

УДК 623.4.018

DOI: 10.22213/2413-1172-2020-4-6-15

**Анализ аберраций и способов минимизации их влияния на результаты исследований быстропротекающих динамических процессов с использованием видеокамеры высокоскоростной съемки\***

**С. А. Писарев**, доктор технических наук, профессор, кандидат экономических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

**Д. В. Чирков**, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

**Е. А. Федорова**, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*Цифровая высокоскоростная видеосъемка является одним из наиболее современных технических средств при исследовании быстропротекающих динамических процессов. В области экспериментальной баллистики методы мгновенной фотографии и скоростной киносъемки используются достаточно давно и, как правило, являются инструментом для проведения качественных исследований. Цифровой формат фотографий позволяет использовать видеокамеру в совокупности с различными программами для обработки изображений в качестве измерительного комплекса, который с достаточной точностью определяет кинематические параметры, характеризующие движение исследуемого объекта. Несмотря на широкое применение скоростной видеосъемки для исследований быстропротекающих процессов, на сегодняшний день достаточно мало работ, связанных с исследованием погрешностей при проведении измерений с применением высокоскоростной видеосъемки.*

*В статье представлен исторический очерк использования методов фотографирования в экспериментальной баллистике ствольного оружия и приведены результаты качественного анализа оптических погрешностей и искажений (аббераций), возникающих при формировании изображений камерой высокоскоростной видеосъемки. На основе исследований влияния аббераций, возникающих при формировании изображений камерой высокоскоростной видеосъемки OLYMPUS i-SPEED 3 с использованием объективов с различным фокусным расстоянием, разработаны рекомендации применения ее при проведении кинематического и динамического анализов различных процессов и явлений.*

*В зависимости от скорости видеосъемки и применяемого объектива разработаны рекомендации по расположению объекта и области исследований поля объектива. Показано, что наряду с фокусным расстоянием объектива важным параметром является светосила, которая при высокой частоте видеосъемки должна быть не менее 1:1,5.*

**Ключевые слова:** высокоскоростная видеосъемка, абберации, быстропротекающие динамические процессы, стрелковое оружие, испытания.

**Введение**

**Н**а сегодняшний день во многих областях науки и техники при исследовании различных быстропротекающих процессов широкое применение получила цифровая высокоскоростная видеосъемка [1–4]. При разработке новых и модернизации существующих образцов стрелкового оружия цифровая высокоскоростная видеокамера превратилась в незаменимый инструмент, позволяющий не только визуализировать процессы работы механизмов, но и получать численные данные, например, об

элементах движения ведущего звена автоматики, движения пули или всего оружия.

В открытой печати известны работы, связанные с определением координат и скоростей протекания физических процессов, например, работы [5, 6]. При этом вопросам разработки научно обоснованных методик испытания стрелкового оружия с применением камеры высокоскоростной видеосъемки практически не уделялось какого-либо внимания. Так, не была произведена оценка и классификация погрешностей, возникающих при определении элементов движения

исследуемых объектов с применением камеры высокоскоростной видеосъемки, не выработаны рекомендации по выбору параметров съемки в зависимости от скорости протекания исследуемого процесса.

**Цель исследования** – анализ влияния оптических искажений (аббераций), возникающих при формировании видеокамерой изображений, и разработка рекомендаций для минимизации их влияния на исследуемый процесс.

#### **О применении методов фотографирования в баллистике ствольного оружия**

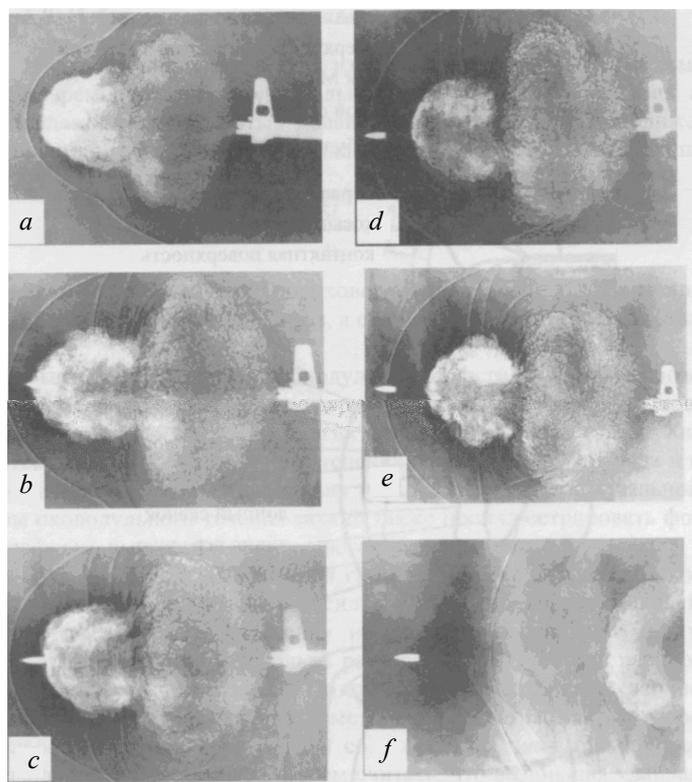
Согласно известному классическому труду по методам баллистических испытаний [7] фотографирование для получения данных о движении снаряда (пули) на некотором участке траектории стали применять с конца XIX века.

