

ИСТОЧНИКИ И ПРИЕМНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 621.373.826

**Особенности работы усилителя яркости на парах бромида  
меди в схеме бистатического лазерного монитора**

**Н.А. Васнев<sup>1</sup>, М.В. Тригуб<sup>1</sup>, Г.С. Евтушенко<sup>2,3\*</sup>**

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН  
634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

<sup>2</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН  
119991, г. Москва, ул. Вавилова, 38

<sup>3</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Поступила в редакцию 28.01.2019 г.

Исследовано влияние режима работы усилителя яркости на формируемые изображения в бистатическом лазерном мониторе — активной оптической системе с двумя лазерными активными элементами. Проведена оценка возможности визуализации удаленно расположенных объектов (свыше 5 м) с помощью данной схемы лазерного монитора. Показано, что изменение концентрации активного вещества (бромида меди) усилителя существенно влияет на коэффициент усиления входного сигнала. Увеличение температуры контейнеров с активным веществом в диапазоне от 480 до 550 °С приводит к росту коэффициента усиления во всем диапазоне уровня входного сигнала. Дальнейший рост температуры до 570 °С способствует увеличению коэффициента усиления лишь при относительно малом уровне входного сигнала (менее 100 мВт). Полученные усилительные характеристики активной оптической системы описаны и сопоставлены с параметрами формируемых изображений (искажения, яркость).

*Ключевые слова:* лазерный монитор, бистатическая схема лазерного монитора, активная фильтрация, визуализация, усилители яркости, коэффициент усиления, удаленные объекты; laser monitor, bistatic scheme of a laser monitor, active filtration, imaging, brightness amplifiers, gain, remote objects.

### Введение

Перспективной областью применения активных сред лазеров на самоограниченных переходах в парах металлов является визуально-оптическая диагностика процессов, протекающих в условиях фонового излучения [1]. В этом случае среда лазера используется в качестве усилителя яркости изображения, а устройство на основе этого принципа называется лазерный монитор [1–3].

Для решения практических задач наиболее распространенной является моностатическая схема лазерного монитора [4, 5]. Ее особенностью является то, что один активный элемент обеспечивает подсветку наблюдаемого объекта усиленным спонтанным излучением (сверхсветимостью), а затем усиливает отраженный сигнал, несущий изображение [1]. По этой причине моностатический вариант лазерного монитора имеет ряд ограничений, наиболее существенные из которых — предельно-допустимая дистанция до объекта наблюдения, ограничение области зрения и отсутствие возможности независимого изменения усилительных характеристик и параметров подсветки [6].

Ограничение расстояния до объекта наблюдения обусловлено длительностью инверсной населенности, которая составляет 40 нс для сред на парах бромида меди [7, 8]. В работе [9] показано, что формирование усиленных по яркости изображений, пригодных для анализа, возможно при дистанции не более 3,3 м. Ограничения области зрения связаны с оптической схемой и принципом подсветки наблюдаемого объекта: подсветка осуществляется через объектив, формирующий входной сигнал (изображение) для усилителя яркости. Независимое изменение мощности подсветки и коэффициента усиления невозможно из-за взаимосвязи этих параметров для усилителя яркости [10].

Указанных недостатков можно избежать за счет разделения функций подсветки и усиления между двумя активными элементами. Такой подход реализован в [11–13]; он позволил варьировать параметры подсветки и усиления независимо друг от друга.

Вариант активной оптической системы, использующей этот принцип, получил название бистатический лазерный монитор [14]. Работа бистатического лазерного монитора в некоторой степени аналогична работе системы «генератор—усилитель мощности» (МОРА-системы), которая подробно исследована в [15–17]. Однако особенности визуализации в такой системе детально не изучались.

\* Николай Александрович Васнев (vasnev.nicol@yandex.ru); Максим Викторович Тригуб (trigub@iao.ru); Геннадий Сергеевич Евтушенко (evt@tpu.ru).

В данной статье приведены результаты экспериментального исследования бистатической схемы лазерного монитора. Рассмотрено влияние условий работы усилителя яркости на параметры формируемых изображений. Проведена оценка возможности визуализации объектов, находящихся на расстоянии более 5 м от усилителя яркости, в схеме бистатического лазерного монитора.

## Экспериментальная установка

Схема лабораторного макета бистатического лазерного монитора представлена на рис. 1. Устройство содержит два активных элемента на парах бромида меди, согласование работы которых осуществляется с помощью системы синхронизации, описанной в [18, 19]. Активные элементы, формирующие излучение на двух длинах волн 510,6 и 578,2 нм, использовались как источник подсветки и усилитель яркости.

