



С.М. Петров

З ведущий отделом кримин листических экспертиз
ФБУ К линингр дск я ЛСЭ Минюст России

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ВИДЕОЗАПИСИ С ЦЕЛЮ УСТАНОВЛЕНИЯ ОБСТОЯТЕЛЬСТВ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО ПРОИСШЕСТВИЯ

Статья посвящена исследованию видеозаписей, фиксирующих дорожно-транспортные происшествия. Представлен обзор основных свойств видеозаписей, описаны методы решения основных задач, возникающих при расследовании обстоятельств ДТП, таких как определение положения участников дорожного движения, их скорости и времени между событиями ДТП.

Ключевые слова: видеозапись ДТП, параметры движения транспортных средств.

S. Petrov

Head of the Department of Forensic Examinations,
Kaliningrad Forensic Science Laboratory of the Russian Ministry of Justice

APPLICATION OF FORENSIC VIDEO EXAMINATION IN TRAFFIC ACCIDENT RECONSTRUCTION

The article is concened with the analysis of videos containing scenes of traffic accidents. It provides an overview of the basic properties of video recordings, and describes methods for solving the key problems encountered by traffic accident investigators, such as determination of the position of road users, their speeds and the time between the events of the accident.

Keywords: traffic accidents videos, movement of vehicles properties.

Введение

Повсеместное распространение цифровых систем видеорегистрации привело к тому, что всё большее количество дорожно-транспортных происшествий охватывается запечатлённым видеозаписью.

Из всех возможных способов получения сведений об обстоятельствах ДТП именно исследование материалов видеозаписей предоставляет наибольшие возможности. Чаще всего оно предпринимается для того, чтобы установить:

время, прошедшее между событиями;
состояние между участниками движения или их положение на проезжей части в определённый момент;

характер и параметры движения ТС;

режим работы осветительных приборов ТС и светофорных объектов.

Большинство этих задач может быть решено различными методами, и выбор которых непосредственное влияние оказывает на качество исследования экспертом, так же возможность их дополнения.

По этой причине перед рассмотрением возможных методов исследования необходимо систематизировать свойства видеозаписей¹.

1. Свойств видеозаписей

Видеозапись представляет собой последовательность кадров, в которых запечатлены дискретизированные во времени изменения освещённости и положения объектов в поле зрения камеры.

Видеозапись обладает определённым набором свойств, некоторые из которых прямо влияют на принципиальную возможность решения поставленных задач и выбор методов исследования.

К основным техническим параметрам видеозаписи относятся размер кадра, алгоритм кодирования и сжатия видеoinформации.

Информативность единичного изображения (кадра) обусловлена в первую очередь количеством обрабатываемых его пикселей, которое определяется форматом (размером) кадра. Формат кадра определяет частоту пространственной дискретизации изображения, в соответствии с теоремой Котельников, вносит определяющий вклад в различимость его мелких деталей. Это хорошо заметно при сопоставлении кадров разного формата.

Последовательная смена кадров на экране не позволяет наблюдать динамику движения объектов. Человек воспринимает изображение, меняющиеся с частотой более 16 кадров в секунду, как непрерывное движение. Частота кадров измеряется в кадрах в секунду (к/с) или герцах (Гц)². Стандартная частота кадров телевизионной системы SECAM составляет 25, NTSC – 30 к/с. Частота кадров видеозаписей, снятых системным охранного видеонаблюдения, может составлять 1-2 к/с. Очевидно, что с точки зрения исследования обстоятельств дорожно-транспортных происшествий, события которых имеют характерные длительности порядка нескольких секунд, видеозаписи, сделанные с частотой 30 к/с и 1 к/с, могут принципиально различаться по своей информативности.

Таким образом, формат кадра являются параметрами, которые влияют на фундаментальные ограничения точности определения по видеозаписи размеров (состояний) и длительности интервалов времени.

Помимо размера кадра на качество изображения оказывают влияние свойства объектов, светочувствительной матрицы и алгоритмы кодирования и сжатия видеoinформации. Совокупное влияние указанных факторов может снизить качество изображения вплоть до полной потери его информативности. Использование различных методов обработки сигнала позволяет компенсировать некоторые из негативных факторов или субъективно уменьшить их влияние на качество изображения.

¹ В настоящей статье термин «видеозапись» используется в значении «видеограмма». В случае когда термин «видеозапись» обозначает процесс, это оговаривается отдельно.

² Английское название параметра – frame rate, единица измерения – fps (frames per second).

К свойствам собственно видеоизображения, определяющим возможности исследования, относятся: расстояние съёмки и характер его изменения, обзорность мест происшествия и видимость объектов в кадре.

Расстояние съёмки представляет собой обобщённую характеристику взаимного расположения камеры и снимаемых объектов.

Эта характеристика учитывает дистанцию съёмки, высоту установки камеры над предметной плоскостью, величину поля зрения камеры, угол между её оптической осью и направлением на снимаемые объекты. От расстояния съёмки зависит, какую площадь и какую часть кадра (центральную, периферическую) займут представляющие интерес объекты. Это непосредственно влияет на обзорность мест происшествия.

Под обзорностью следует понимать полноту отображения местности, на которой происходят интересующие события.

Обзорность является характеристикой, производной от расстояния съёмки. Следует различать обзорность в направлении оптической оси камеры (в глубину) и перпендикулярно ей (по горизонту). Очевидно, что лучшим расстоянием следует признать такое, при котором всё место происшествия попадет в центральную часть кадра. Однако стоящая на месте и дорожное движение не являются непосредственными объектами съёмки, находятся на периферии поля зрения камеры и могут быть удалены от неё на значительное расстояние, что существенно ухудшает обзорность мест происшествия.

Следует отметить, что даже при благоприятном расстоянии съёмки обзорность протяжённых участков местности в большинстве случаев связана с уменьшением масштаба изображения и снижением разборчивости его мелких деталей. В свою очередь, камеры, установленные на малой высоте и под малым углом к горизонту, не могут обеспечить необходимой обзорности в глубину, что не позволяет достоверно определить положение объектов, значительно удалённых от камеры. Иногда даже выгодное взаимное расположение камеры относительно мест происшествия не может обеспечить удовлетворительной обзорности в связи с тем, что между камерой и объектами на месте ДТП присутствуют непрозрачные преграды: кроны деревьев, ограждения, проезжающий транспорт.

Количественные критерии для оценки обзорности в настоящее время не используются, качественные характеристики обзорности по существу сводятся к двум случаям: обзорность может быть достаточной или недостаточной для решения поставленных задач.