К середине XX века при исследовании баллистических процессов уже использовались две группы методов – мгновенная фотография и высокоскоростная киносъемка.

Под мгновенной фотографией подразумевается процесс получения изображения одной отдельной фазы изучаемого явления в какой-либо момент его развития.

Методы скоростной киносъемки позволяют изучать явление в процессе его развития во времени и обладают рядом преимуществ в сравнении с мгновенной фотографией. Однако с учетом уровня технологий того времени процесс высокоскоростной киносъемки являлся крайне сложным и дорогостоящим.

Методы фотографирования чаще всего использовались для качественного изучения явлений. Например, в учебнике Королева А. А. и Комочкова В. А. «Баллистика ракетного и ствольного оружия» (Волгоград, 2010) представлены фотографии периода последствия при выстреле из автомата АКМ. Данные фотографии были получены в 70-х годах XX века сотрудниками лаборатории автоматических машин, которая работала при кафедре «Стрелковое оружие» Ижевского механического института (ныне ИжГТУ имени М. Т. Калашникова). Примеры полученных фотографий представлены на рис. 1. Эти данные позволили выявить основные этапы распространения ударных волн при выстреле и разработать методы оценки избыточного звукового давления, воздействующего на стрелка при выстреле.



*Рис. 1.* Развитие околоствольного течения пороховых газов при выстреле из автомата АКМ: *a, b* – начальная стадия развития вторичного поля течения; *c, d* – промежуточная стадия развития вторичного поля течения; *e, f* – основная стадия развития вторичного поля течения

*Fig. 1.* Development of a near-core flow of powder gases when fired from an AKM machine gun: *a, b* - the initial stage of the secondary flow field development; *c, d* - intermediate stage of secondary flow field development, *e, f* - main stage of secondary flow field development

С появлением электронных способов получения изображений и развития цифровых технологий появилась цифровая фото- и видеосъемка. Она во многом упростила методы фотографирования и сделала их более доступными [8]. Современное цифровое оборудование позволяет производить видеосъемку с частотой более 1 000 000 кадров в секунду. Высокоскоростная видеосъемка с использованием специальных средств начала и остановки съемки стали незаменимым инструментарием, позволяющим проводить не только качественную, но и количественную оценку при исследованиях быстропротекающих процессов.

#### Анализ оптических погрешностей и искажений, возникающих при формировании фотографических изображений

Цифровые изображения (или снимки) имеют различные искажения, зависящие от применяемого видеоборудования, в том числе и оптических систем (объективов).

Все оптические системы обладают оптическими погрешностями, или абберациями (Волосов Д. С. Фотографическая оптика. М.: Искусство, 1978). Под абберацией оптической системы подразумевается ошибка или погрешность изображения, вызываемая отклонением луча от того направления, по которому он должен идти в идеальной оптической системе.

Для монохроматических изображений абберации подразделяются на следующие виды: сферическая, кома (коматическая абберация), астигматизм, кривизна поля и дисторсия.

Для хроматических изображений характерны: хроматическая абберация положения, увеличения и хроматическая разность сферических аббераций.

Несмотря на то, что при формировании хроматических изображений количество искажений меньше, монохроматическая видеосъемка обладает рядом достоинств. Во-первых, сенсор монохромной съемки более светочувствителен [9] и требует меньшей освещенности исследуемого объекта, что является важным при больших скоростях видеосъемки. Во-вторых, при цифровой обработке хроматических изображений процесс более трудоемкий, так как сенсор несет информацию о трех цветах вместо одного. Поэтому для исследований, не требующих анализировать цветовые характеристики объекта или процесса, целесообразнее использовать камеры высокоскоростной видеосъемки, формирующие монохроматические изображения.

Рассмотрим более подробно абберации, возникающие при монохромной видеосъемке.

1. Кома, или коматическая абберация, – явление, видимое на периферии изображения, которое вызывает сведение световых лучей, поступающих на край объектива под каким-то углом, в форме кометы, а не в форме желаемой точки. На рис. 2 представлен пример образования коматической абберации.

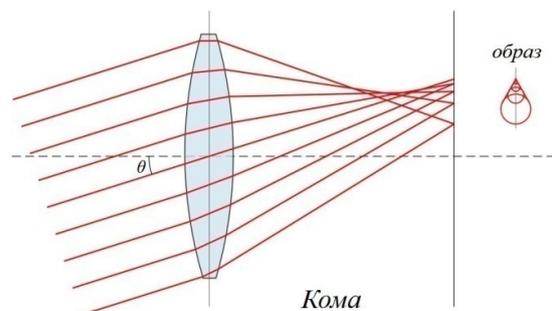


Рис. 2. Пример комы, или коматической абберации

Fig. 2. Example of Coma or Comatic Aberration

2. Сферическая абберация приводит к тому, что точка объекта, расположенная вне оптической оси, проявится не как точка в изображении, а как затемнение или линия. Пример образования сферической абберации представлен на рис. 3.