Источник подсветки 1 был снабжен плоскопараллельным резонатором 2, 3. Излучение направлялось на объект 4 с помощью зеркала 5. Отраженный сигнал направлялся зеркалом 6 через полосовой фильтр 7 в оптическую систему 8, 9, которая формировала изображение объекта на экране 10. Пучки при этом проходили через активную среду усилителя яркости 11. В качестве объективов 8 и 9 использовались ОКП1-350-1 ( $f = 350$  мм) и Hellios 44-2 с ручной фокусировкой ( $f = 58$  мм) соответственно. Для оценки влияния концентрации паров бромида меди на работу усилителя яркости регистрировалась его средняя мощность генерации  $P_r$  — для этого вместо объектива 9 и экрана 10 устанавливался плоскопараллельный резонатор 12, 13, а мощность излучения измерялась с помощью Ophir 30C-SH 14, причем отраженный от объекта 4 сигнал перекрывался экраном 15. Импульсы излучения регистрировались с помощью ФЭК-22СПУ-М 16, 17 и фиксировались на цифровом осциллографе

LeCroy WJ324 A 18. Для регистрации изображений, формируемых в лазерном мониторе, применялась камера машинного зрения Baumer VLG-20C 19.

Система синхронизации для накачки активных элементов содержит цифровую схему управления [18] и высоковольтный модулятор [19, 20]. Такая система необходима для временного согласования импульсов излучения источника подсветки и импульсов сверхсвечности усилителя яркости, поскольку временной сдвиг  $t_c$  между ними существенно влияет на параметры выходного излучения всей системы в целом [7, 15–17]. На рис. 2 показаны импульсы излучения источника подсветки и усилителя яркости, работающего в режиме генератора, т.е. при использовании плоскопараллельного резонатора 12, 13. Временной сдвиг в 35 нс указан со знаком «+», это означает, что импульс излучения усилителя яркости формируется перед тем, как импульс излучения источника подсветки поступает в его активный объем. В противном случае будем указывать временной сдвиг между импульсами со знаком «-». Реализованная система синхронизации [18–20] позволяет варьировать временной сдвиг в диапазоне от -55 до +55 нс. Изменение дистанции визуализации между объектом 4 и зеркалом 6 обязывает каждый раз подбирать временной сдвиг таким образом, чтобы максимумы световых импульсов сходились практически в одной точке — это обеспечивает получение максимального коэффициента усиления [7, 15–17].

В то же время следует отметить, что такой способ отстройки связан с необходимостью размещать приборы 16, 17 в экспериментальной установке на каждой выбранной дистанции и убирать их после временной отстройки. Кроме того, регистрация световых импульсов осуществляется с джиттером не менее 7 нс, который обусловлен особенностями работы как источников накачки лазерных активных элементов, так и измерительной аппаратуры. В связи с этим целесообразнее подбирать временной сдвиг, опираясь на значение выходной мощности излучения

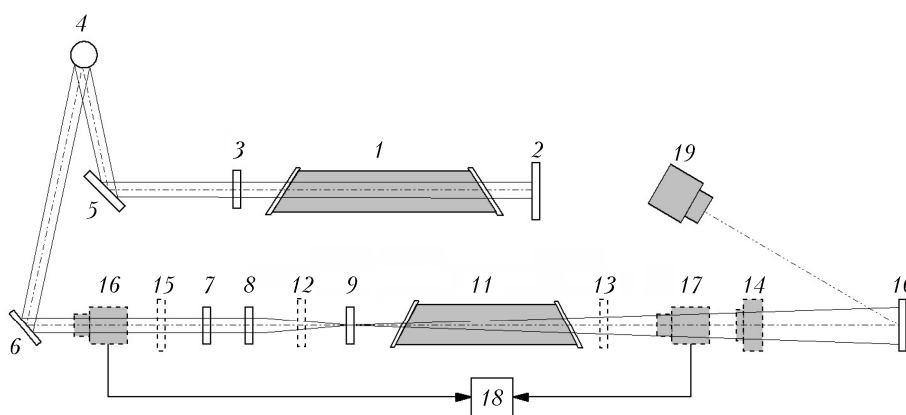


Рис. 1. Схема бистатического лазерного монитора для наблюдения удаленных объектов: 1 — источник подсветки; 2, 3 — плоскопараллельный резонатор источника подсветки; 4 — тестовый объект; 5, 6 — зеркала; 7 — полосовой фильтр; 8 — объектив (ОКП1-350-1,  $f = 350$  мм); 9 — объектив (Hellios 44-2,  $f = 58$  мм); 10 — экран; 11 — усилитель яркости; 12, 13 — плоскопараллельный резонатор усилителя яркости; 14 — измеритель мощности (Ophir 30C-SH); 15 — экран; 16, 17 — приборы для регистрации световых импульсов (ФЭК-22СПУ-М); 18 — осциллограф (LeCroy WJ324 A); 19 — камера машинного зрения (Baumer VLG-20C)