Каким-либо способом улучшить обзорность мест происшествия на исследуемой видеозаписи невозможно. Вместе с тем изучение экспертом фотоснимков и видеозаписей с мест происшествия, карты местности и схемы ДТП, личное участие в осмотре мест происшествия способствуют формированию в его сознании более полного образа мест происшествия, что положительно сказывается на выборе методов и алгоритмов исследования.

Если обзорность определяется в основном обстоятельствами, то видимость – условиями видеосъёмки.

Видимость объектов съёмки – интегральный параметр, определяющий различимость деталей на видеоизображении.

Видимость зависит от двух групп факторов.

Первая группа – внешние факторы, к которым следует отнести удалённость мест происшествия от камеры, наличие преград между камерой и местом происшествия, атмосферную видимость, характер и интенсивность освещения в момент съёмки.

Вторая группа факторов обусловлена техническими характеристиками системы документирования, влияние которых было рассмотрено ранее. Действие указанных факторов может быть частично компенсировано методами технической обработки, в связи с чем видимость, в отличие от обзорности, может быть несколько улучшена.

2. Методы работы с видеоизображениями

В наиболее общем случае, независимо от решаемых задач, исследование видеозаписей включает в себя следующие операции:

обзор видеозаписи и выделение фрагментов, представляющих интерес;

визуальное исследование выделенного фрагмента в режиме замедленного и замедленного и по кадровому воспроизведению;

сохранение отдельных кадров в виде графических файлов;
улучшение изображений;
контрастирование и увеличение изображений;
наложение ретаргетинга на изображения;
совмещение, наложение изображений и их фрагментов;
подготовка к печати и печать изображений.

Наиболее сложной и трудоёмкой операцией является улучшение качества изображений. Подлежащее большинство видеозаписей, представляемых на исследование, имеют те или иные дефекты, требующие устранения или, по крайней мере, некоторой компенсации. К основным методам улучшения изображений относятся:

реконструкция изображения и фильтрация шумов;
оптимизация яркости, контрастности и насыщенности изображения;
повышение резкости и выделение контуров;
устранение дисторсии.

Данные относительно хороших кадров целесообразно оптимизировать яркость, контрастность и насыщенность изображения. Применительно к видеоизображениям реконструкция может потребоваться в случаях наличия изображений шумов и помех, интерлейсинга или выраженной блочности. Коррекция кадрового изгиба из заведомых искажений производится с помощью специальных фильтров, выпускаемых в виде отдельных программ или включаемых в состав графических редакторов. Действенным методом удаления «снега» с видеоизображений, снятых стационарными камерами, является вычитание шумов, которое производится на основе сравнения нескольких кадров. Записи, сделанные в условиях недостаточной освещённости, без оптимизации изображения чаще всего просто непригодны для исследования. Поскольку при геометрической коррекции кадров заметно искажается цветопередача, для улучшения визуального восприятия результирующее изображение целесообразно представлять в градациях серого. Большинство записей, поступающих на исследование, сделаны камерами, объективы которых имеют угол поля зрения около 120°. Храктерная для широкоугольных объективов дисторсия приводит к значительным искажениям изображения, которые необходимо устранить, если исследование предусматривает выполнение перспективных построений.

Каждый для выполнения исследования, так и для иллюстрации его результатов изображения могут наноситься отметки и обозначения. Ретаргетинг с ретаргеткой удобнее всего в векторном редакторе: ретаргетное изображение используется как подложка для векторной ретаргетки, которая может быть затем перенесена на произвольное количество кадров. Иногда в качестве одного из методов исследования или для иллюстрации его результатов можно использовать совмещение или наложение изображений из разных кадров. Эти операции удобно выполнять, оперируя слоями в графическом редакторе. При этом для каждого слоя может быть установлен необходимый уровень прозрачности, объединение слоёв в итоговое изображение может быть выполнено различными методами.

3. Определение длительности временных интервалов

Определение времени, прошедшего между событиями, является одной из основных задач исследования.

Подлежащее большинство видеозаписей отображают в кадре текущие дату и время, соответствующие параметрам системы видеорегистрации, однако использование этих параметров само по себе для определения времени между событиями в большинстве случаев нецелесообразно. Точность в 0,5 с, которую обеспечивают ежесекундные отсчеты, недостаточна для измерения стандартных для ДТП длительностей в 1-2 с.

Более удобным параметром для измерения времени является генератор кадров (частоты (программный или электронный), определяющий интервал времени между соседними кадрами. С его помощью длительность временных интервалов определяется в соответствии с формулой

$$t = \frac{N_2 - N_1}{f} (1)$$

где t – время, прошедшее между событиями, с;

N_1 и N_2 – номер кадры, фиксирующие соответственно первое и второе из интересующих событий;

f – частота кадров видеозаписи, к/с.

Несмотря на то что запись может быть значительно осложнена в связи с несоответствием фактической частоты кадров номинальному значению, указанному в заголовке файла. Это явление может быть вызвано выпадением кадров в результате переполнения буфера, ошибками округления, несинхронностью тактовых генераторов таймера и ГКЧ.

Проверку фактической тактовой частоты можно выполнить, сверяясь с отобранными в кадрах показаниями таймера системы видеорегистрации.

Чаще всего встречаются флуктуации значения кадровой частоты относительно некоторого среднего значения. Например, на рис. 1 показаны графики изменения частоты кадров, который был обозначен в заголовке файла как 29,97 к/с, фактически на протяжении 14 с принимал значения от 27 до 31 кадр в секунду.

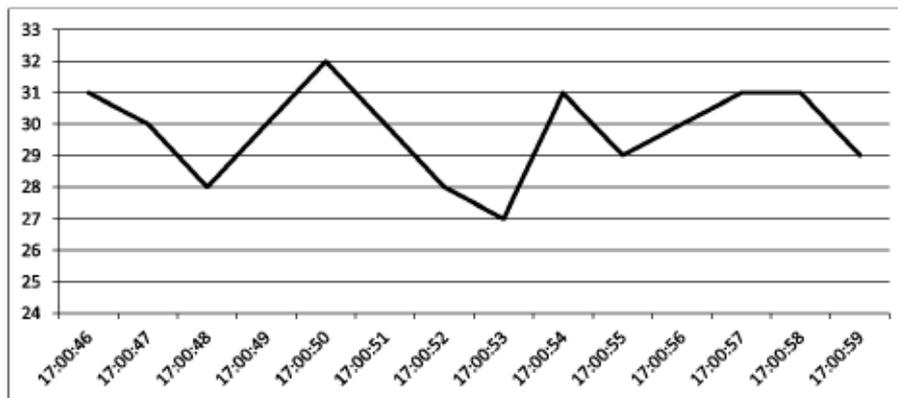


Рис. 1. Флуктуации кадровой частоты записи, выполненной автомобильным видеорегистратором

Учесть флуктуации частоты при определении длительности временных интервалов можно двумя способами.