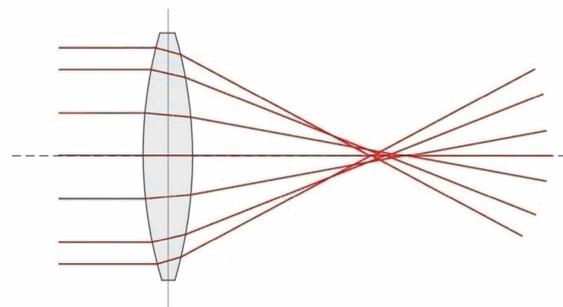


Рис. 3. Пример сферической абберации

Fig. 3. An example of spherical aberration

3. Кривизна поля изображения – это явление, ведущее к тому, что плоскость образования изображения становится изогнутой, как внутренняя часть мелкой чаши, мешая объективу сформировать плоское изображение для плоского исследуемого объекта. Пример образования кривизны поля представлен на рис. 4.

4. На рис. 5 представлен пример дисторсии – это такой тип абберации, при котором прямые линии плоского объекта становятся кривыми (бочкообразными) на изображении.

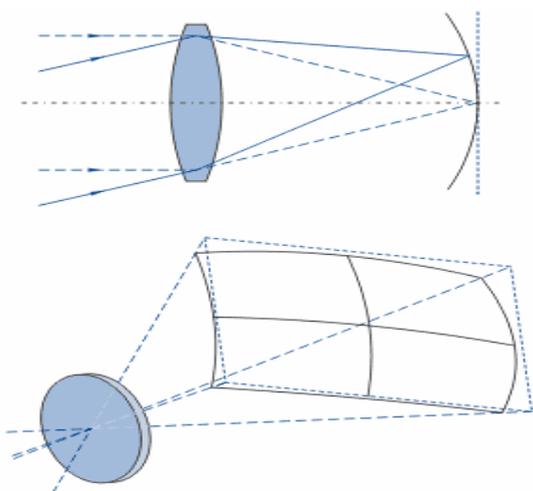


Рис. 4. Пример кривизны поля

Fig. 4. An example of field curvature

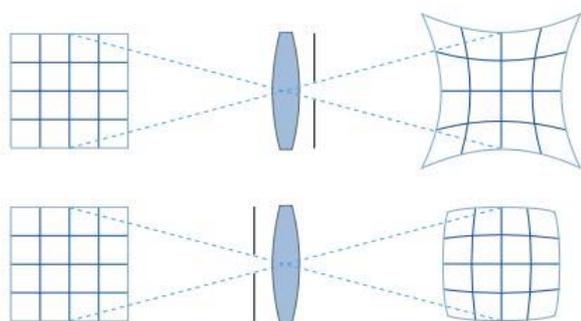


Рис. 5. Пример дисторсии

Fig. 5. Example of distortion

**Экспериментальная оценка aberrаций, возникающих при формировании изображений камерой высокоскоростной видеосъемки OLYMPUS i-SPEED 3**

В работе [10] представлена методика оценки aberrаций изображений, получаемых при использовании различных цифровых фотоаппаратов. В соответствии с методикой производится снимок некоторой масштабной сетки с известными размерами. Далее изображение масштабируется и накладывается на сетку, прочерченную в том или ином графическом редакторе (далее – эталонная сетка). По отклонениям изображения масштабной сетки от эталонной производится оценка наличия тех или иных aberrаций.

Аналогичные исследования были проведены для камеры высокоскоростной видеосъемки OLYMPUS i-SPEED 3, формирующей монохроматические изображения. Исследования проводились при разной частоте видеосъемки с использованием объективов фирмы Nikon (линей-

ки Nikkor) с различным фокусным расстоянием – 28, 50 и 85 мм.

При использовании каждого объектива производилась видеосъемка со скоростью 5000, 10 000, 30 000, 50 000, 100 000 и 150 000 кадров/с.

При увеличении частоты съемки уменьшается начальный угол обзора объектива и качество изображений. В таблице 1 представлена зависимость разрешения изображений от частоты видеосъемки.

**Таблица 1. Изменение разрешения изображений, получаемых при использовании камеры OLYMPUS i-SPEED 3, в зависимости от увеличения скорости съемки**

**Table 1. Changing the resolution of images obtained using the OLYMPUS i-SPEED 3 camera, depending on the increase in the shooting speed**

Скорость видеосъемки, кадров/с	Разрешение, пиксели
5 000	804×600
10 000	540×404
30 000	264×196
50 000	180×132
100 000	108×80
150 000	72×52

Видеосъемка масштабной сетки производилась с расстояния 2 м. Камера устанавливалась перпендикулярно плоскости расположения масштабной сетки. В ходе работы использовались 2 осветительных прибора Digital Pro X 1200 мощностью 1200 Вт каждый.

**Результаты анализа aberrаций, полученных при видеосъемке с применением объектива с фокусным расстоянием 28 мм**

Данный объектив относится к классу широкоугольных объективов, т. е. обладающих углом обзора больше 60 град.

Пример полученных изображений при скорости съемки 5000 кадров/с представлен на рис. 6. Из рисунка следует, что центральная область снимка имеет только сферическую aberrацию и проявляется в виде размытых границ. Данное искажение является остаточным, т. е. неустранимым.

Дисторсия (совместно с кривизной поля) проявляется на краевых областях полученного изображения (см. рис. 6) и отображается как несовпадение вертикальных и горизонтальных линий масштабной сетки с эталонными. Как следует из представленного рисунка, несовпадение может достигать величины более 2 мм.

