УДК 621.373.826.038.823

ПОВЫШЕНИЕ КПД НЕОДИМОВОГО ЛАЗЕРА

И. Г. Зубарев, В. Ф. Ефимков, С. И. Михайлов, В. Г. Смирнов, В. Б. Соболев

Экспериментально показана возможность увеличения КПД мощного неодимового лазера, интенсивность излучения которого близка к предельному значению (больше 1 ГВт/см^2), без каких-либо схемных или конструктивных изменений в оконечном усилителе за счет того, что запасенная в нем энергия снимается цугом импульсов. Для суммирования энергии цуга в один стоксов импульс предложено использовать неэквидистантный цуг импульсов.

Одной из наиболее важных проблем, связанных с созданием мощных лазеров наносекундной длительности, является повышение эффективности съема энергии, запасенной в активной среде неодимового лазера. Существуют несколько путей решения этой проблемы. Наиболее перспективные из них, с нашей точки зрения, основаны на применении нелинейных преобразователей в качестве оконечного каскада лазера. Использование таких преобразователей, работающих на основе ВРМБ, позволяет снимать запасенную энергию в неодимовых средах за счет усиления импульсов длительностью в десятки – сотни наносекунд с последующим сжатием их в оконечном нелинейном преобразователе до нескольких наносекунд [1]. Или же снимать запасенную энергию в виде цуга наносекундных импульсов, распространяющихся в одном пучке, энергия которых затем суммируется в нелинейном ВКР преобразователе [2, 3]. Каждый из этих способов имеет свои положительные и отрицательные стороны. В частности, несмотря на то, что во втором случае (суммирование цуга импульсов) эта задача сводится к уже решенной, где несколько десятков импульсов накачки, разнесенных в пространстве, было просуммировано в один стоксов импульс [4], ряд вопросов остается нерешенным. В частности, использование эквидистантного цуга импульсов [2] сопряжено с возможностью возбуждения комбинационного преобразователя, поскольку в этом случае импульсы накачки

многократно встречаются в активной среде [5]. Кроме того, поскольку такая схема построения мощного лазера подразумевает возбуждение активной среды комбинационного преобразователя пучком с расходимостью излучения не хуже 10^{-4} *рад*, оконечные усилители источника накачки – неодимового лазера, должны содержать пространственные фильтры (по крайней мере один, если усилитель двухкаскадный). Пропускание же пространственных фильтров может изменяться от импульса к импульсу за счет экранировки диафрагмы фильтра плазмой, возникающей при облучении ее мощными импульсами.

Первая из указанных причин, мешающих реализации суммирования энергии цуга импульсов, достаточно просто устраняется и не требует дополнительных исследований. Для этого можно сформировать, например, неэквидистантный цуг импульсов с интервалами между ними, увеличивающимися на величину длительности импульса. При этом оптические пути незамкнутых кольцевых траекторий оптической линии задержки, с помощью которой происходит возбуждение активной среды [2], должны последовательно уменьшаться на ту же величину. В этом случае импульсы цуга встретятся в активной среде нелинейного преобразователя лишь однажды – во время прохода через нее последнего из импульсов накачки.

Результаты исследования второй причины приведены ниже.

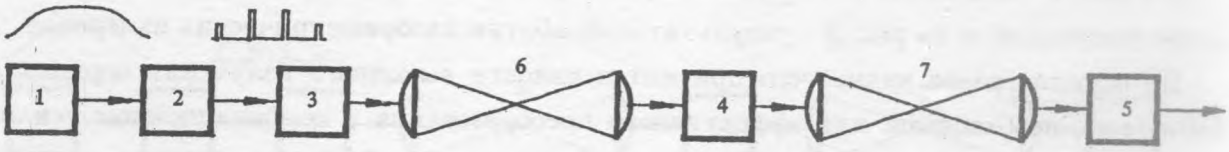

Рис. 1. *Схема оптической установки. 1 – задающий генератор, 2 – формирователь цуга импульсов, 3 – предусилитель, 4, 5 – усилители, 6, 7 – пространственные фильтры.*

Оптическая схема установки показана на рис. 1. Она состоит из неодимового задающего генератора 1, формирователя цуга импульсов, собранного на основе ячейки Поккельса, 2, предусилителя 3, оконечных усилителей 4, 5 (длина каждого 300 *мм*); пространственных фильтров 6, 7, собранных из линз с фокусными расстояниями 80 *см*, и измерительного комплекса. Диаметр фокальных диафрагм пространственных фильтров равнялся 0,8 *мм*. Неодимовый задающий генератор излучал импульс длительностью 70 *нс*. Этот импульс с помощью формирователя цуга импульсов, собранного на базе ячейки Поккельса, разбивался на пять импульсов длительностью 4,5 *нс* каждый с

15-*нс* интервалами между ними, которые распространялись в одном пучке диаметром 9 *мм*.