Первый способ заключается в определении средней кадровой частоты на интервале в несколько секунд и использовании полученного значения в формуле (1). При этом необходимо учесть ошибку вычисления, которая будет определяться по формуле среднеквадратичной погрешности

$$\Delta f = \sqrt{\frac{\sum(f - f_i)^2}{n - 1}} \quad (2)$$

Поскольку для дальнейших расчетов удобнее использовать относительную погрешность, необходимо вычислить и её:

$$\delta f = \Delta f / f \quad (3)$$

Для значения t , рассчитанного по формуле (1), относительная погрешность будет равна относительной погрешности кадровой частоты:

$$\delta t = \delta f \quad (4)$$

В случае когда кадровой частоты невелика, её локальные изменения существенны, предпочтительнее другой способ. Он заключается в разбиении записи на интервалы между интересующими событиями и три случая:

первый случай включает в себя кадры, фиксирующий первое из интересующих событий и все последующие кадры, в которых показания таймера имеют то же самое значение;

второй случай включает в себя кадры, фиксирующий второе из интересующих событий и все предшествующие ему кадры, в которых показания таймера имеют то же самое значение;

третий случай включает все остальные кадры.

Указанное разбиение проиллюстрировано на рис. 2.

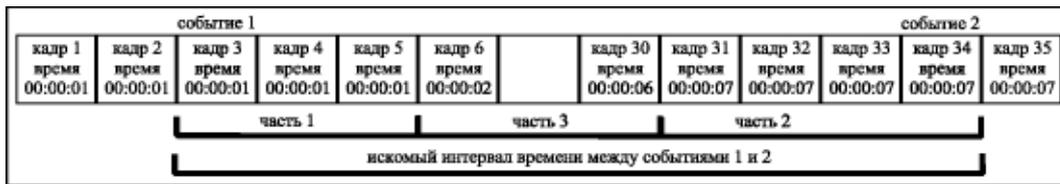


Рис. 2. Деление искомого интервала на части для определения его общей длительности

Чтобы определить длительность первой части искомого временного интервала, необходимо рассмотреть значение локальной частоты кадров. Оно равно числу всех кадров (в том числе не включенных в часть 1), где показатели таймера остаются неизменными.

После определения частоты кадров длительность первой части рассчитывается по формуле (1), где N_1 принимается кадр, фиксирующий интересующее событие, N_2 – последний из кадров, имеющий те же показатели таймера, что и кадр N_1 . Длительность второй части определяется логично.

Длительность третьей части временного интервала определяется по показателям таймера.

Погрешность определения длительности временного интервала описанным способом целесообразно оценить, исходя из предположения о том, что на протяжении текущей секунды кадры исследуемой записи экспонируются через равные промежутки времени. Тогда можно считать, что положение интересующего события на оси времени определяется по шкале, величина отсчета которой равна периоду следования кадров.

Поскольку погрешность прямого измерения равна половине цены деления шкалы, абсолютная погрешность определения длительности первой и второй частей интервала определяется по формуле

$$\Delta t = 1 / 2f' \quad (5)$$

где f' – локальная частота соответствующей части.

Значит, итоговую погрешность определения длительности всего интервала целесообразно принять большее из двух полученных значений.

Изменение кадровой частоты может быть обусловлено использованием режима видеозаписи с переменной кадровой частотой. В этом случае для определения фактической кадровой частоты на исследуемом отрезке записи необходимо детально исследовать служебную информацию видеопотока.

Другим фактором, влияющим на точность определения длительности временного интервала, являются условия и обстоятельства съемки, препятствующие достоверному определению кадров, служебных его параметров.

Следует отметить, что в общем случае компетенция лиц, исследующего видеозапись, не позволяет ему оценить те или иные значительные события в контексте механизма ДТП. В связи с этим события, служебные параметры временного интервала, не могут обозначаться, например, как «момент возникновения опасности» и должны именоваться только с точки зрения описания видимых явлений: «момент начала движения», «момент выезда на перекресток» и др.

Притом следует отметить, что при определенных параметрах и дистанциях съемки визуальное определение момента наступления того или иного события может представлять значительную трудность. Вместе с тем некоторые из событий имеют достаточно четкие маркеры, позволяющие уверенно определять их наступление. Так, на записи, снятой камерой, установленной в автомобиле, который является участником ДТП, момент столкновения точно определяется по срыванию всего изображения в кадр (фото 1, 2).

Момент столкновения транспортных средств может быть определен по кратковременной потере резкости изображения ТС, участившего в столкновении, или «размытию» бликов от его деталей (фото 3, 4).



Фото 1

Фото 2



Фото 3

Фото 4

Фото 1–4. Кадры, снятые непосредственно перед столкновением и в момент столкновения

При достаточной высоте крона дерева момент наезда на пешехода может быть определен по резкому снижению положения его головы (фото 5–8).

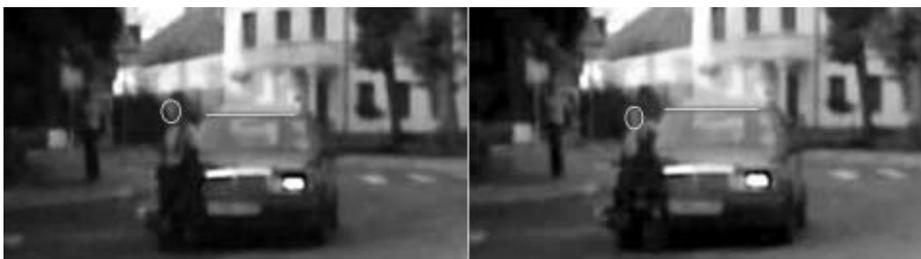


Фото 5

Фото 6



Фото 7

Фото 8

Фото 5–8. Кадры, снятые непосредственно перед наездом и в момент наезда (положение головы пешехода и уровень крыши ТС отмечены линиями белого цвета)

При исследовании видеозаписей, снятых с низкой вышотой, нередко оказывается, что имеющее место событие произошло в интервале между съемкой двух соседних кадров. Получается, что на первом из них событие еще не зафиксировано, а на втором – зафиксированы уже его последствия. Если точно определить момент наезда

(или окончания) события невозможно, следует выбрать той кадр, в котором событие уже известно произошло и несомненно наблюдается на видеозаписи. Для определения величины ошибки, которая неизбежно возникает в этом случае, можно использовать формулу (5).