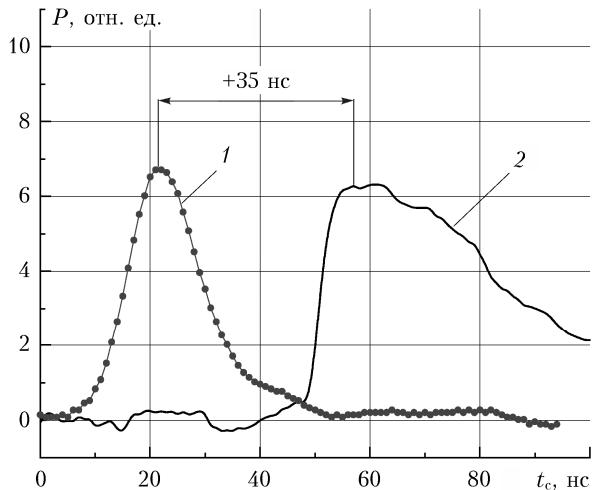


Рис. 2. Временной сдвиг между импульсом сверхсветимости усилителя яркости (1) и импульсом источника подсветки (2)

усилителя яркости, которая должна достигать максимального значения.

Накачка обоих активных элементов, конструкция которых представлена в [21], осуществлялась с помощью источников с импульсным зарядом рабочей емкости [22] с одинаковой частотой следования импульсов (ЧСИ), которая варьировалась от 10 до 18 кГц. Длина активной зоны газоразрядной трубки (ГРТ) источника подсветки составляла 90 см, диаметр — 5 см. Максимальная мощность излучения источника подсветки достигала 8,2 Вт при ЧСИ 16,7 кГц и мощности накачки 1,85 кВт. Емкость накопительного конденсатора при этом составила 1100 пФ. Длина активной зоны ГРТ усилителя яркости составляла 30 см, диаметр — 4 см. Мощность накачки не превышала 1 кВт, емкость накопительного конденсатора при этом также составляла 1100 пФ.

Температурный режим источника подсветки обеспечивался посредством трехканального блока управления: температура внешней стенки ГРТ составляла порядка 680 °С, контейнеров с CuBr — 500 °С, контейнеров с HBr — 110 °С. Идентичный терморегулятор использовался и для усилителя мощности, однако нагрев контейнеров с HBr при визуализации не осуществлялся.

## Экспериментальное исследование

Коэффициент усиления  $K$ , определяемый как отношение мощности излучения на выходе усилителя  $P_{\text{вых}}$  к мощности входного сигнала  $P_{\text{вх}}$ , существенно зависит от временного сдвига между импульсами излучения активных элементов МОР-системы [15–17]. Аналогичная зависимость наблюдается и в бистатической схеме лазерного монитора (рис. 3, *a*). Видно, что максимальная мощность излучения достигается при временном сдвиге  $t_c = -2$  нс. Данная характеристика была получена при фиксированном уровне входного сигнала (140 мВт),

