

УДК 621.397.01

А.К. Мовчан, В.В. Капустин, М.И. Курячий, Е.С. Чалдина

## Методы и алгоритмы прецизионного измерения дальности активно-импульсными телевизионными измерительными системами

Рассматриваются методы измерения дальности до объектов с использованием активно-импульсных телевизионных измерительных систем. Рассмотренные методы в большей степени основаны на обработке видеок кадров, полученных с использованием активно-импульсных систем, при этом методы различаются как по количеству используемых в обработке видеок кадров, так и по методам их обработки. Помимо методов обработки видеок кадров, некоторые их реализации включают в себя новые алгоритмы формирования сигналов для получения изображений в активно-импульсных телевизионных измерительных системах. Также представлены результаты моделирования двухзонного и многозонного методов измерения дальности и произведена экспериментальная оценка их точности.

**Ключевые слова:** активная зона видения, моделирование, обработка видеок кадров, электронно-оптический преобразователь, стробируемый прием, развертка по дальности.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-2-7-14

Дистанционное измерение дальности является важной и практически значимой проблемой в современных технологиях позиционирования объектов в пространстве. Для решения подобных задач применяются различные методы и средства, которые позволяют определять расстояние до наблюдаемого объекта в заданных условиях с требуемой точностью.

Зная дистанцию до наблюдаемого объекта в каждой точке его плоского изображения, можно формировать его трехмерную модель, при помощи которой возможно определение таких параметров объекта, как линейные размеры и его скорость перемещения в пространстве.

В связи с решением ряда конкретных задач большое внимание уделяется разработке систем, использующих активный метод определения дистанции до объектов. К таким системам относятся активно-импульсные телевизионные измерительные системы (АИ ТИС), обычно применяющиеся для обнаружения и распознавания объектов в сложных условиях видения (СУВ) благодаря возможности подавления помехи обратного рассеяния [1]. Также за счет своих конструктивных особенностей и принципов работы АИ ТИС позволяют определять дистанцию до наблюдаемых объектов [2]. Видеосистемы, работа которых основана на стробировании во времени источника оптического излучения и фотоприемного устройства, имеют широкое применение в различных областях промышленности. К примеру, такие системы, основанные на стробировании, могут быть использованы для навигации транспортных средств в СУВ. Они могут обнаружить опасность на дороге раньше водителя и меньше подвержены влиянию условий освещения, неблагоприятной погоды или других активных систем, используемых в автомобилях [3, 4].

Подсвет пространства короткими оптическими импульсами, а также стробируемый прием отраженного оптического сигнала спустя заданное время

являются основным принципом работы АИ ТИС. Формирование импульсов управления оптическим излучателем и фотоприемным устройством реализуют блоки управления и стробирования. В качестве источника оптических импульсов выступает импульсный лазерный полупроводниковый излучатель (ИЛПИ), работающий в ИК-диапазоне, а для импульсного приема отраженного оптического сигнала используется электронно-оптический преобразователь (ЭОП) [5]. Известны другие конструктивные решения, основанные на работе активно-импульсного прибора без использования ЭОП с применением ПЗС-фотоприемника [6]. Данная технология позволяет улучшить массогабаритные параметры устройства и качество получаемых изображений [7], но при этом обладает меньшей чувствительностью, чем системы с использованием ЭОП.

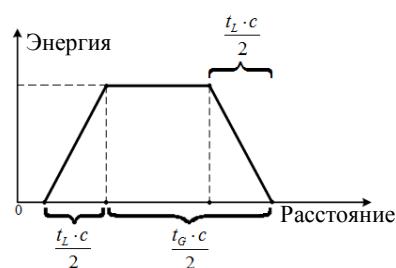


Рис. 1. Форма АЗВ для прямоугольных импульсов подсвета и стробирования ЭОП при  $t_L < t_G$

В основе способов определения дальности с помощью АИ ТИС используется определение активной зоны видения (АЗВ), представляющей собой видимую с помощью АИ ТИС область пространства. На рис. 1 представлена форма АЗВ, показывающая распределение энергии в зависимости от расстояния наблюдения и прозрачности среды, в которой распространяется излучение при прямоугольных импульсах подсвета и стробирования фотоприемника [8]. При этом АЗВ имеет характерные участки,

определяемые длительностью импульса подсвета  $t_L$  и длительностью импульса стробирования ЭОП  $t_G$ .

#### Методы определения дальности в АИ ТИС

Существуют различные методы определения расстояний, реализуемые активно-импульсными приборами. Одним из них является двухзонный метод измерения дальности (ДМИД), принцип измерения расстояния в котором основан на использовании двух АЗВ, сдвинутых по задержке стробирования на время длительности импульса подсвета. Причем в таком методе для получения линейной зависимости энергии от расстояния предполагается использование прямоугольных импульсов подсвета и стробирования фотоприемника одинаковой длительности, которые позволяют по нормированной разности амплитуд в первой и второй АЗВ измерить дальности до объектов наблюдения в поле зрения прибора.

С целью повышения точности измерения дальности двухзонным методом и возможности использования твердотельных лазеров с малыми длительностями оптических импульсов возможно выполнение внутрикадровой интеграции экспозиций фотоприемника для изменения формы измерительной АЗВ, как представлено в работе [9].