4. Определение текущего положения объекта и пройденного им пути

Определение положения участников движения на месте происшествия необходимо для ответа на вопросы:

- с какой скоростью двигался участник движения?
- с каким ускорением/замедлением двигался участник движения?
- на каком расстоянии ходил участник движения от ориентира?
- на какой полосе проезжей части ходил участник движения?

Очевидно, что задача определения положения объекта в пространстве является одной из основных.

Все детали видеоизображения являются результатом центральной проекции трёхмерных объектов на двумерную фоточувствительную матрицу. Соотношения между объектами и их изображениями подчиняются законам линейной перспективы, в связи с чем многие методы решения поставленной задачи прямо заимствуются из перспективной геометрии.

Учитывая данное обстоятельство, необходимо рассмотреть основные понятия и методы центральной проекции применительно к решению поставленной задачи, также выделить случаи, требующие использования других методов.

Перемещения участников движения происходят по поверхности, которая в общем случае представляет собой горизонтальную плоскость. В измерительной фотографии и проективной геометрии ей соответствует предметная плоскость (ПП), на которой расположены отображаемые объекты.

Положение объекта в пространстве определяется по проекции его контуров на предметную плоскость. В большинстве практических задач для определения положения объекта достаточно использовать проекцию его единственной точки, которую можно назвать точкой положения (ТП). Выбор точки положения зависит от видимости участников движения на видеозаписи. Поскольку положение участников движения определяется в предметной плоскости, при выборе точки положения должны учитываться возможность её проецирования на ПП.

Если участником движения является транспортное средство, при съёмке позволяет наблюдать его боковую поверхность, с какой удобной точкой положения является центр переднего или заднего колёс ТС. Если при съёмке или условия освещения не позволяют определить положение центров колёс, за точку положения можно принять один из видимых осветительных приборов транспортного средства или другую, хорошо различимую во всех исследуемых кадрах деталь. За точку положения пешехода целесообразнее всего принять центр его головы, который при естественном движении не ходит на одной вертикальной линии, что и центр тяжести тела.

При перемещении участников движения точка положения перемещается по некоторой линии, проекция которой на предметную плоскость называется его траекторией (линией) движения. Линия движения транспортных средств ориентирована обычно вдоль проезжей части, линия движения пешеходов – поперёк нее.

В случае если видеозапись снята с точки зрения мерой, линия движения может быть построен непосредственно в кадре. Для этого необходимо на нескольких последовательных изображениях участников движения отметить в кадре одну и ту же точку положения, найти её проекции на предметную плоскость и соединить их между собой (фото 9).

В случае прямолинейного движения для построения линии движения достаточно двух точек. Если при съёмке позволяет наблюдать боковую часть ТС, линия прямолинейного движения может быть построена по единственному кадру. Для этого необходимо: найти на боковой поверхности ТС две хорошо различимые точки X и Y, лежащие в плоскости, параллельной продольной оси ТС;

спроецировать их на предметную плоскость и получить точки X' и Y';

через точки X' и Y' провести прямую линию, которая и будет искомым линией движения (фото 10).



Фото 9. Построение линии движения по нескольким предварительно совмещенным изображениям ТС



Фото 10. Построение линии движения по единственному изображению ТС

В случае когда видеозапись снята движущейся камерой, строить линии движения из полученных на ней участков непосредственно в камере технически сложно и практически не целесообразно. При необходимости линия движения может быть построена на плане (схеме) места происшествия.

Основными задачами исследования являются построение и изображение координатных осей, поиск масштаба для каждой из них, нанесение координатных осей измерительных шкал и выбор точки отсчета.

Для получения практически значимых результатов исследования достаточно точно определить положение участка движения в одномерной системе координат, ось которой совпадает с его линией движения.

На оси необходимо задать точку отсчета, выбор которой диктуется решаемой задачей. В ее качестве может выступить какой-либо хорошо видимый на видеоизображении ориентир, положение которого на местности является определяемым и неизменным. Если конечной задачей является определение скорости движения, то точкой отсчета может выступить предыдущее положение участка движения на оси координат.

Установить расстояние от точки отсчета до участка движения позволяет сравнение масштаба, который представляет собой отрезок, соединяющий две любые хорошо различимые в камере точки, расстояние между которыми известно (или может быть измерено) и неизменно. Такие точки называются реперными (или реперными точками).

В камере может не хватиться изображение большого количества реперов, однако для измерений могут быть использованы только те из них, которые могут быть с достаточной точностью спроецированы на ось координат.

В некоторых случаях оказывается целесообразным построить и изображение измерительную шкалу. Она представляет собой координатную ось, на которую нанесены отметки делений, кратные выбранному масштабу. Расстояние между отметками на изображении может изменяться с учетом перспективы, однако применительно к натуре деления шкалы остается постоянной.

На практике часто встречаются реперы, расположенные на фиксированном расстоянии один от другого. Это позволяет использовать их изображение для построения шкалы, которую можно назвать естественной. Реперными могут выступать, например, разметка пешеходного перехода или пролеты ограждения проезжей части.

В некоторых видеозаписях реперы в камере отсутствуют, и построение шкалы оказывается невозможным. Однако эти записи нельзя считать непригодными для решения поставленной задачи, поскольку изображение реперов могут быть привнесены в кадры исследуемой видеозаписи из других кадров той же или другой, специально снятой записи.

Так, например, если запись снята в тёмное время суток, перемещение автомобиля прослеживается по световым пятнам его осветительных приборов, однако иные объекты могут быть не видны. В случае если такая запись сделана с дистанционной меры, другая запись, сделанная той же камерой при достаточном освещении, позволяет выявить расположение ориентиров, отметить их положение в кадре и затем перенести на кадры исследуемой записи.

В случае с дистанционной мерой можно изготовить и экспериментальную шкалу, которая представляет собой набор хорошо различимых реперов, расположенных в поле зрения камеры в известном состоянии (фото 11, 12). Видеозапись, на которой записан экспериментальный масштаб, представляет собой исследование в качестве образца, к которому с избранием экспериментальной шкалы относятся кадры исследуемой видеозаписи методами, указанными выше.