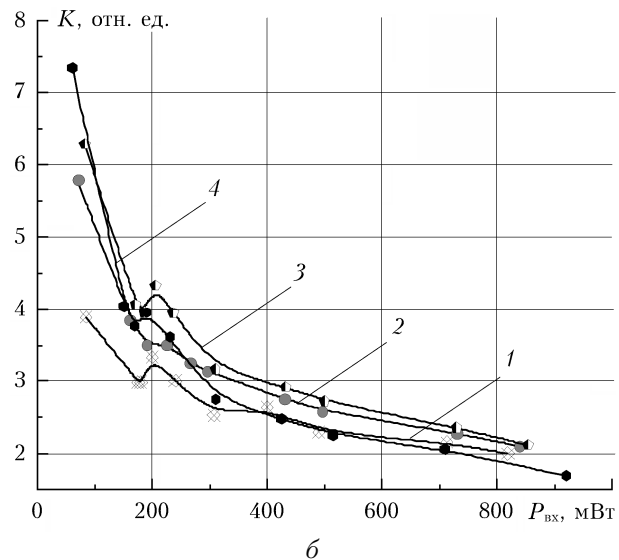
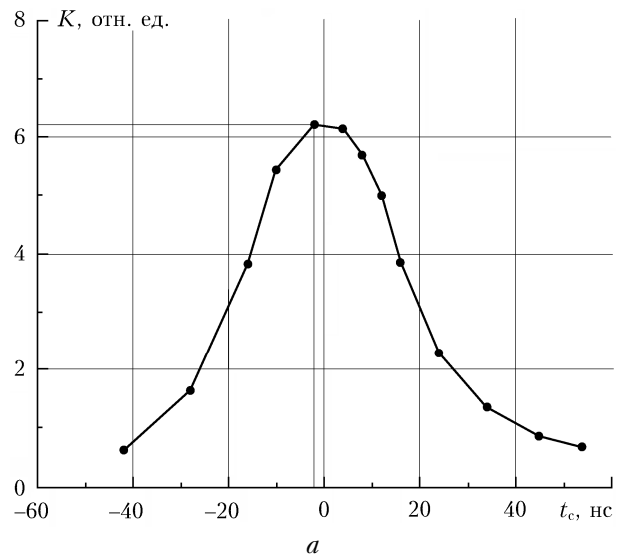


Рис. 3. Зависимости коэффициента усиления от временного сдвига (*a*) и уровня входного сигнала (*b*) при температуре контейнеров с бромидом меди в активном объеме усилителя яркости, равной: 1 — 480; 2 — 510; 3 — 550; 4 — 570 °С

однако его мощность значительно влияет на усиление, что демонстрирует рис. 3, *b*.

Зависимости 1–4 на рис. 3, *b* получены при различной температуре (концентрации) бромид меди в активном объеме усилителя яркости: 480, 510, 550, 570 °С. Средняя мощность генерации  $P_r$  усилителя яркости при снабжении его плоскопараллельным резонатором составила 660, 750, 890 и 980 мВт для кривых 1–4 соответственно — отклонение мощности генерации от приведенных цифр менее чем на 10% свидетельствовало о том, что усилитель яркости вышел на стационарный режим работы.

Анализируя кривые 1–3, видим, что с ростом входного сигнала, уровень которого задавался с помощью набора полосовых фильтров 7 типа НС, коэффициент усиления падает. Также очевидно, что при фиксированном уровне входного сигнала повышение

температуры (концентрации) активного вещества способствует росту коэффициента усиления. Так, например, при уровне входного сигнала 82 мВт и температуре 480 °С коэффициент усиления не превышает значения 3,9, однако повышение температуры всего на 30 °С привело к росту коэффициента усиления до 5,5, что на 40% больше. Увеличение температуры еще на 40 °С позволило усилить входной сигнал в 6,28 раза при прочих равных условиях. Дальнейшее увеличение температуры до 570 °С привело к росту коэффициента усиления приблизительно на 20% при малом уровне входного сигнала (менее 100 мВт). При этом практически во всем остальном диапазоне входного сигнала коэффициент усиления принимает меньшие значения, чем на кривых 1–3. Снижение усиления связано с нестабильностью разряда из-за высокой концентрации бромида меди в активном объеме усилителя. Следовательно, предыдущее значение температуры (550 °С) соответствует оптимальной концентрации активного вещества с точки зрения обеспечения условий для наиболее эффективного усиления во всем диапазоне уровня входного сигнала.

Все вышеперечисленное указывает на то, что формирование усиленных по яркости изображений посредством бистатической схемы лазерного монитора требует тщательного подбора режима работы усилителя яркости. Дальнейшие экспериментальные исследования были проведены с учетом описанных особенностей.

Примечательно, что все четыре зависимости на рис. 3, б имеют ярко выраженную «просадку» коэффициента усиления в диапазоне входного сигнала от 170 до 190 мВт. Такая особенность наблюдалась при многократном повторении эксперимента, однако выявить ее причину в рамках проведенной работы не удалось, следовательно, данный вопрос требует отдельного исследования.

Дистанция между тестовым объектом 4 и усилителем яркости 11 варьировалась от 5 до 15,5 м. В качестве тестового объекта использовалась щель монохроматора с раскрытием 0,44 мм, внешний вид которой представлен на рис. 4. Конфигурация экспериментальной установки позволяла получать изображения как по бистатической схеме лазерного мо-

нитора, так посредством лазерной подсветки. В случае метода лазерной подсветки накачка второго активного элемента (усилителя яркости) прекращалась и оптическое изображение проходило через ГРТ усилителя как через прозрачную среду. В обоих случаях изображения проецировались на экран 10 и регистрировались камерой 19. Оптическая схема 8, 9 оставалась неизменной на протяжении всего экспериментального исследования, за исключением положения объектива 8, который перемещался на малые расстояния (порядка сантиметра) вдоль оси излучения – это было необходимо для фокусировки, т.е. получения резкого изображения на экране 10.