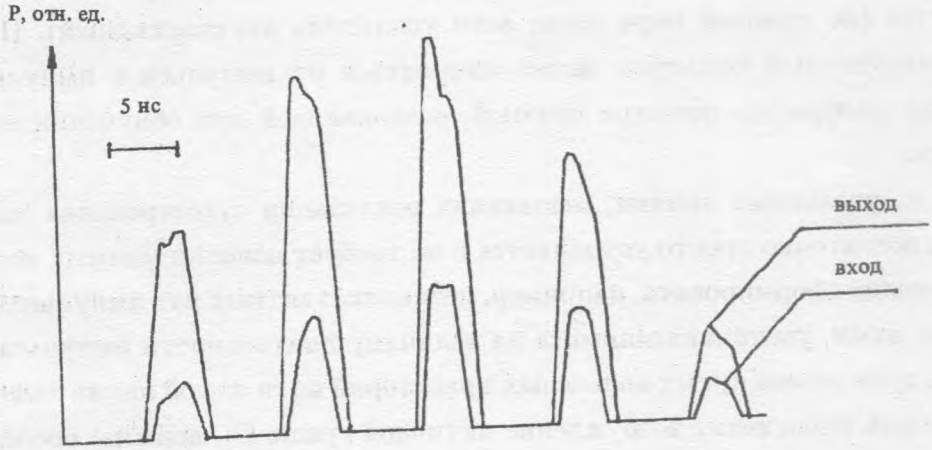

Рис. 2. *Результат обработки осциллограмм цугов импульсов на входе в пространственный фильтр 7 и на выходе усилителя 5.*

На рис. 2 приведены результаты обработки осциллограмм входного и выходного цугов импульсов, а на рис. 3 – результаты обработки калориметрических измерений.

Из осциллограмм видно, что при интенсивности выходного излучения порядка 1 $ГВт/см^2$, необходимой для эффективного преобразования в комбинационном усилителе на газообразном водороде [4], не происходит сколь-либо заметной экранировки в фокальной диафрагме пространственного фильтра 7, и это позволяет снять с последнего каскада усиления в 5 импульсах энергию около 10 Дж. Это значение в три раза больше энергии, содержащейся в одном из максимальных импульсов цуга, интенсивность которого близка к пороговому значению, приводящему к разрушению неодимового стержня. Как следует из [4] с учетом [2, 3], эта энергия может быть преобразована в комбинационном преобразователе в один стоксов импульс с КПД 70%. Таким образом, на выходе комбинационного преобразователя можно получить импульс с энергией 7 Дж, что более чем в 2 раза превосходит максимально возможную энергию для данного источника накачки. Следует заметить, что полученный результат не является предельным и во многом определяется неоптимальными значениями интенсивностей в импульсах входного цуга. Начиная с третьего импульса интенсивность падает и одновременно, как следует из рис. 3, падает и усиление в последнем каскаде оконечного усилителя 5 (от 4

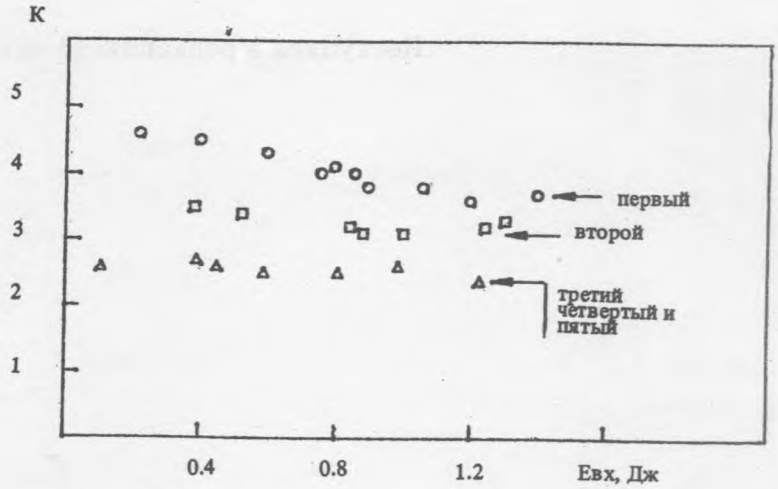

Рис. 3. *Зависимость величины усиления K в усилителе 5 от величины входного сигнала для различных импульсов цуга.*

до 2,5). Значит, использование входного цуга импульсов с нарастающими амплитудами, позволяющими получить на выходе цуг приблизительно равновеликих импульсов, может позволить увеличить выходную энергию при заданной интенсивности еще в 1,5 раза.

Таким образом, экспериментально показано, что КПД неодимового лазера с заданной предельной интенсивностью излучения $\sim 1\ ГВт/см^2$ без каких-либо конструктивных изменений в оконечном каскаде усиления, может быть увеличен по крайней мере в два раза (с учетом потерь при дальнейшем преобразовании в комбинационном усилителе), если энергию с последнего каскада усиления снимать в виде цуга импульсов.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Паперный С. Б., Петров В. Ф., Старцев В. Р. Письма в ЖТФ, 7, 433, (1981).

[2] Зубарев И. Г. и др. Квантовая электроника, **20**, 174 (1993).

[3] Смирнов В. Г. Квантовая электроника, **20**, 421 (1993).

[4] Басов Н. Г. и др. Квантовая электроника, **6**, 1329 (1979).

[5] Ефимков В. Ф. и др. Квантовая электроника, **20**, 213 (1993).

Поступила в редакцию 13 октября 1993 г.