Фото 11. Кадр видеозаписи, фиксирующей события ДТП



Фото 12. Кадр экспериментальной видеозаписи, фиксирующей шкалу, отметки которой обозначены на местности белыми лентами, уложенными с интервалом 2 м. поперёк полосы движения

В случае когда масштаб не ходится непосредственно на линии движения, для определения положения участка движения требуется только спроецировать точку его положения на предметную плоскость и сопоставить с избраниями ближайших реперов.

Однако достаточно часто масштаб не лежит на линии движения, проходит параллельно ей или образует с ней незначительный угол. Такая шкала, в принципе, также может быть использована. Однако несоответствие шкалы и линии движения приводит к возникновению ошибок измерения, обусловленных параллаксом. Влияние данного эффекта на точность измерений иллюстрируется рисунком 3.

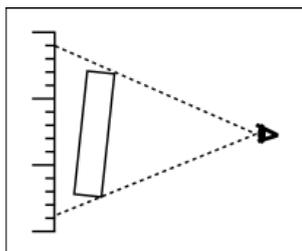


Рис. 3. Влияние явления параллакса на точность измерений

Приемлемость возникающих ошибок и допустимость использования выбранного метода в каждом случае должны быть оценены отдельно. Однако для получения максимально достоверного результата целесообразно перенести отметки шкалы на линию движения, для чего используется метод перспективного проецирования.

Метод перспективного проецирования заключается в определении положения участников движения на местности по расположению их изображения относительно измерительной шкалы, построенной на изображении местности с учётом перспективы.

Все приемы, составляющие метод перспективного проецирования, заключаются в построении перспективных проекций. Для того чтобы обеспечить базу перспективных построений, необходимо определить на изображении расположение основных элементов перспективной линейной перспективы, которыми являются предметная плоскость, линия горизонта и точка дивергенции /зенит.

Предметная плоскость совпадает с поверхностью дороги, по которой перемещаются участники движения. Все перспективные построения выполняются в предметной плоскости, или проецируются на неё.

Линия (условного) горизонта представляет собой линию, на которой расположены точки сходка каждого семейства линий, в том числе параллельных друг другу и предметной плоскости.

Для того чтобы найти линию горизонта, необходимо (фото 13):

найти на изображении группу отрезков, параллельных между собой в том числе, провести через них прямые, которые пересекутся в точке сходка H ;

найти на изображении вторую группу отрезков, параллельных между собой и перпендикулярных отрезкам первой группы, определить точку сходка H' линий, проходящих через эти отрезки;

провести через точки H и H' прямую h , которая и будет являться искомой линией горизонта.

Чтобы определить линию горизонта максимально точно, рекомендуется использовать больше двух групп параллельных отрезков, из доступных выбрать те, которые имеют на изображении большую протяженность.

Может возникнуть, что в кадре имеется только одна группа параллельных отрезков (например, края проезжей части), позволяющая получить только одну точку сходка, которой будет недостаточно для построения линии горизонта. В этом случае можно воспользоваться допущением о том, что запечатленный на изображении автомобиль движется прямолинейно и к какому-либо его протяженному элементу (например – bumper) отнесётся параллельной с собой в серии последовательных кадров. Тогда, совместив несколько изображений автомобиля, можно получить необходимую вторую группу параллельных линий (фото 14).



Фото 13. Построение линии горизонта



Фото 14. Построение линии горизонта по изображению в двух кадрах

Следует отметить, что требование к параллельности отрезков является единственным: расстояние между ними и иххождение вне предметной плоскости никак не влияют на возможность их использования для хождения линии горизонт.

Точка нидир может быть найдена, только если главный луч зрения (совпадающий с оптической осью объектива камеры) не параллелен предметной плоскости. В этом случае вертикальные в натуре линии отображаются с наклоном, который увеличивается при удалении от главного луча зрения. Точка схода этих линий и будет являться точкой нидир N.

В случае когда реперы шкалы находятся в стороне от линии движения, нужно выполнить следующие действия:

- отметить на изображении реперные точки (см. отс. 1–4 на фото 15);
- спроецировать их на предметную плоскость (центром проекции выступят точка нидир) (см. отс. 1'–4' на фото 16);
- найти на линии горизонт точку С, в которой сходятся линии, перпендикулярные направлению движения;
- используя точку схода С как центр проекции, спроецировать точки 1'–4' на линию движения и получить отметки шкалы (см. отс. 1''–4'' на фото 17).



Фото 15

Фото 16



Фото 17

Фото 15–17. Проекция реперов шкалы на линию движения

Чтобы определить положение ТС, необходимо определить положение проекции Z' его точки положения Z относительно отметок шкалы. Если количество реперов не обеспечивает требуемой точности, необходимо, используя принцип подобия, разбить деления шкалы на более мелкие (фото 18, 19).



Фото 18, 19. Разбиение деления шкалы на несколько частей

Метод перспективного проектирования позволяет создать шкалу и по единичному масштабу, состоящему из двух реперных точек. Роль масштаба может выполнять бортовой спортивный средство, положение которого необходимо определить.

Перед построением шкалы должны быть найдены линия горизонт (h), линия движения ТС (m), линия, параллельная линии движения (l), в качестве которой обычно выступает край проезжей части (фото 20). Затем необходимо выполнить следующие построения:

- спроецировать центры колёс ТС на линию движения, получив точки X и Y;
- соединить точки X и Y с точкой N, расположенной на линии горизонт (фото 21);
- отметить точки A и B пересечения отрезков XN и YN с линией l (фото 22).



Фото 20



Фото 21



Фото 22

Фото 20–22. Этапы построения измерительной шкалы

Четырёхугольник $ABXY$ в местности является параллелограммом: его противоположные стороны параллельны, и, соответственно, проведённые через них линии имеют общие точки сходения.

Точка H выбирается на линии горизонта так, чтобы четырёхугольник $ABXY$ в изображении был ближе по форме к прямоугольнику. Дальнейшие построения выполняются в следующем порядке:

продлить линию BX параллелограмма $ABXY$ до линии горизонта (точка H') (фото 23);
 построить отрезок $H'Y$ и отметить точку C , образующую его пересечением с линией a (фото 24).

Отрезки $H'X$ и $H'Y$ имеют общую точку сходения, соответственно, в натуре являются параллельными. Таким образом, отрезки XY и BC равны. Очевидно, что отрезок HZ параллелен отрезку MX и NY , и, соответственно, отрезки XY и YZ также равны между собой (фото 25).