Рис. 4. Тестовый объект – щель монохроматора

Известно, что качество пучка лазеров на парах металлов сильно зависит от концентрации активного вещества в объеме ГРТ [1, 8]. Температура контейнеров с бромидом меди варьировалась в диапазоне от 480 до 570 °С для каждой дистанции визуализации. Отличительной особенностью лазерных мониторов является чувствительность к паразитным отражениям (бликам) от оптических элементов схемы [10]. Рост температуры приводит к увеличению коэффициента усиления и, соответственно, увеличению яркости изображения. При достижении критической точки в 570 °С яркость изображения начинала снижаться, а блики от компонентов оптической схемы, наоборот, усиливаться (рис. 5, а).

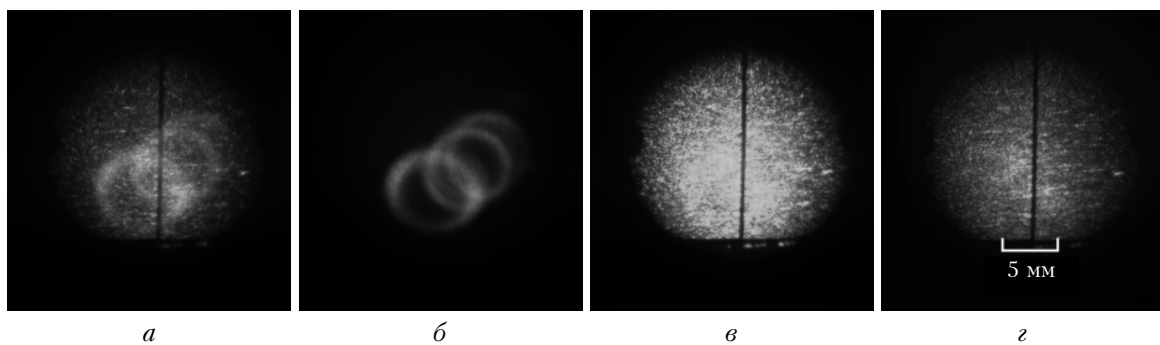


Рис. 5. Визуализация тестового объекта на расстоянии 5 м при различной температуре контейнера с бромидом меди: 570 °С, экспозиция съемки 5 мс (а); 570 °С, источник подсветки перекрыт, экспозиция съемки 5 мс (б); 550 °С, экспозиция съемки 5 мс (в); 550 °С, экспозиция съемки 2,5 мс (г)

Очевидно, что паразитные отражения от оптических компонентов 8, 9 также являются для усилителя входным сигналом. Они обладают существенно меньшей энергией, чем полезный сигнал (изображение), а значит, согласно зависимостям на рис. 3, коэффициент их усиления будет выше. Более того, они поступают на вход усилителя даже при отсутствии полезного сигнала и усиливаются в его активном объеме (рис. 5, б), когда отраженный сигнал от объекта 4 перекрывается экраном 15. Минимизировать эти искажения при фиксированной температуре можно за счет расположения компонентов оптической схемы под малым углом по отношению к ГРТ усилителя.

Другим артефактом являются участки изображения с чрезмерной яркостью, которая препятствует детальному изучению объекта исследования. Так, например, на рис. 5, в по центру имеется ярко выраженный «засвеченный участок», скрывающий естественный рельеф объекта. Снижение экспозиции в 2 раза при прочих равных условиях работы позволило существенно компенсировать вызванные данным артефактом потери качества (рис. 5, з). Это объясняется тем, что при снижении экспозиции съемки уменьшается количество импульсов усилителя яркости, формирующих изображение. Таким образом, наилучшее качество изображения на дистанции в 5 м было получено при температуре бромида меди 550 °С.

