

## Новые возможности установки «Искра-5»

**В.И.Анненков, В.Г.Безуглов, А.В.Бессараб, Ю.Д.Богуненко, Г.А.Бондаренко, И.В.Галахов, С.Г.Гаранин, Н.В.Жидков, С.В.Калипанов, Н.А.Калмыков, В.П.Коваленко, С.Г.Лапин, С.Л.Логутенко, В.М.Муругов, В.А.Осин, В.И.Панкратов, М.Ю.Ромашов, А.В.Рядов, В.А.Стародубцев, Р.Р.Сунгатуллин, В.С.Файзуллин, В.А.Хрусталёв, Н.М.Худиков, В.С.Чеботарь**

*Проведена модернизация двенадцатиканальной иодной лазерной установки «Искра-5», позволяющей выполнять исследования в режиме мощного двухимпульсного облучения мишеней, когда второй импульс задержан на время до 10 мкс относительно первого и имеет энергию, равную или соизмеримую с энергией первого импульса.*

**Ключевые слова:** многоканальная лазерная установка, задержка лазерного импульса, взаимодействие плазменных потоков.

Традиционно, многоканальные лазерные установки, предназначенные для исследования проблем ЛТС (например, «Нова» (США) [1], «Гекко 12» (Япония) [2] и др.), в том числе и «Искра-5» [3], создавались по схожим оптическим схемам. Исходный импульс лазерного излучения, сформированный единым задающим генератором (ЗГ), после соответствующего размножения подается на входы усилительных каналов. Оптические длины всех параллельных трактов распространения излучения от ЗГ до мишени выравниваются для того, чтобы импульсы лазерного излучения от разных каналов установки приходили к мишени практически одновременно. Таким образом, мишень воспринимает все усиленные импульсы, поступающие от разных каналов, как единый импульс. Наличие диагностического канала, импульс которого задержан относительно всех остальных на  $\sim 10$  нс путем введения оптической линии задержки, не меняет ситуации, поскольку энергия этого импульса невелика.

Однако для моделирования ряда астрофизических явлений [4, 5], а также некоторых других приложений представляет интерес мощная лазерная установка с двумя соизмеримыми по энергии импульсами, разделёнными временным интервалом, много большим длительности этих импульсов и достигающим нескольких микросекунд. Наличие такого «инструмента» позволяет изучать элементарные процессы, определяющие взаимодействие плазменных потоков, и моделировать взаимодействие остатков взрыва сверхновых с ионизованными облаками межзвездного газа [5].

Нами проведена модернизация установки «Искра-5», позволяющая выполнять исследования в режиме мощ-

ного двухимпульсного облучения мишеней при регулируемой временной задержке импульса излучения одного из двенадцати усилительных каналов относительно всех остальных (или некоторых их них) до 10 мкс.

Весьма проблематично получить в лабораторных условиях временной сдвиг между импульсами в несколько микросекунд путем деления одного исходного импульса единого ЗГ и использования оптической линии задержки, поскольку длина последней должна быть более километра. Это значит, что для проведения упомянутых исследований необходимо дополнительное формирование задержанного на заданный и регулируемый в соответствии с условиями эксперимента интервал времени импульса второго, отдельного ЗГ и обеспечение возможности работы последнего с одним или несколькими усилительными каналами установки. Построение второго, обособленного ЗГ, работающего с одним из усилительных каналов установки «Искра-5», и доработка её системы синхронизации, описанной в [6], для обеспечения заданного алгоритма срабатывания коммутаторов систем накачки второго ЗГ и работающего с ним задержанного канала, явились основной задачей модернизации установки.

В качестве канала установки «Искра-5», способного работать с обособленным ЗГ и задержанного по времени срабатывания относительно всех остальных усилительных каналов на время до 10 мкс, был выбран канал, работающий со стендом МКВ-4, имеющимся в составе установки [7]. Кроме того, для демонстрации возможности работы в режиме двухимпульсного облучения мишеней смонтирован оптический тракт доставки импульса излучения ещё одного канала установки к стенду МКВ-4.

Оптическая схема заведения импульса излучения обособленного ЗГ в работающий с ним усилительный канал выполнена так, что путем перестановки двух малоапертурных зеркал этот канал может работать и с основным ЗГ установки. Точно так же импульсы излучения каналов, поступающие в МКВ-4, могут быть легко направлены в основную камеру взаимодействия, а переключения в системе синхронизации, позволяющие задержанному усилительному каналу срабатывать одновременно

**В.И.Анненков, В.Г.Безуглов, А.В.Бессараб, Ю.Д.Богуненко, Г.А.Бондаренко, И.В.Галахов, С.Г.Гаранин, Н.В.Жидков, С.В.Калипанов, Н.А.Калмыков, В.П.Коваленко, С.Г.Лапин, С.Л.Логутенко, В.М.Муругов, В.А.Осин, В.И.Панкратов, М.Ю.Ромашов, А.В.Рядов, В.А.Стародубцев, Р.Р.Сунгатуллин, В.С.Файзуллин, В.А.Хрусталёв, Н.М.Худиков, В.С.Чеботарь.** Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, Институт лазерно-физических исследований, Россия, Нижегородская обл., 607190 Саров, просп. Мира, 37; e-mail: annenkov@iskra5.vniief.ru

Поступила в редакцию 6 апреля 2006 г.