В известных методах определения расстояний с помощью АИ ТИС при использовании характерных точек или измерении калибровочных постоянных в [10] проводится исключительно с идеальными прямоугольными импульсами подсвета и стробирования ЭОП, что не учитывает погрешность измерения дистанции вследствие невозможности реализации таких импульсов на практике.

Известен способ измерения расстояний с использованием двухзонного метода путем нахождения отношения изображения второй зоны к сумме изображений первой и второй зон [11]. В [12] представлены два метода обработки изображений в лидарных системах, которые могут реконструировать трехмерную сцену из двух изображений.

Двухзонный метод измерения дальности имеет невысокую точность (из-за практической сложности реализации прямоугольных импульсов малой длительности), а также ограниченный динамический диапазон измерения дальности. При этом чем больше длительности импульсов подсвета и стробирования фотоприемника, тем больше диапазон измерения дальности, но в этом случае наблюдается существенно нелинейная взаимосвязь измеренных уровней видеосигнала со значениями дальности до объектов.

Многозонный метод определения дальности (ММИД) предполагает интеграцию экспозиций фотоприемного устройства, что позволяет в широких пределах регулировать динамический диапазон определения расстояний без изменения длительности импульса подсвета.

Метод многоимпульсной подсветки искусственного космического объекта, основанный на использовании матрицы прибора с зарядовой связью в режиме сверхмалого времени накопления, представлен в [13]. Метод дает возможность оперативно-

го высокоточного измерения углового разрешения (0,25 угл. мин), дальности до цели (100–2000 м) и построения «карты глубины» пространства. Моделирование показало, что погрешность измерений на малых дистанциях не превышает 20 мм, а на дистанции 2 000 м не превышает 160 мм.

Применение технологии трехмерной визуализации с помощью flash-лидаров используется для выполнения миссий НАСА [14]. Для реализации данной технологии требуется большая частота излучения лазерных импульсов, чтобы покрыть область, в которой находится наблюдаемый объект, и создать изображение с достаточным разрешением. К недостаткам технологии можно отнести низкое разрешение по глубине, связанное с длительностью излучаемого импульса, и высокую мощность источника лазерного излучения. Однако это решение является перспективным для построения системы трехмерной визуализации [15].

Многозонный метод может эффективно использоваться на разных типах фотоприемников. Линейная зависимость энергии от расстояния может быть также получена при использовании модуляции амплитуды импульса стробирования фотоприемника.

Преимуществом данного метода является больший (относительно двухзонного метода) динамический диапазон измерения расстояний, который будет зависеть от длительности импульса стробирования фотоприемника.

Далее будет проведен сравнительный анализ моделей двухзонного и многозонного методов.

#### Моделирование двухзонного и многозонного методов определения дальности в АИ ТИС. Двухзонный метод

Моделирование ДМИД предполагает первым этапом формирование характерных АЗВ, получаемых путем свертки формы оптического импульса источника подсвета с формой управляющего напряжения оптического затвора фотоприемника. Получение АЗВ можно представить в виде выражения

$$X_m = \sum_{k=1}^N L_k G_{m+k}, \quad (1)$$

где  $X_m$  – отсчеты АЗВ,  $N$  – число отсчетов формы оптического импульса,  $L_k$  – отсчеты формы оптического импульса,  $G_m$  – отсчеты формы управляющего напряжения оптического затвора фотоприемника.

Моделирование ДМИД проводилось для двух форм АЗВ, соответствующих сверткам идеализированной и квазиреальной форм оптических импульсов.

При этом задержка стробирования первой АЗВ составила 40 нс, а второй – 140 нс. Длительности оптического импульса и импульса напряжения оптического затвора фотоприемника составляли 100 нс.

Идеализированный оптический импульс представляет собой прямоугольный импульс заданной длительности с бесконечно коротким временем нарастания и спада. Модели АЗВ при идеализированных прямоугольных импульсах подсвета и стробирования ЭОП представлены на рис. 2.

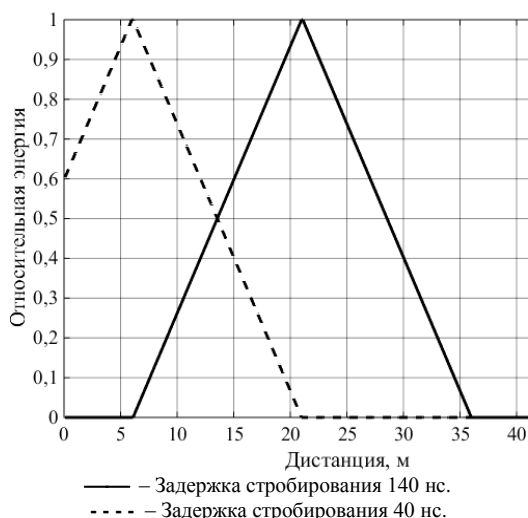


Рис. 2. Модели АЗВ при идеализированных прямоугольных импульсах подсвета и стробирования ЭОП

Квазиреальный импульс представляет собой модель реального оптического импульса решетки лазерных диодов Л-13, форма импульса представлена на рис. 3.