Далее, увеличив дистанцию до 15,5 м, получили изображение тестового объекта при температуре бромида меди 550 °С, обозначенной как оптимальная в предыдущем случае. Полученное изображение содержало сразу оба вышеописанных артефакта (рис. 6, а). Блики от компонентов оптической схемы, как и в предыдущем случае, сохранялись даже при отсутствии полезного сигнала (рис. 6, б). Избавиться от «засвеченной» области изображения (рис. 6, а) удалось за счет уменьшения экспозиции в 2 раза (рис. 6, в), так же как и при визуализации на расстоянии 5 м (см. рис. 5). Что касается бликов, то от них избавиться удалось лишь при уменьшении температуры активного вещества до 510 °С (рис. 6, г). Следовательно, оптимальная температура

контейнеров с бромидом меди для выбранной дистанции отличается от предыдущей. Для дистанций в 7 и 10 м оптимальное значение температуры активного вещества также отличалось. Следует отметить, что даже при отсутствии артефактов (рис. 6, г) различить саму щель на полученном изображении весьма затруднительно: это говорит о том, что при заданной дистанции визуализации был достигнут предел разрешения, который обеспечивает используемая оптическая система.

Полученные результаты показывают, что оптимальную температуру активного вещества усилителя яркости при каждой дистанции визуализации требуется подбирать индивидуально. Вероятнее всего, это объясняется тем, что чем дальше расположен объект исследования, тем меньше отраженного от него света достигает активной среды усилителя. Иными словами, увеличение дистанции визуализации неизбежно влечет за собой снижение уровня входного сигнала усилителя, который, в соответствии с зависимостями 1–4 на рис. 3, существенно влияет на коэффициент усиления. Измерить мощности входного сигнала с помощью имеющегося оборудования (Orphir 30C-SH) не удалось. По всей видимости, это связано с тем, что уровень входного сигнала был меньше предельного значения, которое может быть зарегистрировано данным измерителем мощности.

Таким образом, при получении изображений в бистатической схеме лазерного монитора проявляются те же самые тенденции, что у полученных ранее усилительных характеристик. Действительно, при фиксированном уровне входного сигнала (дистанции визуализации) коэффициент усиления можно варьировать за счет изменения температуры активного вещества (см. рис. 3, б), что сказывается на яркости изображений и наличии на них артефактов (см. рис. 5 и 6). Увеличение температуры приводит к усилению яркости изображения, пока не будет достигнута критическая температура 570 °С. При достижении указанного порога температуры усиление наблюдается только при весьма малых значениях входного сигнала (кривая 4 на рис. 3, б), в связи с чем яркость изображения снижается, а яркость бликов, напротив, увеличивается.

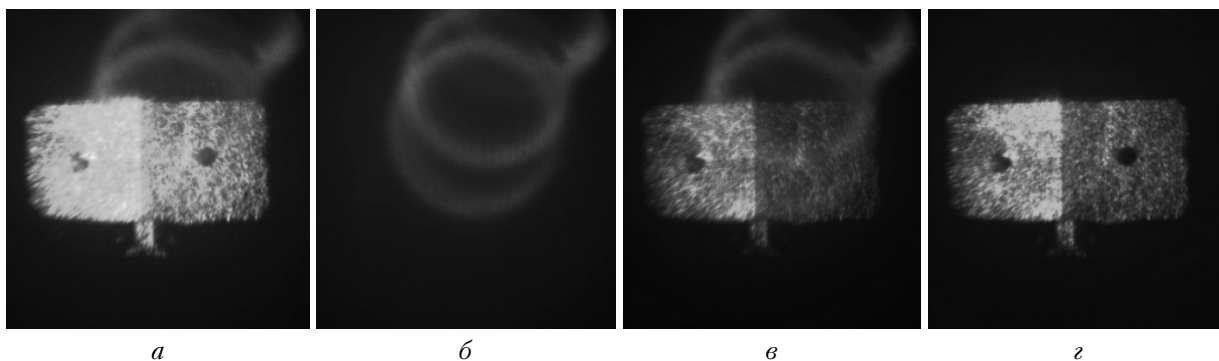


Рис. 6. Визуализация тестового объекта на расстоянии 15,5 м при различной температуре контейнеров с бромидом меди: 550 °С, экспозиция съемки 2 мс (а); 550 °С, источник подсветки перекрыт, экспозиция съемки 2 мс (б); 550 °С, экспозиция съемки 1 мс (в); 510 °С, экспозиция съемки 10 мс (г)

Увеличение дистанции между усилителем яркости и объектом наблюдения приводило к уменьшению линейного увеличения оптической системы, которая оставалась неизменной в условиях эксперимента. Именно поэтому полученные изображения представляли собой разные фрагменты тестового объекта.

Для каждой дистанции экспериментальным путем подбирались оптимальная задержка между импульсами подсветки и усиления. Абсолютные значения временных сдвигов в рамках данной работы не определялись, так как временную задержку подбирали исходя из максимума выходной мощности излучения усилителя яркости, после чего в диапазоне найденного значения подбирали сдвиг, при котором яркость и контрастность изображения получались наиболее приемлемыми.