Фото 23

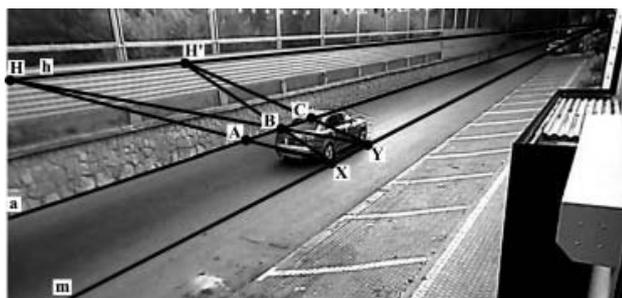


Фото 24

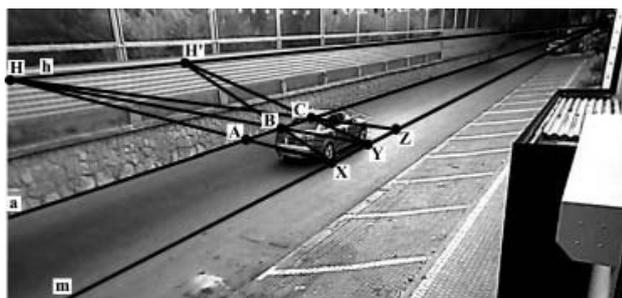


Фото 25

Фото 23–25. Этапы построения измерительной шкалы

В результате н линии движения ТС определены три отметки измерительной шкалы (X, Y, Z), расстояние между которыми равно длине базы ТС. Повторив указанную последовательность действий, можно определить и другие отметки, количество которых ограничено только качеством изображения в кадре (фото 26).

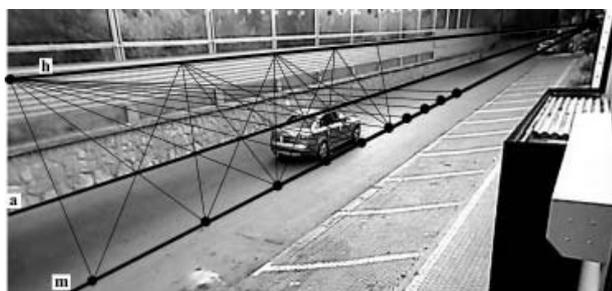


Фото 26. Результат построения измерительной шкалы

Основой построенной шкалы служит параллелограмм, произвольно ориентированный относительно главного луча зрения. В измерительной фотографии его принято называть произвольным масштабом.

Помимо произвольного масштаба выделяют также линейный и глубинный масштабы, которые являются его частными случаями.

В традиционной измерительной фотографии линейный масштаб должен располагаться в предметной плоскости, фото/видеосъемка должна производиться камерой, главный луч зрения которой перпендикулярен ей.

В большинстве случаев в специальной видеосъемке оптическая ось камеры не перпендикулярна предметной плоскости. В связи с этим для целей описываемого исследования линейным масштабом следует считать отрезок известной длины, параллельный линии горизонта.

Отличительным свойством линейного масштаба является то, что цена деления шкалы, построенной на его основе, остается неизменной на всем протяжении шкалы.

Чаще всего линейный масштаб используется при исследовании видеозаписей, снятых курсовой камерой автомобильного видеорегистратора для определения положения участников движения на проезжей части относительно её краев. В связи с линейностью шкалы размер или положение объекта в пространстве можно определить прямым сопо-

ствлением длин отрезков, один из которых соответствует измеренному по линейной шкале расстоянию, второй – величине масштаба.

Так, на фото 27 масштаб шкалы АВ равен ширине полосы движения. Незвестное расстояние ВС определяется из соотношения длин отрезков АВ и ВС, измеренных по камере видеозаписи.



Фото 27. Измерение с помощью линейного масштаба

Глубинный масштаб, в соответствии с его классическим определением, должен располагаться на линии, образующей пересечение предметной плоскости и плоскости главного луча зрения.

В практике видеосъемки «трехмерный» глубинный масштаб встречается крайне редко, и для целей исследования следует считать, что глубинный масштаб представляет собой отрезок известной длины, лежащий в предметной плоскости параллельно главному лучу зрения.

Линия, проведенная через отрезок глубинного масштаба, всегда проходит через точку главного сходения. Если глубинный масштаб лежит в плоскости главного перпендикуляра, он отображается в кадре в виде вертикального, в остальных случаях – в виде наклонного отрезка.

Построение измерительной шкалы на основе глубинного масштаба требует наличия сведений о фокусном расстоянии объектива, которые обычно отсутствуют. В связи с этим в большинстве случаев глубинная шкала является естественной. Для того чтобы ей было удобно пользоваться, через каждую из отметок шкалы можно провести горизонтальную линию (фото 28).



Фото 28. Линии разметки 1.5. в плоскости главного луча зрения

В связи с уменьшением масштаба изображения при удалении от точки съемки точность определения положения объекта относительно отметок шкалы существенно уменьшается. Из практики измерительной фотографии известно, что приемлемая точность измерений по глубинной шкале обеспечивается на расстоянии нескольких десятков метров от точки съемки. Это хорошо видно и на фото 28.

Поскольку при движении ТС ориентацию главного луча зрения автомобильного регистратора относительно предметной плоскости можно считать постоянной, измерительная шкала, построенная на основе линейного, глубинного или произвольного масштаба в одном из кадров, может использоваться в любом другом.

В случае когда интерес представляет не абсолютное положение ТС на местности, только расстояние, на которое оно переместилось, можно использовать один из методов, не требующих выполнения перспективных построений.

Если съемку осуществлял с дистанционной мерой, можно избежать кадры, в которых транспортное средство последовательно занимает те же положения, в которых изображение заднего колеса оказывается точно в том месте кадра, где ранее находилось изображение переднего (фото 29–32). Если во всех этих кадрах отметить положение центр

переднего колёса, то получится шкала, цена деления которой равна величине колёсной базы ТС.

Тот же метод построения шкалы можно назвать методом втомсштб (от лат. auto – независимый, самостоятельный).



Фото 29–32. Кадры, фиксирующие последовательное смещение ТС на величину его базы и отметки положения центров колёс, служащие реперами для создания измерительной шкалы

В случае когда на проезжей части имеются неподвижные ориентиры, метод втомсштб может быть использован и для исследования зписей, сделанных камерой, движущейся в процессе съёмки. По той же зписи достаточно просто определить смещение ТС на величину его колёсной базы относительно единичного ориентира (фото 33, 34).