С увеличением частоты видеосъемки более 30 000 кадров/с угол обзора уменьшается, и дисторсия перестает оказывать значимое влияние. При этом качество изображений при видео-

съемке со скоростью более 30 000 кадров/с является неприемлемым, что связано с низкой светосилой используемого объектива. Примеры полученных изображений представлены на рис. 7.

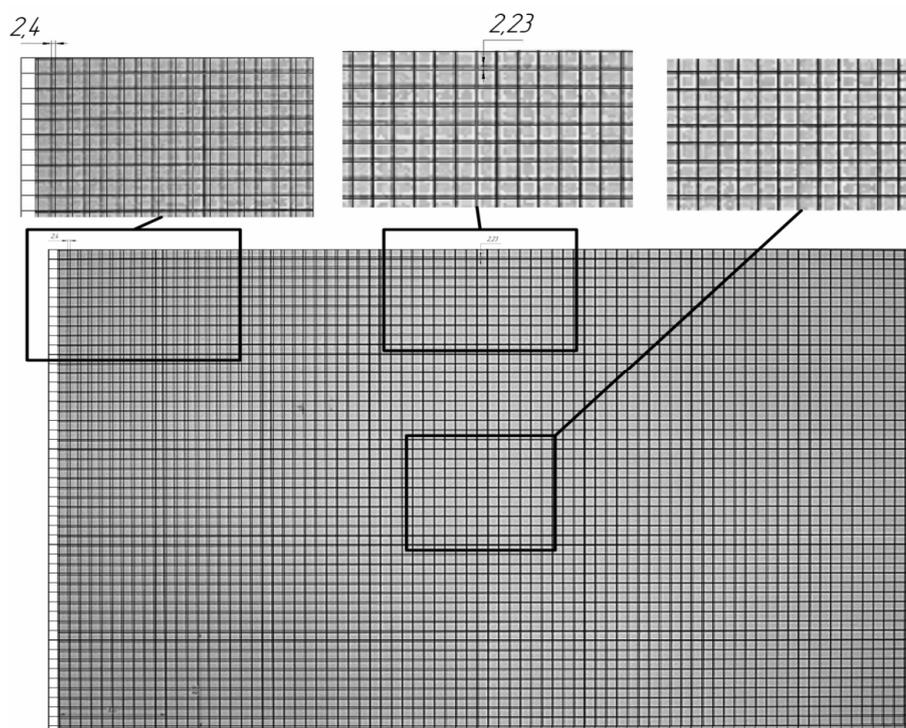


Рис. 6. Изображение, полученное объективом 28 мм при скорости съемки 5000 кадров/с, наложенное на эталонную сетку

Fig. 6. Image captured with a 28 mm lens at 5000 fps, overlaid on a reference grid

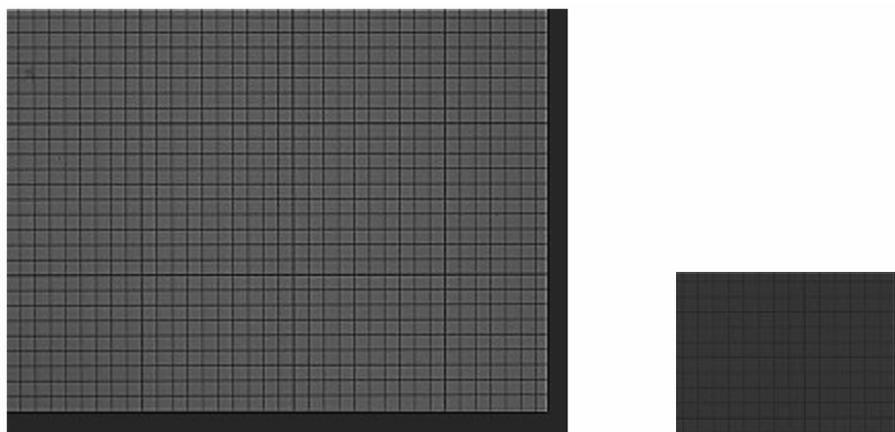


Рис. 7. Изображение, полученное объективом 28 мм при скорости съемки 30 000 (слева) и 100 000 (справа) кадров/с

Fig. 7. Image taken with a 28 mm lens at a shooting speed of 30 000 (left) and 100 000 (right) fps

Повысить качество изображений можно при увеличении освещенности объекта либо при использовании объективов со светосилой  $\varepsilon < 1:1,5$  (Волосов Д. С. Фотографическая оптика. С. 311).

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что использование объек-

тива с фокусным расстоянием 28 мм при исследованиях быстропротекающих динамических процессов возможно при соблюдении следующих рекомендаций.

1. При проведении исследований с частотой видеосъемки до 30 000 кадров/с исследуемый

объект должен располагаться в центральной части снимка в области не более 50 % от всего изображения.

2. При проведении исследований с частотой видеосъемки свыше 30 000 кадров/с необходимо либо использовать светосильные объективы, либо обеспечить достаточную освещенность.

**Результаты анализа аберраций, полученных при видеосъемке с применением объектива с фокусным расстоянием 50 мм**

Данный объектив относится к типу нормальных объективов и имеет угол съемки до 60 град. На рис. 8–10 представлены полученные изображения с частотой съемки 5000, 10 000 и 30 000 кадров/с соответственно.