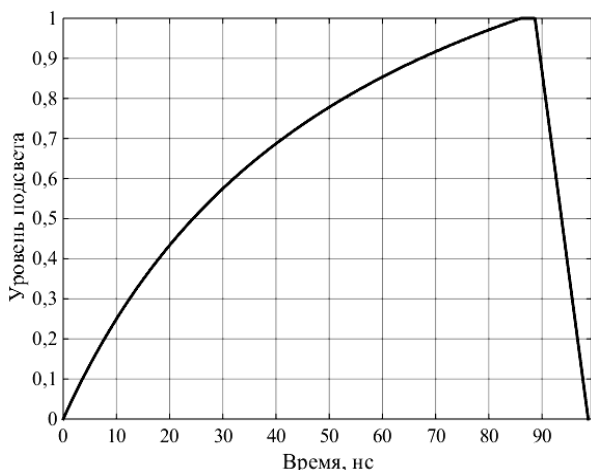


Рис. 3. Форма квазиреального импульса подсвета

На рис. 4 представлены модели АЗВ при квазиреальных импульсах подсвета и стробирования ЭОП.

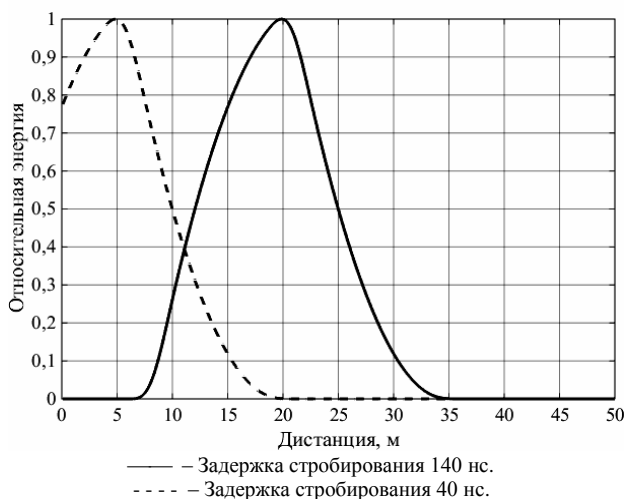


Рис. 4. Модели АЗВ при квазиреальных импульсах подсвета и стробирования ЭОП

Формирование кривой развертки по дальности, описывающей распределение энергии в зависимости от расстояния до предполагаемого объекта наблюдения, происходит путем взвешивания энергий пересекающихся участков двух смещенных АЗВ и описывается следующим выражением:

$$Y_n = \frac{X_{2n}}{X_{2n} + X_{1n}} \cdot \frac{1}{2} \cdot c \cdot (\tau_L + \tau_{D_{x1}}), \quad (2)$$

где  $Y_n$  – отсчеты кривой развертки по дальности;  $X_{1n}$  – отсчеты заднего фронта первой АЗВ;  $X_{2n}$  – отсчеты переднего фронта второй АЗВ;  $c$  – скорость света;  $\tau_L$  – длительность оптического импульса;  $\tau_{D_{x1}}$  – длительность задержки стробирования первой АЗВ.

Полученные в результате моделирования ДМИД кривые развертки по дальности представлены на рис. 5.

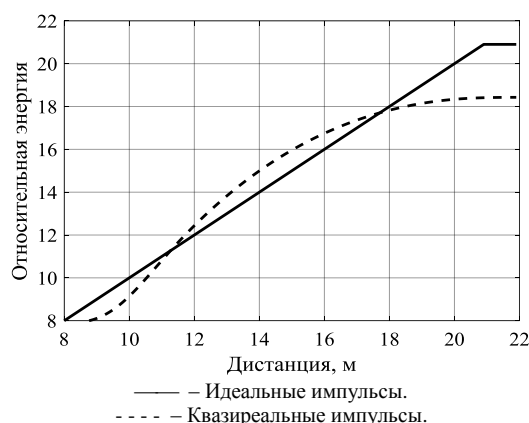


Рис. 5. Графики кривых развертки по дальности при идеальных и квазиреальных импульсах подсвета и стробирования ЭОП

Оценка потенциальной точности определения дальности по ДМИД выполняется путем вычисления разности между линейной кривой развертки по дальности для модели с идеальными управляющими импульсами и аналогичной кривой из модели с квазиреальными управляющими импульсами. Полученный в результате график ошибки линейности кривой развертки по дальности представлен на рис. 6.

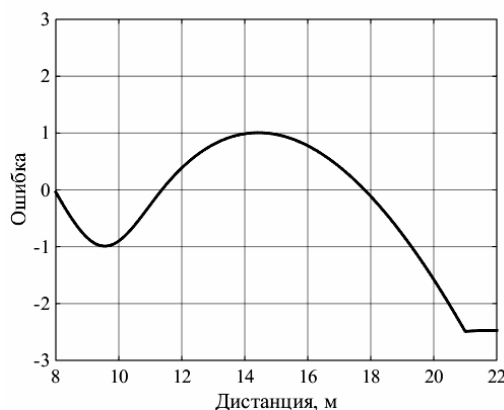


Рис. 6. График ошибки линейности кривой развертки по дальности для случая с квазиреальными импульсами

Из графиков на рис. 5 и 6 видно, что при сложной форме оптического импульса (см. рис. 3) кривая развёртки по дальности имеет нелинейную зависимость уровня принимаемой энергии от расстояния наблюдения, при этом по результатам моделирования погрешность определения расстояния составляет 1 м.