со всеми остальными, просты и осуществляются достаточно быстро. Упрощённая оптическая схема установки «Искра-5» после её модернизации приведена на рис.1.

Проведённая модернизация позволяет работать на установке «Искра-5», по крайней мере, в трёх режимах:

- в «штатном», или основном, режиме, когда импульсы излучения всех 12 каналов или нескольких из них (любых) одновременно приходят в основную камеру взаимодействия;

- в режиме двухимпульсного облучения мишеней на стенде МКВ-4 излучением двух каналов (на основной или удвоенной частоте [8] в любом канале), когда импульсы разнесены во времени на интервал до 10 мкс; при этом импульсы излучения всех остальных десяти каналов или некоторых из них могут быть направлены в основную камеру взаимодействия;

- в режиме, когда импульсы излучения одиннадцати каналов или нескольких из них одновременно приходят в основную камеру взаимодействия, а импульс излучения одного канала поступает в ту же камеру с задержкой до 10 мкс.

Для проверки работоспособности модернизированной «ветви» установки «Искра-5» нами проведена серия экспериментов на стенде МКВ-4. При этом параметры каждого из импульсов излучения мало отличались от параметров импульсов установки, работающей в «штатном» режиме [1]. Так, при использовании в оконечных усилителях установки смеси с парциальным давлением 2.5 Тор рабочего вещества  $i\text{-C}_3\text{F}_7\text{I}$  в каждом канале была получена энергия  $\sim 500$  Дж в апертуре диаметром 300 мм. Эксперименты проводились следующим образом. В центре вакуумной камеры размещалась полая тонкостенная сферическая мишень из полипараксилилена ( $(\text{C}_8\text{H}_8)_n$ ,  $\rho \approx 1.1$  г/см<sup>3</sup>, диаметр мишени 4 мм, толщина её стенки 2 мкм) с отверстием диаметром 0.8 мм для ввода лазерного излучения. Излучение первого импульса установки «Искра-5» (энергия  $\sim 350$  Дж, длительность  $\sim 0.5$  нс) вводилось внутрь мишени. На расстоянии 5 см от этой мишени располагалась плоская мишень из алюминия. Её нормаль ориентирована в направлении сферической мишени. Излучение второго импульса фокусировалось на плоскую мишень в пятно диаметром  $\sim 200$  мкм. Плотность потока излучения на этой мишени составила  $(4 - 5) \times 10^{15}$  Вт/см<sup>2</sup>, время между приходом первого и второго импульсов на мишень было равно  $\sim 5 - 6$  мкс, давление остаточного воздуха в камере – примерно  $10^{-2}$  Тор.

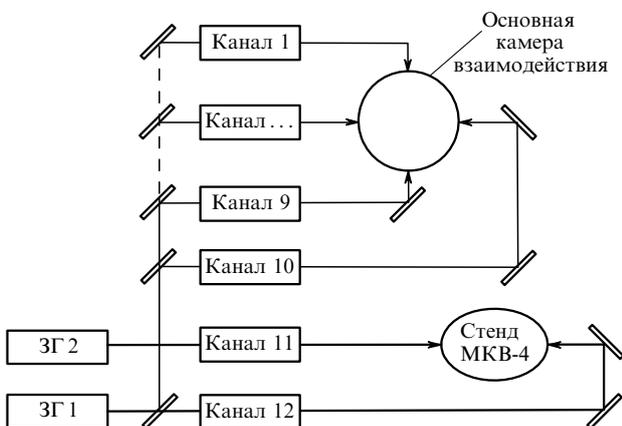


Рис.1. Упрощённая оптическая схема установки «Искра-5» после её модернизации.

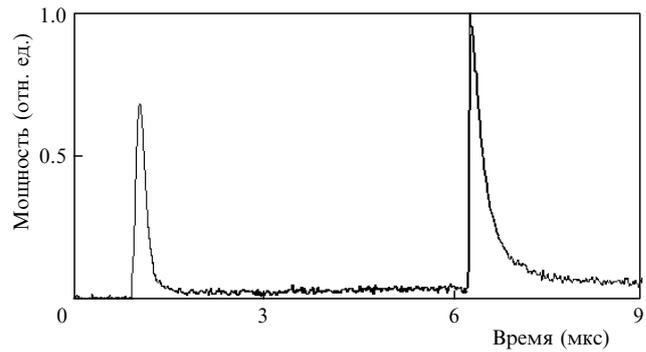


Рис.2. Оциллограмма мощности свечения двух мишеней в спектральной области вблизи  $\lambda = 0.4$  мкм

В результате после прихода первого лазерного импульса образуется сферическое облако плазмы. Плазма расширяется в атмосферу «фонового» воздуха. Второго лазерный импульс формирует струю плазмы от плоской мишени, которая распространяется через сферическое облако плазмы от первой мишени.