Фото 33, 34. Кадры, снятые движущейся камерой, фиксирующие смещение ТС на величину базы относительно неподвижного ориентира (линий горизонтальной разметки)

Нередко задачей исследования является снятой курсовой камерой автомобильного регистратора, является определение его собственной скорости либо скорости иных участников движения, перемещающихся в попутном или встречном направлении.

Для этого необходимо определить время движения транспортного средства по некоторому участку пути, моменты прохождения границ которого легко определяются по видеозаписи, его протяженность – на местности.

В качестве границ участка могут выступить проезжая часть или любые стационарные ориентиры, расположенные вдоль её края.

Если по видеозаписи необходимо определить скорость движения ТС, находящегося в поле зрения камеры, то задача решается определением кадров, в которых проекция точки положения ТС на предметную плоскость оказывается в створе с ориентиром (фото 35).

Задача может быть решена и в отношении ТС, из которого велась видеосъемка. В этом случае определяются кадры, в которых в створе с выбранными ориентиром оказывается одна и та же точка кадра (на пример – одна из его границ) или неподвижная относительно камеры деталь ТС (фото 36).



Фото 35. Совмещение в створе ТС и репера, находящегося в стороне от его линии движения



Фото 36. Совмещение в створе линии разметки и переднего среза капота ТС

Сведения о положении ориентиров на местности и расстояниях между ними могут быть получены исходя из их географических координат, определить которые позволяют современные комплексные системы цифровой картографии, включающие в себя спутниковые фотоснимки, векторные карты и данные систем спутниковой навигации. Программные продукты, предназначенные для привязки цифровых изображений местности к цифровым картам, позволяют в ручном или автоматическом режиме определить географические координаты изображенных на фотоснимке объектов по известным координатам реперов, имеющихся на этом же снимке. На практике это позволяет определить положение участника движения, вырванное через географические координаты.

Определение положения участников движения выполняется путём совмещения их изображения с некоторой условной линией, построенной с учётом расположения ориентиров в кадре.

Таким образом, погрешность определения положения складывается из погрешности построения этой линии и погрешности позиционирования относительно неё.

Методический расчёт величины погрешности представляет собой достаточно громоздкую задачу. В связи с этим целесообразнее использовать оценочный, не расчётный метод её определения, который, хотя и даёт несколько завышенные результаты, является существенно более простым в реализации.

Так, например, на изображении достаточно высокого качества визуально достаточно уверенно дифференцируются колёса («диски») ТС, которые обычно контрастно выделяются на фоне шины (см. фото 29–34). Соответственно определяются и точные положения ТС,

которые отстоят одно от другого на величину, сопоставимую с диаметром колес. Различия менее половины диаметра колес определить уже несколько сложнее. В связи с этим можно считать, что координаты точки положения ТС определяются с погрешностью, равной половине диаметра колес или, при несколько худших условиях, – его диаметру.

При соответствующем освещении положение ТС относительно линии створ можно определить по ближней или дальней границе его тени. В случае когда дистанция съёмки велика, тень от ТС превращается в тонкую полоску (см. фото 35), на которой визуально уже трудно определить её середину. Погрешность определения положения ТС по отношению к центру изобретению целесообразно принять равной половине его длины. В случае когда дистанция съёмки велика настолько, что тень ТС сливается в узкую полоску с нечёткими краями, погрешность может быть увеличена до размера длины ТС.

Очевидно, что видимость тени зависит и от расстояния, и от освещенности, и от высоты расположения камеры, и от геометрии самого ТС. Поэтому оценка величины погрешности должна производиться в каждом случае с учётом всех особенностей ситуации. Можно утверждать, что в том случае, когда по условиям освещения тень от транспортного средства не видна проезжей части, определение положения ТС производится по видимым деталям его изобретения, точность результата не будет принципиально отличаться от точности, которая была бы достигнута при наличии тени. Очевидно, что и величина погрешности должна быть сопоставимой и составлять длину или половину длины ТС.

Сопоставимую величину погрешности следует принимать и в случаях, когда видимость места происшествия достаточна только для того, чтобы выделить изобретение ТС из окружающего фона, что часто бывает, когда место ДТП находится на значительном удалении от камеры.

Таким образом, погрешность определения положения, получаемая оценочным методом, сильно зависит от условий видимости ТС на месте происшествия и может иметь различную величину, однако при выборе целесообразно использовать значения, сопоставимые с диаметром колес при хорошей видимости и с длиной ТС при недостаточной.

В случае когда конечной целью исследования является расчёт скорости, целесообразно использовать не абсолютную, а относительную погрешность:

$$\delta S = \Delta S / S \quad (6)$$

где δS – искомая относительная погрешность;

ΔS – абсолютная погрешность;

S – путь, пройденный участником движения.

5. Определение параметров движения объектов

Определение скорости участников движения и характера её изменения является одной из наиболее востребованных задач исследования видеозаписей, фиксирующих события ДТП.

Для определения средней скорости движения ТС необходимо определить расстояние, пройденное ТС за известное время, либо время, потребовавшееся ТС для преодоления известного расстояния.

На коротком отрезке пути скорость транспортного средства можно считать равномерной. Чем короче выбранный отрезок пути, тем меньше мгновенное значение скорости отличается от её среднего значения.

Для определения средней скорости движения ТС между двумя произвольными точками используется формула равномерного движения

$$V_{cp} = S / t \quad (7)$$

где S – путь, пройденный ТС между двумя точками, в которых его положение было зафиксировано координатами N_1 и N_2 , м;

t – интервал времени между координатами N_1 и N_2 , с;

V_{cp} – средняя скорость ТС в интервале между координатами N_1 и N_2 , м/с.

Принимая во внимание формулы 1 и 7, средняя скорость ТС в интервалах между N_1 и N_2 может быть рассчитана по формуле

$$V_{cp} = \frac{f \cdot S}{N_2 - N_1} \quad (8)$$

Величина ошибки, на которую истинное значение скорости ТС может отличаться от расчётного значения, обусловлена ошибками определения времени движения транспортного средства и пройденного им расстояния, которые определяются по формулам (6) и (4). Относительная ошибка определения скорости рассчитывается по формуле

$$\delta V = \delta S + \delta t \quad (9)$$

Использование для установления обстоятельств ДТП средней скорости имеет тот недостаток, что не учитываются колебания мгновенного значения скорости, которые на больших участках пути могут быть достаточно значительными. Это обстоятельство может повлечь под сомнение результаты исследования обстоятельств ДТП.

