

АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

УДК 535: 621.375

Е.П. Гордов, В.М. Орловский, А.Г. Потеряев, А.В. Хачатурян, Дж. Чурнсайд

ГИБРИДНЫЙ АВТОДИННЫЙ ЛИДАР

Сообщается об использовании в качестве автодинного лидара гибридного CO_2 -лазера, в котором импульсная и непрерывная усиливающие секции находятся в одном резонаторе.

Уже давно было замечено, что возврат части генерируемого лазером пучка в его же резонатор существенно изменяет характеристики лазерного излучения [1]. Этот эффект использовался в атмосферной оптике для измерения скорости ветра [2] и падения осадков [3], а также высокочувствительной спектроскопии атмосферы [4]. Основное внимание в этих работах уделялось анализу возможностей лидаров на непрерывных лазерах. Было показано, что автодинные лидары обладают набором свойств, в частности, хорошей помехозащищенностью и высокой чувствительностью, делающих их перспективными для атмосферно-оптических применений. Чурнсайд [5, 6] показал, что чувствительность таких лидаров может быть существенно повышена при работе лазера вблизи порога.

Однако в самой идее автодинного лидара на непрерывном лазере заложено внутреннее противоречие, так как чем сильнее слабый эхо-сигнал влияет на поле в резонаторе, тем больше искажается зондирующее излучение. В частности, работа лазера вблизи порога приводит также к тому, что излучается слабый сигнал, и, как следствие, расстояние зондирования мало.

В то же время лидары с импульсными лазерами оказываются удобными для многих приложений, так как в них измерение расстояния есть просто измерение времени распространения, а использование коротких импульсов позволяет оперировать с сильным зондирующим полем, не инициирующим нелинейные взаимодействия в атмосфере. Мы предлагаем объединить преимущества обоих подходов, используя в качестве автодинного лидара гибридный лазер. В гибридном лазере непрерывная и импульсная секции с активной средой помещены в один и тот же резонатор. Такая конфигурация используется для усиления выбранной продольной моды [7] и активно применяется в гетеродинных лидарах. Предварительные результаты, представленные в работе, показывают, что она также может использоваться для увеличения чувствительности в автодинных лидарах.

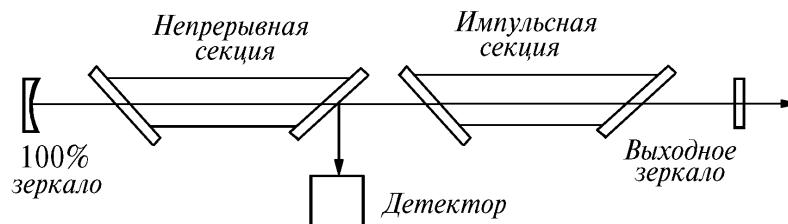


Рис. 1. Схема гибридного автодинного лидара

Схематическое изображение геометрии гибридного лидара дано на рис. 1. Заднее зеркало является глухим и имеет фокусное расстояние 5 м. Выходное зеркало – плоское, с коэффициентом отражения 0,8. Длина кюветы 2,5 м. Объем моды был ограничен апертурой импульсной усиливающей секции так, что генерировалась только TEM_{00} мода.

Непрерывная усиливающая секция размещалась в задней части кюветы. В предварительных лабораторных экспериментах это была однометровая отпаянная трубка с CO_2 низкого давления, накачиваемая продольным разрядом. На концах трубки под углом Брюстера

были закреплены ZnSe - пластинки. Поперечное отражение от одной из них направлялось в детектор и использовалось как измеряемый сигнал. При генерации только непрерывной секции мощность выходящего излучения достигала нескольких ватт.

Импульсная секция атмосферного давления длиной 30 см и сечением пучка 1×3 см была размещена в передней части кюветы и накачивалась электронным пучком. При ненакачиваемой непрерывной секции мы получали 15 мДж в импульсе длительностью 300 нс, частота повторения импульсов могла достигать 4 Гц. Типичная форма импульса показана на рис. 2, *а*, который является копией осциллограммы. Точка отсчета времени совпадает с импульсом накачки и на рисунке видна задержка регенерации порядка 1,3 мкс и затем достаточно гладкий импульс.