На рис. 8 и 9 на перифериях изображения наблюдаются наибольшие искажения, вызванные кривизной поля. Отклонения масштабной сетки изображения от эталонной получились более 1 мм.

Из рис. 10 следует, что при скорости съемки 30 000 кадров/с кривизна поля практически перестает оказывать влияние на формирование изображений, что связано с уменьшением угла обзора.

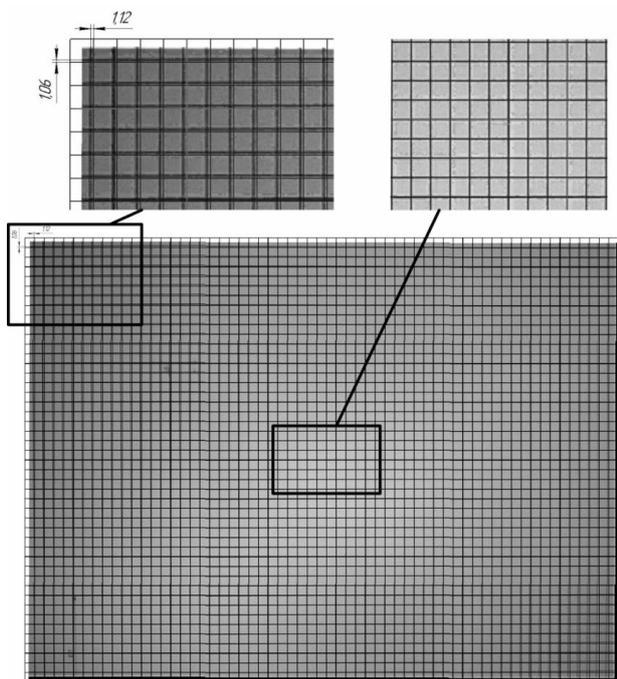


Рис. 8. Изображение, полученное объективом 50 мм при скорости съемки 5000 кадров/с, наложенное на эталонную сетку

Fig. 8. The image obtained with a 50 mm lens at a shooting speed of 5000 fps, superimposed on a reference grid

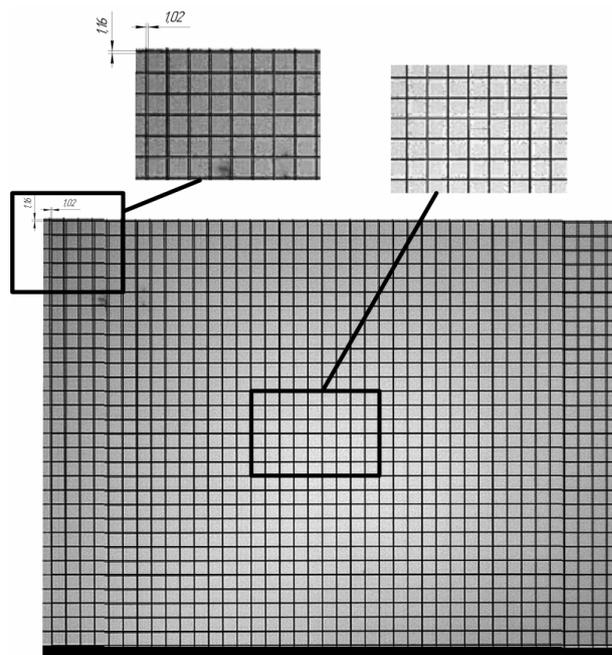


Рис. 9. Изображение, полученное объективом 50 мм при скорости съемки 10 000 кадров/с, наложенное на эталонную сетку

Fig. 9. An image obtained with a 50 mm lens at a shooting speed of 10 000 fps, superimposed on a reference grid

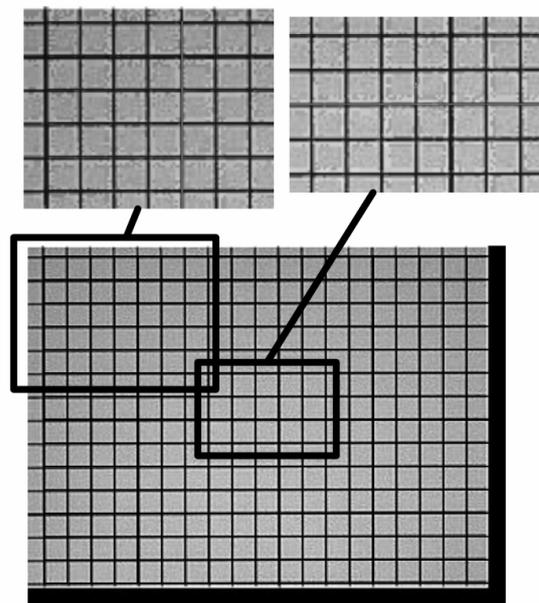


Рис. 10. Изображение, полученное объективом 50 мм при скорости съемки 30 000 кадров/с, наложенное на эталонную сетку

Fig. 10. Image taken with a 50 mm lens at a shooting speed of 30 000 fps, superimposed on a reference grid

Таким образом, при исследованиях быстропротекающих динамических процессов со скоростью видеосъемки до 30 000 кадров/с и с ис-

пользованием объектива с фокусным расстоянием 50 мм необходимо, чтобы объект находился в центральной области снимка (не более 80 % от всего размера изображения).