Измерить мгновенное значение скорости по видеозаписи чрезвычайно сложно, однако если представить скорость как функцию времени, значения которой определяются на множестве коротких отрезков пути, вид функции относительно точно можно восстановить путём интерполяции. Оптимальной будет такая интерполирующая функция, которая даёт минимальную величину средней ошибки аппроксимации.

Нахождение мгновенной скорости с помощью аппроксимации целесообразно рассмотреть на примере.

Предположим, для транспортного средства, начинающего движение от светофора, получены расчётные значения средней скорости, приведённые в таблице.

№ километра, фиксирующего положение ТС		Время движения на отрезке пути, с	Длина отрезка пути, м	Средняя скорость на отрезке пути, м/с
в начале отрезка пути	в конце отрезка пути			
1753	1798	1,5	7,0	4,67
1798	1813	0,5	7,0	14,00
1813	1824	0,4	7,0	19,09
1824	1834	0,3	7,0	21,00
1834	1842	0,3	7,0	26,25

Следует считать, что средняя скорость на отрезке пути равна мгновенной скорости в точке, соответствующей середине этого отрезка. Тогда, приняв за километр 1753 за момент начала движения, получаются следующие значения функции скорости:

Время от начала движения, с	Мгновенная скорость, м/с
0,75	4,67
1,75	14,00
2,18	19,09
2,53	21,00
2,83	26,25

Полученные значения функции скорости могут быть интерполированы методом наименьших квадратов. Наименьшая средняя ошибка аппроксимации достигается при интерполяции полученных значений функцией вида:

$$v(t) = 0,98 \cdot t^2 + 6,45 \cdot t - 0,22$$

Рассчитанные значения скорости и график аппроксимирующей функции показаны на графике (рис. 4):

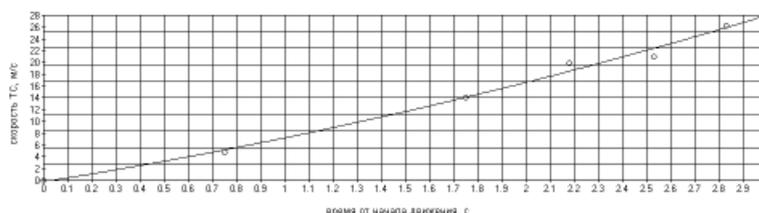


Рис. 4. Рассчитанные значения скорости ТС и график аппроксимирующей функции

Имея в распоряжении результаты аппроксимации, можно определить значение мгновенной скорости в любой точке кинематическим, так и аналитическим способом. Так, например, через 2 секунды от начала движения скорость ТС составит:

$$v(t) = 0,98 \cdot 4 + 6,45 \cdot 2 - 0,22 = 16,65 \text{ м/с}$$

Величина ошибки, на которую истинное значение скорости ТС может отличаться от значения, рассчитанного с использованием найденной аппроксимирующей функции, сопоставим со средней ошибкой аппроксимации и, соответственно, может быть приближённо рассчитано по формуле

$$\delta v = \frac{1}{n} \sum \frac{|v_i(t) - v(t)|}{v_i(t)} \quad (10)$$

где n – количество аппроксимируемых точек;

i – индекс, принимающий значения от 1 до n ;

$v_i(t)$ – значение скорости в точке i , рассчитанное по формуле (4);

$v(t)$ – значение аппроксимирующей функции (5) в той же точке.

Помимо скорости в некоторых случаях имеет значение замедление транспортного средства. Оно определяется как величина изменения скорости за единицу времени:

$$j = \frac{(v_2 - v_1)}{t} \quad (11)$$

В случае если значение начальной и конечной скорости усредняется по длительному интервалу, время, за которое произошло изменение скорости, и, соответственно, замедление, определяется с большой ошибкой.

Более достоверные результаты получаются, если определять среднее замедление (ускорение), используя значения мгновенной скорости, определённые по аппроксимирующей функции в требуемые моменты времени.

Мгновенное замедление (ускорение) для конкретного момента времени можно определить как тангенс угла наклона к аппроксимирующей функции.

Единственный случай, когда замедление можно определить с достаточной точностью без использования мгновенного значения скорости, это движение до полной остановки ТС. Если известно расстояние, пройденное ТС от некоторой точки до его остановки и время движения по данному участку пути, то замедление ТС вычисляется по формуле

$$j = \frac{2 \cdot S}{t^2} \quad (12)$$

Таким образом, определение скорости движения ТС на нескольких последовательных интервалах позволяет перейти от единичных значений скорости к закону её изменения во времени. Это позволяет аналитически вычислять значения параметров движения в произвольный момент времени и использовать не только интерполяцию, но и, в известных пределах, экстраполяцию полученных данных.

3 заключение

В настоящее время по известным методам решения основных задач исследования видеозаписей, предпринимается с целью выявления фактических сведений о событии ДТП.

Помимо указанных в ходе исследования видеозаписей могут решаться и другие, менее распространенные задачи, такие как определение режим работы осветительных приборов транспортных средств и светофорных объектов, диагностика неуправляемого движения ТС, диагностика технического состояния ТС.

Для решения этих и других задач требуется квалифицированный специалист, так и обширный практический опыт, который позволит выбрать и апробировать наиболее эффективные инструменты экспертного исследования.

Литература

1. Бублик Г.П. Оценка точности определения параметров состояний с помощью графических построений по фотоснимкам // Теория и методика судебно-почерковедческого и технического исследования документов: сб. науч. тр. – М.: ВНИИСЭ, 1988.

2. Бублик Г.П., Дороватовский Н.В. Возможность графического построения плана мест происшествия по фотоснимку // Экспертная практика и новые методы исследования. – М.: ВНИИСЭ, 1988. – Вып. 9.

3. Зюскин Н.М. Метрическая фотография. Фотографические и физические методы исследования вещественных доказательств. – М.: Госюриздат, 1962.

4. Кузнецов В.А., Ялунин Г.В. Основы метрологии: учеб. пособие. – М.: Издательство стандартов, 1995.

5. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: в 2 кн. – М.: Мир, 1982.

6. Герман Кругль. Профессиональное видеонаблюдение. Практика и технологии аналогового и цифрового CCTV. – М.: Секьюрити Фокус, 2010.