений объекта на изображениях может быть примерно на порядок лучше шага дискретизации, требуемая точности измерений достигается даже при малом базовом расстоянии между регистраторами. Так для получения значения скорости объекта, движущегося со скоростью 1 км/с, с точностью в порядка 0,01% достаточно при частоте регистрации 1 мГц иметь базу порядка 200мм. Очевидно, что при увеличении базы точность определения скорости будет повышаться и определяться исключительно точность определения базового расстояния.

## 2.12. Комплексное измерение параметров движения объектов

Очевидно, что установка с двумя ортогональными парами вышеперечисленных регистраторов способна получить все основные параметры движения объекта:

- величину вектора скорости;
- направление вектора скорости;
- угол нутации;
- частоту нутации;
- скорость вращения объекта.

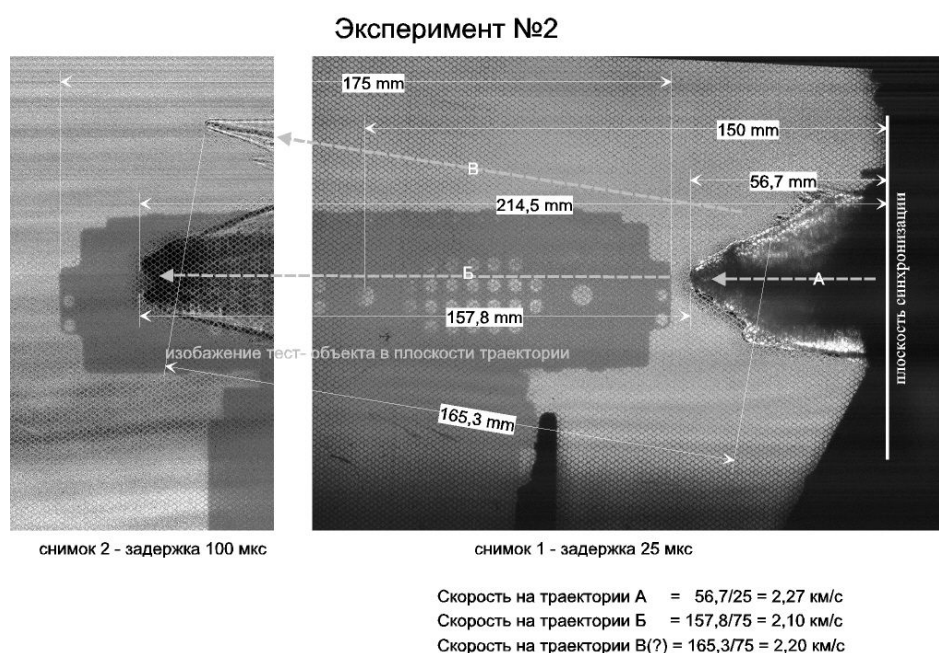


Рис. 8. Два теневых изображения «неудачного» эксперимента – рикошет объекта от диффузора.

На рисунке 8 приведен пример анализа эксперимента (в плоскости проекции), в котором объект - 0.8 мм шарик (на траектории «В») вследствие рикошета от диффузора отклонился от оси выстрела.

### **2.13. Возможность получения изображений быстропротекающих процессов в отраженном свете.**

Изображение (см. Рис. 7) демонстрирует возможности применения сверхкоротких экспозиций в камере ВИДЕСКАН-285. Так на верхнем правом (теновом) изображении видно изображение трассера, границы которого совпадают с границами изображения трассера (на снимке ниже), полученном камерой с «классическим» электронно-оптическим затвором.

В данном примере длительность открытия «затвора» камеры ВИДЕОСКАН-285, входящей в состав регистратора «ВидеоТИР» составляла 150 нс. Очевидно, что получение несмазанного изображения трассера как и отсутствие засветки от трассера по линии движения снаряда определялось работой «затвора» камеры. В этой связи можно сделать вывод о принципиальной возможности получения изображений быстролетающих объектов, с помощью камер семейства ВИДЕОСКАН. Также возможно получение изображений не самосветящихся процессов при использовании короткой импульсной подсветкой, длительность которой не многократно превышала бы длительность экспозиции, формируемой камерой.

### **2.14. Специальные методы съемки. Съемка с использованием световозвращающих маркеров.**

Встречающаяся на практике задача наблюдения за движением объекта часто осложняется его малыми размерами относительно расстояния, с которого его приходится наблюдать. Эффективным решением данной задачи может быть нанесение (установка) на исследуемый объект световозвращающих маркеров. Такие маркеры при использовании относительно маломощной подсветки могут позволить не только определить направление на объект, но и положение объекта в пространстве, например, частоту вращения вокруг собственной оси.

## **3. НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ – НОВЫЕ МЕТОДИКИ РЕГИСТРАЦИИ.**

Приведенные выше примеры использования функциональных возможностей новых регистраторов вовсе не претендуют на полноту и, скорее всего, будет продолжен. И в этой связи мы приглашаем экспериментаторов к обсуждению своих актуальных задач.