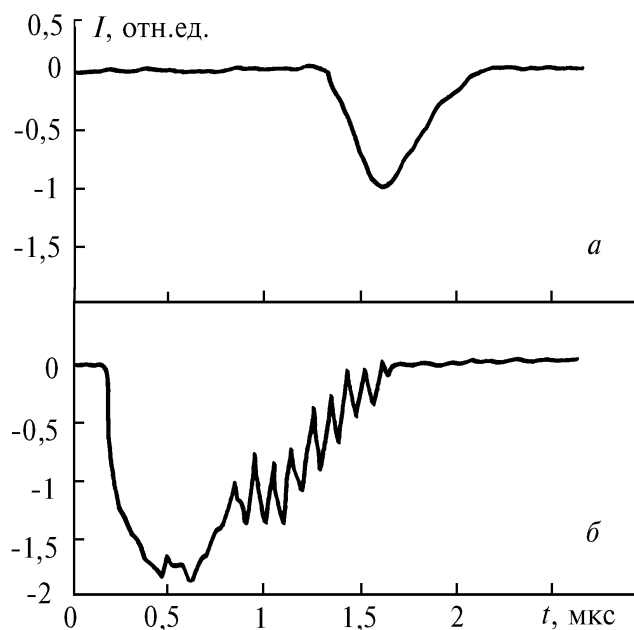


Рис. 2. Типичная форма лазерного импульса при выключенной (*а*) и включенной (*б*) непрерывной секции

Когда непрерывная секция накачивалась, характеристики импульсного излучения менялись, как показано на рис. 2, *б*. Так как система уже находилась выше порога, то задержка между электронной накачкой и импульсом почти исчезала. Длительность импульса увеличивалась до 800 нс. Эти же особенности наблюдались и ранее при исследовании гибридных CO_2 -лазеров [8 – 11]. Осцилляции в хвосте импульса могут быть связаны как с интерференцией нескольких продольных мод, так и с наводками от импульса накачки. Подобное явление наблюдалось Лиханским с соавторами, и в [10] они показали, что причиной осцилляций является пространственная модуляция усиления. Однако в нашем случае вопрос требует дальнейшего изучения.

Во время лабораторных экспериментов оптическая обратная связь осуществлялась с помощью пары плоских зеркал, которые возвращали излучение на заднее брестеровское окно импульсной секции так, чтобы после отражения оно попадало в непрерывную секцию системы. Типичная форма импульса в этом случае приведена на рис. 3, *а*. Наличие обратной связи приводит к удлинению импульса и делает его более однородным. При этом осцилляции подавляются. Мы уменьшали уже малое, возвращаемое в резонатор излучение в 1000 раз с помощью поглотителя. Типичная форма импульса для этих условий приведена на рис. 3, *б*. Сравнение показывает, что значительных изменений не происходит. Полагаем, что это связано с насыщением отклика системы на обратную связь на тех величинах обратной связи и временах задержки эха, которые могут быть достигнуты в лаборатории.

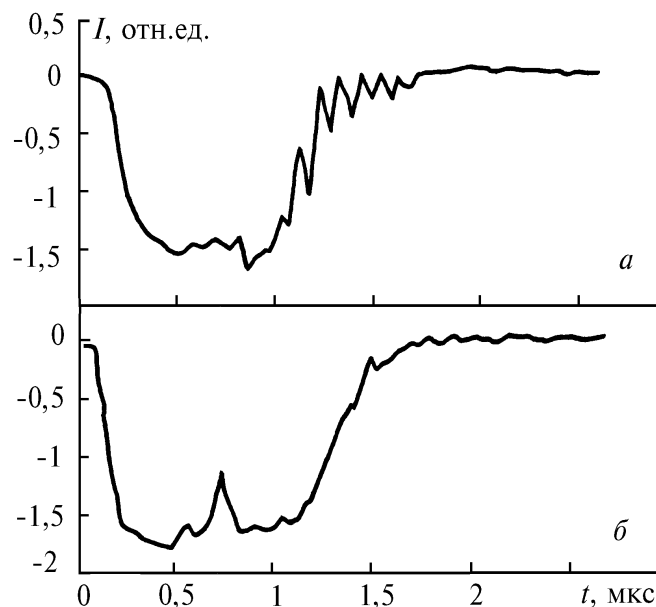


Рис. 3. Типичная форма лазерного импульса при возврате излучения в резонатор: ослабление 0 дБ (*а*) и 30 дБ (*б*)

Для измерений на более длинных трассах система была перемещена в другое место, а непрерывная секция заменена на менее мощную. Здесь это была трубка длиной 50 см, генерирующая около 1 Вт в гибридном резонаторе при ненакачиваемой импульсной секции. Телескоп диаметром 30 см был помещен перед лазерами и сфокусирован на зеркало, располагавшееся на расстоянии в 400 м.