#### Многозонный метод

Предлагается рассмотреть многозонный метод измерения дальности (ММИД), который позволит расширить диапазон и повысить точность измерения дальности.

Моделирование ММИД предполагает формирование множества характерных АЗВ, получаемых путем свертки формы оптического импульса источника подсвета с формой управляющего напряжения оптического затвора фотоприёмника согласно выражению (1). Кривая развёртки по дальности в ММИД может быть описана следующим выражением:

$$Y_m = \frac{\sum_{n=1}^N X_{n_m}}{X_{1_m}}, \quad (3)$$

где  $Y_m$  – отсчеты кривой развёртки по дальности;  $N$  – количество АЗВ;  $X_{n_m}$  – отсчеты АЗВ, а  $X_{1_m}$  – АЗВ с максимальной глубиной и минимальной задержкой стробирования.

Моделирование ММИД приводится для девяти сдвинутых в пространстве и перекрывающихся АЗВ разной глубины. При этом шаг увеличения задержки стробирования для каждой последующей зоны составляет 15 нс, длительность последующей зоны также сокращалась на 15 нс. Длительность импульса подсвета была постоянной и составляла 30 нс, форма импульса подсвета квазиреальная и имеет передний фронт длительностью 24 нс, вершину импульса 3 нс, задний фронт 3 нс. Длительность импульса стробирования ЭОП для первой зоны равна 160 нс, фронты импульса стробирования по 15 нс, вершина импульса 130 нс.

На рис. 7 представлено взаимное расположение моделей девяти АЗВ в ММИД.

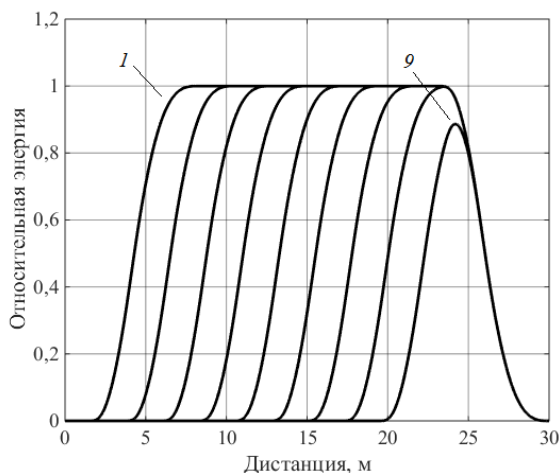


Рис. 7. Модели девяти АЗВ при квазиреальных импульсах подсвета и стробирования ЭОП с шагом по задержке стробирования 15 нс и шагом по длительности ЭОП 15 нс

Полученная в результате моделирования ММИД кривая развёртки по дальности представлена на рис. 8.

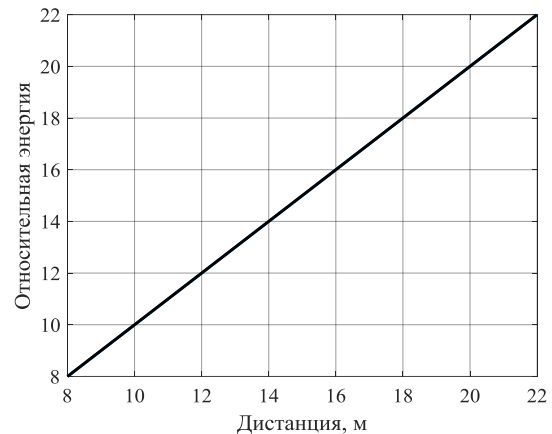


Рис. 8. График кривой развёртки по дальности для ММИД при девяти АЗВ

Оценка потенциальной точности определения дальности по ММИД выполняется путем вычисления разности между идеальной линейной кривой и кривой, полученной в результате моделирования.

Полученный в результате график ошибки линейности кривой развёртки по дальности представлен на рис. 9.

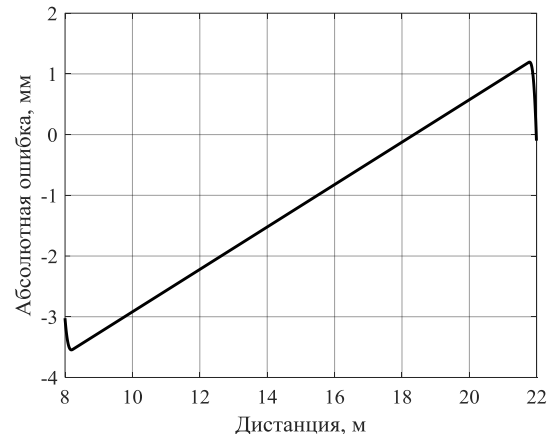


Рис. 9. График абсолютной ошибки линейности кривой развёртки по дальности для ММИД при девяти АЗВ

Из графиков на рис. 8 и 9 видно, что даже при сложной форме оптического импульса (см. рис. 3) кривая развёртки по дальности при девяти АЗВ имеет явно выраженную линейную зависимость уровня принимаемой энергии от расстояния наблюдения, при этом по результатам моделирования погрешность определения расстояния не превышает 4 мм.