Для иллюстрации итогов серии экспериментов, проведённых с двумя разнесенными в пространстве мишенями, на рис.2 и 3 представлены результаты регистрации свечения плазмы, полученные с помощью двух временных диагностических методик.

На рис.2 показана зависимость мощности светового излучения плазмы от времени, которая получена с помощью методики спектрально-временных измерений, построенной по принципу фильтр – детектор. Измерения проводились в спектральной области вблизи  $\lambda = 0.4$  мкм, в качестве детектора использовался коаксиальный фотоэлемент СДФ-7, временное разрешение было равно  $\sim 3$  нс. Видно, что разность времён прихода на регистрирующий прибор световых импульсов от разных мишеней в данном опыте составила 5.3 мкс. Время свечения мишеней по уровню половинной мощности равнялось 0.15 и 0.22 мкс.

На рис.3 приведён результат покадровой съёмки в видимом диапазоне спектра процесса образования и взаимного влияния двух плазменных облаков (ПО), образующихся при облучении сферической (в центре кадров) и

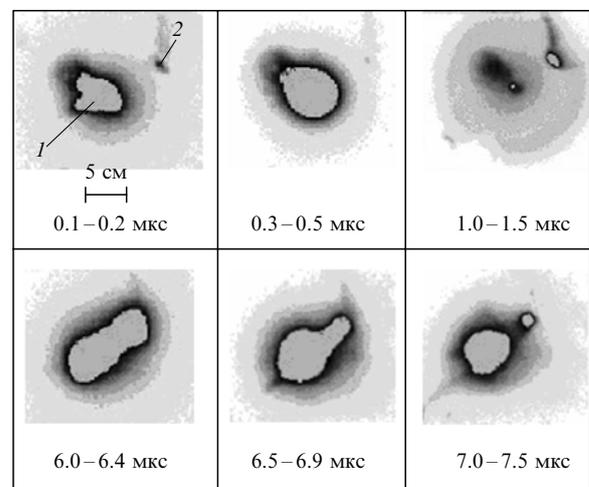


Рис.3. Результат покадровой съёмки свечения ПО, образованных при воздействии двух лазерных импульсов на сферическую и плоскую мишени:

1 – центр сферической мишени; 2 – местоположение плоской мишени.

плоской (в верхних правых углах кадров) мишеней двумя разнесёнными во времени на 6.2 мкс лазерными импульсами. Регистрирующий прибор был настроен так, что в области центра мишеней происходило насыщение его катода. Данный режим работы был выбран специально для регистрации слабо светящихся границ ПО.

Нулевому моменту времени на рис.3 соответствует приход лазерного излучения на сферическую мишень. На первом кадре кроме процесса образования ПО от сферической мишени наблюдается свечение плоской мишени, вызванное воздействием излучения сферической мишени. На втором кадре свечение плоской мишени практически прекратилось. К началу экспозиции третьего кадра плазма от сферической мишени долетает до плоской и вызывает её свечение. К шестой микросекунде свечение ПО сферической мишени полностью прекращается (этого кадра на рис.3 нет). Экспонирование четвертого кадра начинается за 0.2 мкс до прихода второго импульса на плоскую мишень. На этом кадре наблюдается свечение как плоской мишени, так и области плазмы сферической мишени. На последующих двух кадрах видно дальнейшее развитие ПО плоской мишени в виде струи и взаимодействие плазмы плоской и сферической мишеней. Таким образом, отчетливо наблюдается взаимное влияние облаков плазмы.

Максимальный разброс от опыта к опыту интервалов времени между двумя лазерными импульсами относительно установленного составляет в проведённой серии экспериментов  $\pm 0.5$  мкс. Этот разброс определяется как разбросом времен срабатывания цепочки коммутирующих устройств установки (0.3 мкс [6]), так и разбросом времён развития генерации в ЗГ относительно начала импульсов их накачки.

Таким образом, проведённые эксперименты продемонстрировали работоспособность модернизированной «ветви» установки «Искра-5», а следовательно, и расширение функциональных возможностей самой установки.

1. Hunt J.T., Speck D.R. *Opt. Eng.*, **28**, 461 (1989).
2. Nakai S. et al. *Nucl. Fusion*, **30** (9), 1779 (1990).
3. Анненков В.И., Багрецов В.А., Безуглов В.Г. и др. *Квантовая электроника*, **18** (5), 536 (1991).
4. Антонов В.М., Захаров Ю.П., Максимов В.В. и др. *ТВТ*, **23** (4), 649 (1985).
5. Byung-II Jun, Jones T.W. *Astrophys. J.*, **511**, 774 (1999).
6. Besuglov V.G., Galakhov I.V., Gasheev A.S., et al. *Proc. XI Int. Conf. on High Power Particle Beams* (Prague, Czech Republic, 1996, p. 977).
7. Богуненко Ю.Д., Бессараб А.В., Бондаренко Г.А. и др. *Физика плазмы*, **31** (8), 765 (2005).
8. 1
9. Анненков В.И., Беспалов В.И., Бредихин В.И. и др. *Квантовая электроника*, **35** (11), 993 (2005).