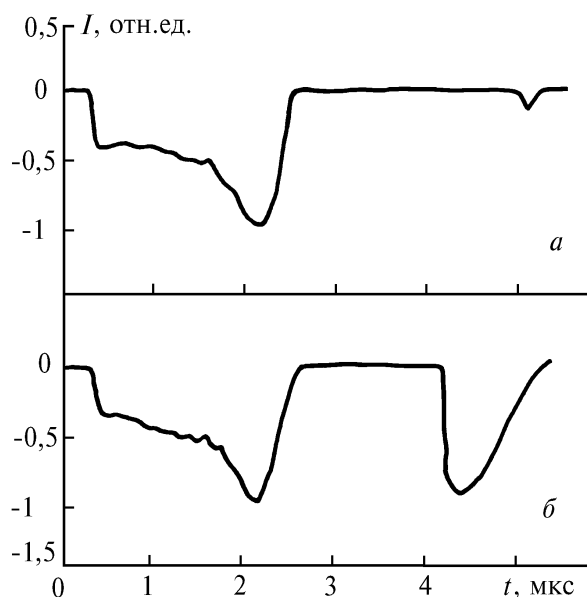


Рис. 4. Типичный сигнал и эхо зеркала на расстоянии 400 м при выключенной (*а*) и включенной (*б*) непрерывной секции

Вначале система работала при ненакачиваемой непрерывной секции. Типичный сигнал изображен на рис. 4, *а*. В левой части рисунка показан выходящий импульс, форма которого отличается от полученной в лабораторных исследованиях из-за меньшего поглощения в непрерывной секции. Отраженное эхо отчетливо видно справа. Когда непрерывная секция включена, детектируемый сигнал от эха значительно увеличивается. Типичный случай приведен на рис. 4, *б*. Кажущееся уменьшение времени распространения сигнала туда и обратно вызвано тем, что во втором случае эхо формируется передним фронтом зондирующего импульса.

Таким образом, мы показали, что гибридный автодинный лидар значительно усиливает эхосигнал. Простые оценки показывают, что измеренный детектором сигнал по меньшей мере на порядок превосходит сигнал, измеряемый прямым детектированием. Это обстоятельство делает предложенную конфигурацию автодинного лидара перспективной для дальнейших исследований как в плане приложений, так и в плане исследования перераспределения энергии в резонаторе гибридного лазера при возврате в него эхосигнала.

Один из авторов, Дж. Чурнсайт, благодарит Институт оптики атмосферы СО РАН за поддержку его визита для начала этой работы.

1. King P.G.R. and Steward G.J. // *New Sci.* 1963. V. 17. P. 180.
2. Lawrence T.R., Wilson D.J., Graven C.E. // *Rev. Sci. Instrum.* 1972. V. 43. P. 512–518.
3. Abshire N.L., Schwiesow R.L., Derr V.E. // *J. Appl. Meteorol.* 1974. V. 13. P. 951–953
4. Godlevsky A.P., Gordov E.P., Ponurovskii Ya.Ya., Fazliev A.Z., Sharin P. P. // *Appl. Opt.* 1987. V. 26. P. 1607–1611.
5. Churnside J. N. // *Appl. Opt.* 1984. V. 23. P. 61–66.
6. Churnside J. N. // *Appl. Opt.* 1984. V. 23. P. 2097–2106.
7. Post M.J., Richter R.A., Hardesty R.M., Lawrence T.R., Hall F.F., // *National Oceanic and Atmospheric Administration's (NOAA) Pulsed, Coherent, Infrared Doppler Lidar – Characteristics and Data. Proc. SPIE.* 1981. V. 300. P. 60–65.
8. Gondhalekar A., Holzhauser E., Heckenberg N. R. // *Phys. Lett.* 1973. V. 46 A. P. 229–230.
9. Gondhalekar A., Heckenberg N. R., Holzhauser E. // *IEEE J. Quant. Electron.* 1975. V. QE-11. P. 103–108.
10. Likhanskii V.V., Myl'nikov G.D., Napartovich A.P., Semerok A.F., Sobolenko D. N. // *Sov. J. Quant. Electr.* 1978. N 8. P. 512–516.
11. Sinha S. // *Appl. Opt.* 1988. V. 27. P. 2373–2374.

Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск
Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск
Лаборатория распространения волн, Боулдер, США

Поступила в редакцию
11 декабря 1992 г.

E.P. Gordov, V.M. Orlovskii, A.J. Poteryaev, A.V. Khachatryan,
J.N. Churnside. **Hybrid Autodyne Lidar.**

A hybrid CO₂-laser with a pulsed gain section and a continuous gain section in a single cavity has been used in an autodyne lidar.