Также представляет интерес зависимость ошибки линейности развёртки по дальности от количества АЗВ. В таблице представлены результаты такого моделирования.

Из таблицы видно, что при увеличении количества АЗВ в ММИД абсолютная ошибка определения дальности уменьшается, и уже при количестве АЗВ, равном девяти, составляет единицы миллиметров.

При этом очевидно, что дальнейшее увеличение количества АЗВ при использовании ММИД в реальной системе нецелесообразно, поскольку уже ее аппаратные погрешности будут определять реальную погрешность определения дальности.

**Результаты моделирования зависимости ошибки линейности от количества АЗВ для многозонного метода определения дальности**

Количество АЗВ	Максимальное значение ошибки, ± м	Среднеквадратичное значение ошибки, м
2	+2 / -3	1,4
3	+1 / -1,5	0,71
4	+0,4 / -0,6	0,31
5	+0,15 / -0,3	0,13
6	+0,07 / -0,2	0,059
7	+0,05 / -0,05	0,03
8	+0,02 / -0,08	0,013
9	+0,0015 / -0,004	0,0014
10	+0,001 / -0,003	0,0011

Для сравнения двух методов определения дальности, а именно ДМИД и ММИД между собой, был проведен эксперимент на базе лабораторного макета АИ ТИС, разработанного в ТУСУРе.

В качестве трассы наблюдения использовался коридор протяженностью 25 м и шириной 1,5 м, в котором были установлены в качестве объектов наблюдения транспаранты на дистанциях: 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 и 22 м. Транспарант представляет собой лист белой бумаги с нанесенной на нем цифрой, означающей расстояние до него.

При проверке ДМИД необходимо получить два кадра: первый, содержащий АЗВ с начальной задержкой стробирования, равной 40 нс, и второй, содержащий АЗВ с задержкой стробирования, равной сумме длительности сигнала подсвета и начальной задержки стробирования, а именно 140 нс.

Из полученных кадров изображений, согласно выражению (2), можно получить изображение трассы в котором уровень средней яркости наблюдаемых объектов будет зависеть от их расстояния до макета системы. Полученное изображение будет содержать так называемую измерительную АЗВ, отсчеты которой и будут определять кривую развертки по дальности.

На рис. 10 представлено полученное в результате эксперимента с ДМИД изображение, содержащее измерительную АЗВ.



Рис. 10. Изображение, содержащее измерительную АЗВ, в эксперименте ДМИД

По отсчетам измерительной АЗВ, изображенной на рис. 10, была получена кривая развертки по дальности, которая приведена на рис. 11, совместно с ранее полученными результатами моделирования.

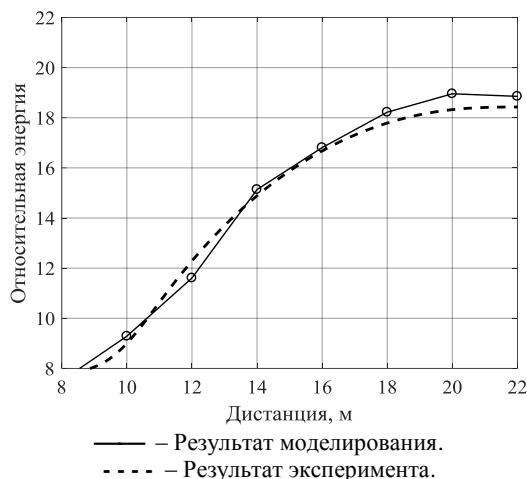


Рис. 11. Совместный график кривых развёрток по дальности моделей и эксперимента ДМИД

Оценка потенциальной точности определения дальности по ДМИД выполняется путем вычисления разности между идеальной линейной кривой и кривой полученной в результате эксперимента, и составила в среднем 1 м.

При проведении эксперимента ММИД, согласно выражению (3), необходимо получение изображения кадра, содержащего сумму нескольких АЗВ, для этого необходимо выполнить поочередную видеосъемку транспарантов при изменении задержки стробирования ЭОП от 40 до 150 нс с шагом 15 нс при изменении длительности импульса стробирования ЭОП от 150 до 40 нс, при этом длительность импульса подсвета равна 30 нс.

Далее производится сложение полученных видеок кадров, и результат суммы девяти АЗВ приведен на рис. 12.



Рис. 12. Изображения кадра суммы девяти АЗВ

Для получения изображения с измерительной АЗВ, а также кривой развертки по дальности, согласно выражению (3), необходимо найти отношение изображения кадра, содержащего сумму девяти АЗВ (см. рис. 12), к изображению кадра, содержащему наиболее протяженную (первую) из девяти АЗВ. На рис. 13 приведено изображение кадра отношения сумм девяти АЗВ к первой АЗВ, т.е. содержащее измерительную АЗВ.