### Заключение

Результаты работы во многом демонстрируют возможности и ограничения бистатического лазерного монитора при его использовании на практике. Впервые показано, что дистанция визуализации при использовании такой активной оптической системы достигает 15,5 м и может быть увеличена при оптимизации оптической схемы. Рассмотрено влияние концентрации рабочего вещества (температуры контейнера с бромидом меди) усилителя яркости на коэффициент усиления входного сигнала (изображения). Увеличение температуры контейнеров с бромидом меди в диапазоне от 480 до 550 °С приводит к росту коэффициента усиления во всем диапазоне уровня входного сигнала. Например, входной сигнал 82 мВт усиливается в 5,5 раза при температуре активного вещества 510 °С. Увеличение температуры на 40 °С привело к росту коэффициента усиления до 6,28, что больше почти на 12,5%. Однако дальнейший рост температуры до 570 °С способствовал увеличению коэффициента усиления лишь при относительно малом уровне входного сигнала (менее 100 мВт). Следовательно, в рамках данной работы оптимальная температура с точки зрения обеспечения условий эффективного усиления составляет 550 °С.

При неизменном температурном режиме увеличение входного сигнала приводило также к снижению коэффициента усиления, что согласуется с теорией и результатами экспериментальных работ по исследованию МОР-систем. Из приведенных результатов видно, что изменение концентрации активного вещества не только сказывается на усилении яркости изображения, но и определяет наличие артефактов («засвеченные» участки изображений, блики). Для улучшения качества изображений (уменьшения их искажений) необходимо тщательно подбирать температуру контейнеров с рабочим веществом, а также экспозицию съемки.

Дальнейшие исследования будут направлены на определение условий работы источника подсветки и усилителя яркости для получения высокой контрастности изображений и разрешающей способно-

сти, а также увеличения области зрения в бистатической схеме лазерного монитора.

Авторы выражают благодарность руководителю лаборатории квантовой электроники Института оптики атмосферы В.О. Троицкому за ценные комментарии и обсуждение результатов.

Особенности работы бистатического лазерного монитора исследованы при поддержке Фонда содействия инновациям (проект № 11846ГУ/2017).

Изготовление лазерных активных элементов выполнено в рамках базового бюджета финансирования (проект № АААА-А17-117021310150).

1. *Evtushenko G.S., Torgaev S.N., Trigub M.V., Shiyanov D.V., Evtushenko T.G., Beloplotov D.V., Lomayev M.I., Sorokin D.A., Tarasenko V.F.* Methods and instruments for visual and optical diagnostics of objects and fast processes. New York: Nova Publishers, 2018. 236 p.
2. *Асиновский Э.И., Батенин В.М., Климовский И.И., Марковец В.В.* Исследования областей замыкания тока на электродах слабоочной угольной дуги атмосферного давления с помощью лазерного монитора // Теплофизика высоких температур. 2001. Т. 39, № 5. С. 794–809.
3. *Абрамов Д.В., Аракелян С.М., Галкин А.Ф., Климовский И.И., Кучерик А.О., Прокошев В.Г.* О возможности исследования временной эволюции рельефа поверхностей, подвергающихся воздействию мощных потоков энергии, непосредственно во время воздействия // Квант. электрон. 2006. Т. 36, № 6. С. 569–571.
4. *Тригуб М.В., Платонов В.В., Федоров К.В., Евтушенко Г.С., Осипов В.В.* CuBr-лазер в задачах визуализации процессов получения наноматериалов // Оптика атмосф. и океана. 2016. Т. 29, № 3. С. 249–253; *Trigub M.V., Platonov V.V., Fedorov K.V., Evtushenko G.S., Osipov V.V.* CuBr laser for nanopowder production visualization // Atmos. Ocean. Opt. 2016. V. 29, N 4. P. 376–380.
5. *Prokoshev V.G., Abramov D.V., Danilov S.U., Shishin S.I., Chizhov A.V., Arakelian S.M.* Real time diagnostics of the laser-induced thermochemical processes and nonlinear images on the surface of materials: Experiment and mathematical modeling // Laser Phys. 2001. V. 11, N 11. P. 1167–1171.
6. *Buzhinskij O.I., Vasiliev N.N., Moshkunov A.I., Slivitskaya I.A., Slivitsky A.A.* Copper vapor laser application for surface monitoring of divertor and first wall in ITER // Fusion Eng. Des. 2002. V. 60, N 2. P. 141–155.
7. *Little C.E.* Metal Vapor Lasers: Physics, Engineering & Applications. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 1998. 620 p.
8. *Батенин В.М., Бучанов В.В., Казарян М.А., Климовский И.И., Молодых Э.И.* Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов. М.: Науч. кн., 1998. 544 с.
9. *Тригуб М.В., Федоров К.В., Евтушенко Г.С.* Визуализация объектов, расположенных на удалении до 5 м от CuBr-усилителя яркости, с импульсом излучения типичной длительности // Оптика атмосф. и океана. 2015. Т. 8, № 9. С. 850–853.
10. *Оптические системы с усилителями яркости* // Тр. ФИАН / под ред. Г.Г. Петраша. М.: Наука, 1991. Т. 206. 152 с.
11. *Исаков В.К., Калугин М.М., Парфенова Е.Н., Потанов С.Е.* Исследование усиления в активных средах на переходах атомов марганца применительно к созданию проекционных систем с усилителями яркости