**Результаты анализа аберраций, полученных при видеосъемке с применением объектива с фокусным расстоянием 85 мм**

Данный объектив также относится к нормальным объективам, отличаясь от объектива с фокусным расстоянием 50 мм тем, что имеет меньший угол обзора. Сделанные выводы при использовании объектива с фокусным расстоянием 85 мм в целом аналогичны предыдущему случаю.

На рис. 11–13 представлены изображения, сформированные данным объективом при скоростях съемки 5000, 30 000 и 100 000 кадров/с.

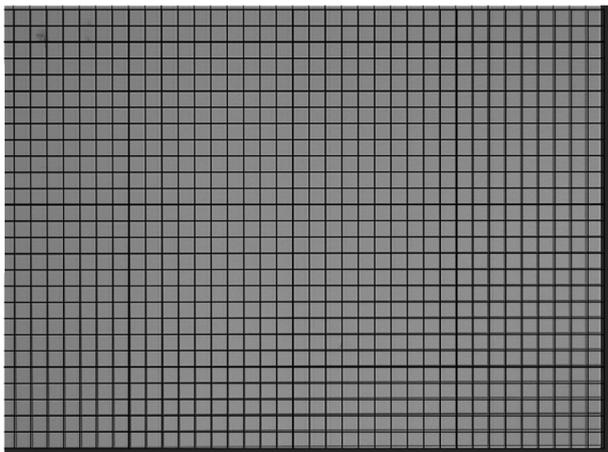


Рис. 11. Изображения, полученные объективом 85 мм при скорости съемки 5000 кадров/с, наложенные на эталонную сетку

Fig. 11. Images taken with an 85 mm lens at 5000 fps, superimposed on a reference grid

Из рис. 11 следует, что по краям изображения также имеются отклонения масштабной сетки от эталонной, но величина их несколько меньше, чем при использовании объектива с фокусным расстоянием 50 мм.

При частоте съемки свыше 30 000 кадров/с влияние кривизны поля на формирование изображений практически исчезает.

В целом объективы с фокусными расстояниями 50 и 85 мм являются равнозначными с позиции обеспечения качества изображений, но меньшая область съемки серьезно ограничивает применение объектива с фокусным расстоянием 85 мм. На рис. 14 для сравнения в одинаковом масштабе представлены изобра-

жения, полученные при частоте съемки 10 000 кадров/с объективами 50 и 85 мм. Из рисунка следует, что область съемки при использовании объектива с фокусным расстоянием 85 мм практически в 1,7 раза меньше в сравнении с объективом 50 мм.

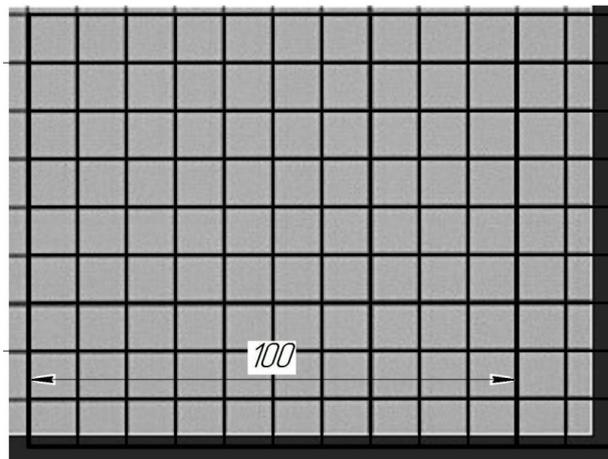


Рис. 12. Изображения, полученные объективом 85 мм при скорости съемки 30 000 кадров/с, наложенные на эталонную сетку

Fig. 12. Images taken with an 85 mm lens at 30 000 fps, superimposed on a reference grid

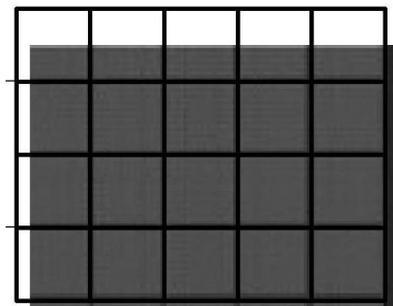


Рис. 13. Изображения, полученные объективом 85 мм при скорости съемки 100 000 кадров/с, наложенные на эталонную сетку

Fig. 13. Images taken with an 85 mm lens at 100 000 fps, superimposed on a reference grid

### Выводы

Из представленных результатов следует, что несмотря на современные технологии производства объективов, фотографические изображения в любом случае обладают остаточными аберрациями. Влияние их на результаты исследований быстропротекающих динамических процессов можно уменьшить, придерживаясь рекомендаций, изложенных в данной статье.

Общие принципы влияния аберраций будут распространяться и при использовании камер высокоскоростной видеосъемки и объективов

других производителей, но сделанные численные выводы относительно частоты видеосъема-

ки, расположения объекта исследований в поле объектива могут несколько отличаться.