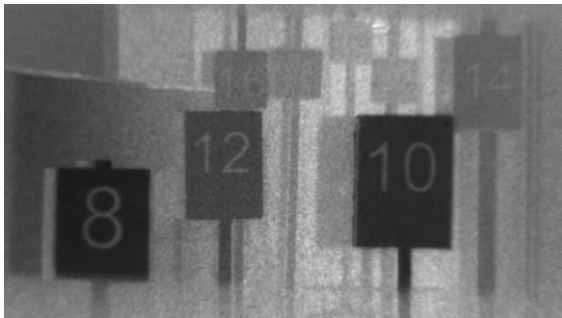


Рис. 13. Изображение, содержащее измерительную АЗВ, в эксперименте ММИД

По значениям средней яркости на транспарантах в кадре, содержащем измерительную АЗВ, можно построить кривую развертки по дальности, которая изображена на рис. 14 совместно с результатами моделирования для эксперимента с ММИД (9 АЗВ).

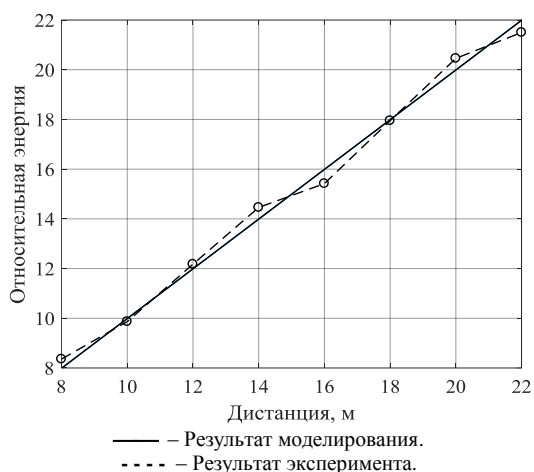


Рис. 14. Совместный график кривых развёрток по дальности модели и эксперимента для ММИД (9 АЗВ)

Оценка потенциальной точности определения дальности по ММИД выполняется путем вычисления разности между идеальной линейной кривой и кривой полученной в результате эксперимента, и составила в среднем 0,4 м.

#### Заключение

По результатам проведенного моделирования и эксперимента по исследованию точности ММИД и ДМИД можно сделать следующие выводы.

Способ измерения дальности в АИ ТИС ДМИД имеют невысокую точность и ограниченный диапазон измерения дальности и требует для этого большую длительность импульса подсвета (десятки или сотни нс), при этом погрешность измерения дальности в ДМИД по результатам моделирования в среднем составила 1 м в случае с квазиреальной формой импульса подсвета в диапазоне измерений от 8 до 22 м. По результатам проведенного эксперимента можно сделать вывод о том, что реальная погрешность измерения дальности в АИ ТИС с использованием ДМИД составляет 1 м в диапазоне измерения от 8 до 22 м, что совпадает с результатами моделирования.

В случае использования ММИД длительность импульса подсвета может иметь малую величину (единицы или десятки нс), при этом не оказывая влияния на динамический диапазон определения дальности. Таким образом, ММИД существенно расширяет динамический диапазон измерения дальности и уменьшает погрешность ее оценки. Погрешность измерения дальности в ММИД (девять АЗВ) по результатам моделирования в среднем составила 1,4 мм при диапазоне измерений от 8 до 22 м.

В ДМИД и ММИД наблюдается независимость влияния закона обратных квадратов на результаты измерения дальности до объектов.

По результатам проведенного эксперимента можно сделать вывод о том, что погрешность измерения дальности в АИ ТИС с использованием ММИД (девять зон) составляет 0,4 м в диапазоне измерения от 8 до 22 м. Отклонения экспериментальных результатов от результатов моделирования ММИД вызваны, с одной стороны, особенностями лабораторного макета АИ ТИС, а именно процесса преобразования изображения в ЭОП, работающего в импульсном режиме с малыми временами стробирования, с другой стороны, влиянием джиттера длительности импульсов подсвета и стробирования фотоприемника. В данном случае для лабораторного макета АИ ТИС джиттер длительностей импульсов составлял не более 1 нс, что при пересчете в дальность составляет 0,15 м.

Также отклонения экспериментальных результатов от результатов моделирования вызваны особенностями трассы наблюдения, заключающимися в ее пространственном ограничении, что не исключает появление переотраженных оптических импульсов излучателя в АИ ТИС.

Дальнейшее совершенствование ММИД в АИ ТИС с большим количеством АЗВ и их реализацией параллельно в пределах одного кадра формирования изображения позволит разработать прецизионные системы реального времени по созданию «карты глубин» наблюдаемого пространства.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ по научному проекту № 19-37-90141.

#### Литература

1. Experimental Estimation of Frequency-Contrast Characteristics of Active Pulsed Television Systems under Conditions of Enhanced Turbidity of Aerosol Media / V.V. Belov, Y.V. Gridnev, V.V. Kapustin, V.S. Kozlov, A.N. Kudryavtsev, M.I. Kuryachy, A.K. Movchan, R.F. Rakhimov, M.V. Panchenko, V.P. Shmargunov // *Atmospheric and Oceanic Optics*. – 2019. – Vol. 32, no. 1. – P. 103–107.
2. Statistical Analysis and Experimental Evaluation of Active-Pulse Television Measuring Systems Vision Zone Shapes / A. Movchan, V. Kapustin, M. Kuryachiy, E. Chaldina // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2020. – Vol. 1488. – P. 012006.
3. A global shutter sensor used in active gated imaging for automotive / A. Lahav, A. Lahav, A. Birman, D. Perhest, A. Fenigstein, Y. Grauer, E. Levi // *Proc. IISW*. – 2015. – P. 1–4.