- изображения // Журн. техн. физ. 1983. Т. 33, № 4. С. 704–714.
12. Земсков К.И., Казарян М.А., Матвеев В.М., Петраш Г.Г., Самсонова М.П., Скрипниченко А.С. Взаимодействие световых пучков в активной среде усилителя яркости на парах меди // Квант. электрон. 1984. Т. 11, № 2. С. 418–420.
  13. Батенин В.М., Глина В.Ю., Климовский И.И., Селезнева Л.А. Применение оптических систем с усилителями яркости для исследования поверхностей электродов из графита и пирографита во время горения дуги // Теплофизика высоких температур. 1991. Т. 29, № 6. С. 1204–1210.
  14. Тригуб М.В., Торгаев С.Н., Евтушенко Г.С., Троицкий В.О., Шиянов Д.В. Бистатический лазерный монитор // Письма в журн. техн. физ. 2016. Т. 42, № 12. С. 51–56.
  15. Webb C.E., Jones J.D.C. Handbook of Laser Technology: Applications. Bristol, Philadelphia: IOP Publishing, 2004. 1180 p.
  16. Зубов В.В., Лябин Н.А., Чурсин А.Д. Эффективная система генератор – усилитель на основе лазерных активных элементов на парах меди // Квант. электрон. 1986. Т. 13, № 12. С. 2431–2436.
  17. Лябин Н.А. Создание современных промышленных лазеров и лазерных систем на парах меди для прецизионной микрообработки материалов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 40 с.
  18. Vasnev N.A., Taratushkina V.V., Trigub M.V. Digital control circuit for synchronization of two metal vapor lasers // Development and application. 19th Intern. Conf. of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices. Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University, 2018. P. 387–390.
  19. Тригуб М.В., Васнев Н.А., Евтушенко Г.С., Димаки В.А. Система синхронизации импульсно-периодического режима работы активных сред на самоограниченных переходах в парах металлов // Приборы и техника эксперимента. 2019. № 1. С. 1–6.
  20. Патент на полезную модель, № 185671, Россия, Н03К 3/53, Н05Н 5/04. Высоковольтный модулятор / Васнев Н.А., Тригуб М.В., Димаки В.А., Евтушенко Г.С., Троицкий В.О., Власов В.В. Научно-исследовательское учреждение Институт оптики атмосферы СО РАН. 2018.
  21. Патент на изобретение, № 2243619, Россия, Н01S 3/03. Активный элемент лазера на парах галогенида металла / Евтушенко Г.С., Суханов В.Б., Чернышев А.И., Шиянов Д.В. Научно-исследовательское учреждение Институт оптики атмосферы СО РАН. 2003.
  22. Тригуб М.В., Огородников Д.Н., Димаки В.А. Исследование источника накачки лазера на парах металлов с импульсным зарядом рабочей емкости // Оптика атмосф. и океана. 2014. Т. 7, № 12. С. 1112–1115.

*N.A. Vasnev, M.V. Trigub, G.S. Evtushenko. Operation features of a brightness amplifier in the bistatic scheme of a laser monitor.*

The effect of the brightness amplifier operation mode on images obtained by means of a bistatic laser monitor, an active optical system with a two laser active elements, is investigated. The possibility of imaging the remote objects (more than 5 m) by means of this scheme of laser monitor has been evaluated. It is shown that a change in the concentration of the active substance (copper bromide) of the amplifier significantly affects the amplification of the input signal. The active substance temperature rise in the range from 480 to 550 °C leads to an increase in the gain over the entire input level range. A further increase in the temperature (up to 570 °C) increases the gain at a relatively small input signal (less than 100 mW). The resulting amplification characteristics of the active optical system are described and compared with the parameters of the images (distortion, brightness).