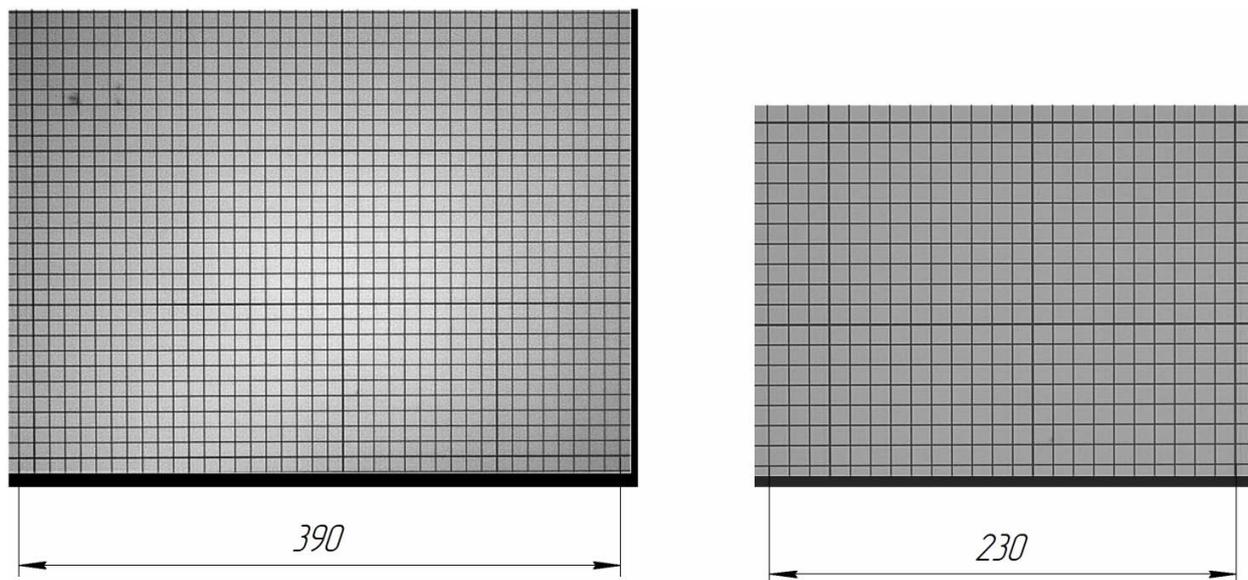


Рис. 14. Изображения, полученные при видеосъемке с частотой 10 000 кадров/с при использовании объективов с фокусными расстояниями 50 мм (слева) и 85 мм (справа)

Fig. 14. Images captured during video shooting at 10 000 fps using lenses with focal lengths of 50 mm (left) and 85 mm (right)

По результатам работы можно сформулировать следующие принципы применения высокоскоростной видеосъемки при исследованиях быстротекущих динамических процессов.

1. При видеосъемке на большой частоте целесообразно применять объективы со светосилой  $\varepsilon < 1:1,5$  (в соответствии с принятой классификацией объективов).

2. При использовании широкоугольных объективов необходимо стремиться к тому, чтобы исследуемый объект располагался в средней области получаемых изображений, так как в противном случае аберрации могут привести к большим численным погрешностям при определении динамических характеристик движения объекта.

3. Наиболее рационально при проведении исследований динамических процессов с применением камеры высокоскоростной видеосъемки использовать объектив с фокусным расстоянием 50 мм.

4. Производить масштабирование изображения необходимо по наибольшей шкале, что позволяет уменьшить ошибку масштабирования.

Следуя указанным выше рекомендациям, можно минимизировать влияние аберраций на результаты исследований быстротекущих динамических процессов с применением камеры высокоскоростной видеосъемки.

#### Библиографические ссылки

1. Еськов А. В., Кирюшин И. И. Использование высокоскоростной цифровой камеры для изучения динамики длины струи распыленного топлива // Вестник Югорского государственного университета. 2014. Вып. 2 (33). С. 29–31.
2. Расчетно-экспериментальное исследование работоспособности скоростной видеокамеры, установленной на ракетном поезде / С. И. Герасимов, В. И. Ерофеев, В. А. Кикеев, О. В. Кривошеев, В. И. Костин, И. А. Одзерихо, Р. В. Герасимова, А. А. Глухов, В. В. Писецкий // Вестник Национального исследовательского ядерного университета МИФИ. 2020. Т. 9, № 1. С. 11–15.
3. Ефимов И. В., Степанов П. П., Сорокин А. Е. Исследование процесса высокочастотной сварки труб с применением скоростной съемки // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2020. № 1. С. 12–20. ISSN 1997-9258.
4. Грузин А. В., Грузин В. В., Кучеренко М. В. Расчет параметров оборудования для скоростной видеосъемки ударного воздействия модели на грунт // Омский научный вестник. 2011. № 1 (97). С. 80–83.
5. Шеховцов Г. А., Жилина Н. Д., Раскаткина О. В. Бесконтактный метод определения непрямолинейности подкрановых рельсов мостовых кранов путем обработки фотоизображений // Программные системы и вычислительные методы. 2019. № 4. DOI: 10.7256/2454-0714.2019.4.3111.
6. Разработка методики определения скоростей движения боеприпасов на начальном участке траектории и у цели с использованием скоростной видео-

сьемки / В. С. Еловигов [и др.] // Наука. Промышленность. Оборона. 2016. С. 52–56.

7. Шкворников П. Н., Платонов Н. М. Экспериментальная баллистика. М. : Оборонгиз, 1953. 391 с.

8. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений : монография. Изд. 3-е, испр. и доп. М. : Техносфера, 2012. 1104 с. (Мир цифровой обработки). ISBN 978-5-94836-331-8.

9. Еришов К. Г. Киносъемочная техника. Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. 272 с. : ил. ISBN 5-217-00276-0.

10. Дамдинова Т. Ц. Способы формирования цифровых изображений и анализ их погрешностей // Вопросы кибербезопасности. 2014. № 5 (8). С. 43–46.

### References

1. Es'kov A.V., Kiryushin I.I. [Using a high-speed digital camera to study the dynamics of the length of the sprayed fuel]. *Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014, vol. 2, pp. 29-31 (in Russ.).

2. Gerasimov S.I., Erofeev V.I., Kikeev V.A., Krivosheev O.V., Kostin V.I., Odzericho I.A., Gerasimova R.V., Glukhov A.A., Pisetsky V.V. [Computational and experimental study of the performance of a high-speed video camera installed on a rocket train]. *Vestnik Natsional'nogo issledovatel'skogo yadernogo universiteta MIFI*, 2020, vol. 9, no. 1, pp. 11-15 (in Russ.).

3. Efimov I.V., Stepanov P.P., Sorokin A.E. [Investigation of the process of high-frequency pipe welding using high-speed shooting]. *Problemy cherno metallur-*

*gii i materialovedeniya*, 2020, no. 1, pp. 12-20 (in Russ.). ISSN 1997-9258.

4. Gruzin A.V., Gruzin V.V., Kucherenko M.V. [Calculation of the parameters of equipment for high-speed video recording of the impact of the model on the ground]. *Omskii nauchnyi vestnik*, 2011, no. 1, pp. 80-83 (in Russ.).

5. Shekhovtsov G.A., Zhilina N.D., Raskatkina O.V. [Non-contact method for determining the non-straightness of crane rails of overhead cranes by processing photographic images]. *Programmnye sistemy i vychislitel'nye metody*, 2019, no. 4 (in Russ.). DOI: 10.7256/2454-0714.2019.4.3111.

6. Elovikov V.S. [Development of a methodology for determining the speed of movement of ammunition at the initial section of the trajectory and at the target using high-speed video]. *Nauka. Promyshlennost'. Oborona*, 2016, pp. 52-56 (in Russ.).

7. Shkvornikov P.N., Platonov N.M. *Ekspериментальная баллистика* [Experimental ballistics]. Moscow, Oborongiz Publ., 1953, 391 p. (in Russ.)

8. Gonsales R., Vuds R. *Tsifrovaya obrabotka izobrazhenii* [Digital imaging]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2012, 1104 p. (in Russ.). ISBN 978-5-94836-331-8.

9. Ershov K.G. *Kinos'emochnaya tekhnika* [Filming equipment]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1988, 272 p. (in Russ.). ISBN 5-217-00276-0.

10. Damdinova T.C. [Ways of forming digital images and analysis of their errors. methods of digital images creation and analysis of their aberrations]. *Voprosy kiberbezopasnosti*, 2014, no. 5, pp. 43-46 (in Russ.).

### About the Influence of Optical Distortions in the Research of Quick Flowing Dynamic Processes Using a High-Speed Video Camera

S.A. Pisarev, DSc in Engineering, Professor, PhD in Economics, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

D.V. Chirckov, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

E.A. Fedorova, Post-graduate, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*Digital high-speed video filming is one of the most modern technical means for studying fast dynamic processes. In the field of experimental ballistics, the methods of instant photography and high-speed filming have been used for a long time, and, as a rule, they are the tool for conducting qualitative research. The digital format of photographs made it possible to use a video camera in conjunction with various image processing programs as a measuring complex, making it possible to determine the kinematic parameters characterizing the object's movement under study with sufficient accuracy. Despite the widespread use of high-speed video recording for the survey of fast-flowing processes, today, there are few works related to the study of errors when making changes using high-speed video recording.*

*The paper presents a historical outline of using the photography method in experimental ballistics of barrel weapons. It gives the results of a qualitative analysis of optical errors and distortions (aberrations) from the formation of images by a high-speed video camera. Based on studies of the effect of aberrations arising from the formation of images by a high-speed video camera OLYMPUS i-SPEED 3 using lenses with different focal lengths, recommendations for its application have been developed for carrying out kinematic and dynamic analysis of various processes and phenomena.*

*Depending on the speed of video recording and lens used, recommendations have been developed for the object's location and the area of research of the lens field. It is shown that, along with the lens's focal length, an important parameter is the aperture ratio, which should be at least 1: 1.5 at a high frequency of video recording.*

**Keywords:** high-speed video recording, aberrations, fast dynamic processes, small arms, tests.

Получено 09.09.2020

**Образец цитирования**

Писарев С. А., Чирков Д. В., Федорова Е. А. Анализ aberrаций и способов минимизации их влияния на результаты исследований быстропротекающих динамических процессов с использованием видеокамеры высокоскоростной съемки // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 4. С. 6–15. DOI: 10.22213/2413-1172-2020-4-6-15.

**For Citation**

Pisarev S.A., Chirckov D.V., Fedorova E.A. [About the Influence of Optical Distortions in the Research of Quick Flowing Dynamic Processes Using a High-Speed Video Camera]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2020, vol. 23, no. 4, pp. 6-15 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2020-4-6-15.