4. Grauer Y. Active gated imaging in driver assistance system // *Advanced Optical Technologies*. – 2014. – Vol. 3, no. 2. – P. 151–160.

5. Волков В.Г. Лазерные полупроводниковые излучатели для приборов ночного видения // *Полупроводниковая светотехника*. – 2012. – № 1. – С. 45–50.

6. Портативный активно-импульсный прибор наблюдения / Д.В. Алантьев, А.А. Голицын, А.В. Голицын, Н.А. Сейфи // *Изв. высш. учеб. завед. России. Приборостроение*. – 2018. – Т. 61, № 6. – С. 507–510.

7. Голицын А.А. Активно-импульсный метод наблюдения с использованием ПЗС-фотоприемника со строчным переносом / А.А. Голицын, Н.А. Сейфи // *Изв. высш. учеб. завед. России. Приборостроение*. – 2017. – Т. 60, № 11. – С. 1040–1046.

8. Активно-импульсные телевизионные измерительные системы для обеспечения навигации транспортных средств в сложных метеоусловиях / В.В. Капустин, А.К. Мовчан, Е.В. Зайцева, М.И. Курячий // *Транспортные системы и технологии*. – 2018 – Т. 4, № 1. – С. 68–83.

9. Xinwei W. Multi-pulse time delay integration method for flexible 3D super-resolution range-gated imaging / W. Xinwei., L. Youfu, Z. Yan // *Optics express*. – 2015. – Vol. 23, No. 6. – P. 7820–7831.

10. Активно-импульсные системы видения и алгоритмы определения расстояний до объектов / В.А. Горобец, В.В. Кабанов, В.П. Кабачников, Б.Ф. Кунцевич, Н.С. Метельская, Д.В. Шабров // *Журнал прикладной спектроскопии*. – 2014. – Т. 81, № 2. – С. 283–291.

11. Basler [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.baslerweb.com/en/sales-support/downloads/document-downloads/time-of-flight-cameras/>, свободный (дата обращения: 13.03.2020).

12. Three-dimensional range-gated flash LIDAR for land surface remote sensing / X. Wang, Y. Cao, W. Cui, X. Liu, S. Fan, Y. Zhou, Y. Li // *Land Surface Remote Sensing II. – International Society for Optics and Photonics*. – 2014. – Vol. 9260. – P. 92604L.

13. Денисов А.В. Построение трехмерного образа искусственного космического объекта методом лазерной локации / А.В. Денисов, Д.А. Капитонов, А.С. Курников // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. – 2019. – Т. 19, № 5. – С. 783–789.

14. Imaging flash lidar for autonomous safe landing and spacecraft proximity operation / F. Amzajerdian, V.E. Roback, A. Bulyshev, P.F. Brewster, G.D. Hines // *AIAA SPACE 2016*. – 2016. – P. 5591.

15. 3D imaging method based on CCD in the ultra-small integration time mode / P. Baranov, A. Tsytulin, A. Kurnikov, A. Chrnogubov // *2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON), IEEE*. – 2019. – P. 0725–0728.

#### Мовчан Андрей Кириллович

Аспирант каф. телевидения и управления (ТУ) Томского государственного ун-та систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)  
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
ORCID 0000-0002-0020-6354  
Тел.: +7-923-421-94-41  
Эл. почта: mr.movchann@mail.ru

#### Капустин Вячеслав Валериевич

Канд. техн. наук, доцент каф. ТУ ТУСУРа  
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
ORCID 0000-0002-2293-0511  
Тел.: +7-960-969-88-77  
Эл. почта: peregnun@mail.ru

#### Курячий Михаил Иванович

Канд. техн. наук, с.н.с., доцент каф. ТУ ТУСУРа  
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
ORCID 0000-0002-3970-5644  
Тел.: +7-913-829-90-14  
Эл. почта: kur@tu.tusur.ru

#### Чалдина Елизавета Сергеевна

Магистрант каф. ТУ ТУСУРа  
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7-950-272-30-10  
Эл. почта: elizaveta\_chaldina@mail.ru

Movchan A.K., Kapustin V.V., Kuryachy M.I., Chaldina E.S.

#### Methods and algorithms for precision distance measurement by active-pulse television measuring systems

The paper discusses methods for measuring the distance to objects using active-pulse television measuring systems. The methods considered in this paper are more based on the processing of obtained video frames using active-pulse systems; however these methods are different in the number of video frames used in processing and in the approaches of their processing. In addition to methods for processing video frames, some of their implementations include new signal generation algorithms for acquiring images in active-pulse television measurement systems. The results of modeling two-zone and multi-zone range measurement methods are also presented, and their accuracy is experimentally evaluated.

**Keywords:** active vision area, modeling, video frames processing, image intensifier tube, gated reception, scan by range.  
**doi:** 10.21293/1818-0442-2020-23-2-7-14

#### References

1. Belov V.V., Gridnev Y.V., Kapustin V.V., Kozlov V.S., Kudryavtsev A.N., Kuryachy M.I., Movchan A.K., Rakhimov R.F., Panchenko M.V., Shmargunov V.P. Experimental Estimation of Frequency-Contrast Characteristics of Active Pulsed Television Systems under Conditions of Enhanced Turbidity of Aerosol Media *Atmospheric and Oceanic Optics*, 2019, vol. 32, no. 1, pp. 103–107.

2. Movchan A., Kapustin V., Kuryachy M., Chaldina E. Statistical Analysis and Experimental Evaluation of Active-Pulse Television Measuring Systems Vision Zone Shapes *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1488, P. 012006.

3. Lahav A., Birman A., Perhest D., Fenigstein A., Grauer Y., Levi E. A global shutter sensor used in active gated imaging for automotive. *In Proc. IISW*, 2015, P. 1-4.

4. Grauer Y. Active gated imaging in driver assistance system *Advanced Optical Technologies*, 2014, vol. 3, no. 2, pp. 151–160.

5. Volkov V.G. [Laser semiconductor emitters for night vision devices]. *Semiconductor lighting technology*, 2012, no. 1, pp. 45–50 (in Russ.).

6. Alentev D.V., Golitsyn A.A., Golitsyn A.V., Seifi N.A. *Portativnyy aktivno-impul'snyy pribor nablyudeniya* [Portable active-pulse surveillance device]. *News of higher educational*

institutions of Russia. *Instrumentation*, 2018, vol. 61, no. 6, pp. 507–510 (in Russ.).

7. Golitsyn A.A., Seyfi N.A. *Aktivno-impulsnyy metod nablyudeniya s ispolzovaniyem PZS-fotopriyemnika so strochnym perenosom* [Active-pulse observation method using a CCD photodetector with horizontal transfer]. News of higher educational institutions of Russia. *Instrumentation*, 2017, vol. 60, no. 11, pp. 1040–1046 (in Russ.).

8. Kapustin V.V., Movchan A.K., Zaitseva E.V., Kuryachy M.I. *Aktivno-impulsnyye televizionnyye izmeritelnyye sistemy dlya obespecheniya navigatsii transportnykh sredstv v slozhnykh meteousloviyakh* [Active-pulse television measuring systems for ensuring navigation of vehicles in difficult weather conditions]. *Transport systems and technologies*, 2018, vol. 4, no. 1, pp. 68–83 (in Russ.).

9. Xinwei W., Youfu L., Yan Z. Multi-pulse time delay integration method for flexible 3D super-resolution range-gated imaging *Optics Express*, 2015, vol. T. 23, no. 6, pp. 7820–7831.

10. Gorobets V.A., Kabanov V.V., Kabashnikov V.P., Kuntsevich B.F., Metelskaya N.S., Shabrov D.V. *Aktivno-impulsnyye sistemy videniya i algoritmy opredeleniya rastoyaniy do obyektov* [Active-impulse vision systems and algorithms for determining distances to objects]. *Journal of Applied Spectroscopy*, 2014, vol. 81, no. 2, pp. 283–291 (in Russ.).

11. Basler. Available at: <https://www.baslerweb.com/en/sales-support/downloads/document-downloads/time-of-flight-cameras/> (Accessed: March 13, 2020).

12. Wang X., Cao Y., Cui W., Liu X., Fan S., Zhou Y., Li Y. Three-dimensional range-gated flash LIDAR for land surface remote sensing, *Land Surface Remote Sensing II* Vol. 92604L. International Society for Optics and Photonics, 2014, p. 92604C.

13. Denisov A.V., Kapitonov D.A., Kurnikov A.S. *Postroyeniye trekhmernogo obraza iskusstvennogo kosmicheskogo obyektmetodom lazernoy lokatsii* [The construction of a three-dimensional image of an artificial space object by laser ranging]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2019, vol. 19, no. 5, pp. 783–789 (in Russ.).

14. Amzajerdian F., Roback V.E., Bulyshev A., Brewster P.F., Hines G.D. Imaging flash lidar for autonomous safe

landing and spacecraft proximity operation *AIAA SPACE 2016*, 2016, p. 5591.

15. Baranov P., Tsytulin A., Kurnikov A., Chrnogubov A. 3D imaging method based on CCD in the ultra-small integration time mode *2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON), IEEE*, Russia, Tomsk, 2019, pp. 0725–0728.

---

#### Andrey K. Movchan

Postgraduate student, Department of Television and Control, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR)  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
ORCID 0000-0002-0020-6354  
Phone: +7-923-421-94-41  
Email: mr.movchann@mail.ru

#### Vyacheslav V. Kapustin

Doctor of Engineering Sciences, Assistant Professor, Department of Television and Control, TUSUR  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
ORCID 0000-0002-2293-0511  
Phone: +7-960-969-88-77  
Email: peregnun@mail.ru

#### Mihail I. Kuryachiy

Doctor of Engineering Sciences, Senior researcher, Assistant Professor, Department of Television and Control, TUSUR  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
ORCID 0000-0002-3970-5644  
Phone: +7-913-829-90-14  
Email: kur@tu.tusur.ru

#### Elizaveta S. Chaldina

Undergraduate student, Department of Radio Engineering Systems, TUSUR  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7-950-272-30-10  
Email: elizaveta\_chaldina@mail.ru