

ЗАДАЮЩИЙ ГЕНЕРАТОР С УПРАВЛЯЕМОЙ ВРЕМЕННОЙ ФОРМОЙ ИМПУЛЬСА ДЛЯ ОБЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МИШЕНЕЙ НА УСТАНОВКЕ «ЛУЧ»

В. Ю. Телегина, Б. Г. Зималин, М. Г. Кузин, А. А. Маринин

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Введение

Перспективы развития физики взаимодействия лазерного излучения с веществом во многом определяются научно-техническим прогрессом в области разработки и совершенствования мощных лазерных установок наносекундной длительности импульсов. Для этих целей в ряде ведущих лабораторий мира созданы и успешно применяются лазерные установки на неодимовом фосфатном стекле. В институте лазерно-физических исследований РФЯЦ-ВНИИЭФ с 2002 г. также действует лазерная установка «Луч», на которой совместно проводятся эксперименты по отработке новых технических решений для мощных неодимовых установок и облучению мишеней различных типов [1].

Установка «Луч» построена по принципу усиления лазерного импульса с энергией ≈ 1 Дж, длительностью 3–5 нс и длиной волны $\lambda = 1054$ нм в двух четырехпроходных дисковых усилителях на основе неодимового фосфатного стекла. Излучение с заданными пространственными, временными и спектральными характеристиками создается в системе формирования опорного излучения (СФОИ) и инжектируется на вход главных усилителей.

Для проведения ряда экспериментальных исследований на установке «Луч» по взаимодействию мощного лазерного излучения с веществом требуется лазерный импульс с длительностью фронта нарастания мощности излучения не более 0,5 нс. Длительность фронта лазерного импульса, формируемого с применением лазерного разрядника на установке «Луч», как правило, составляла 1 нс. Формирование

более короткого фронта возможно с применением современных генераторов высоковольтных импульсов, управление которыми осуществляется посредством электрических сигналов.

Формирование заданных условий облучения мишеней и их стабилизация от опыта к опыту во многом зависит от стабильности энергии лазерного импульса непосредственно на выходе задающего генератора. С целью стабилизации параметров лазерного импульса предложено разработать новый задающий генератор СФОИ, накачка активной среды которого осуществляется посредством лазерных диодов. Применение в задающем генераторе активной модуляции добротности позволяет обеспечить согласование моментов срабатывания ячеек Поккельса системы временного профилирования и генерацией гигантского импульса. В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований по отработке и вводу в эксплуатацию нового задающего генератора системы формирования опорного излучения установки «Луч». Представлены результаты исследований временной формы импульсов, пространственного распределения энергии в пучке, а также стабильности энергии излучения.

Описание и принцип формирования импульса задающего генератора

Задающий генератор представляет собой плоскочастотный резонатор с активным элементом Nd:YLF и диодной накачкой. На рис.1 приведена схема задающего генератора.

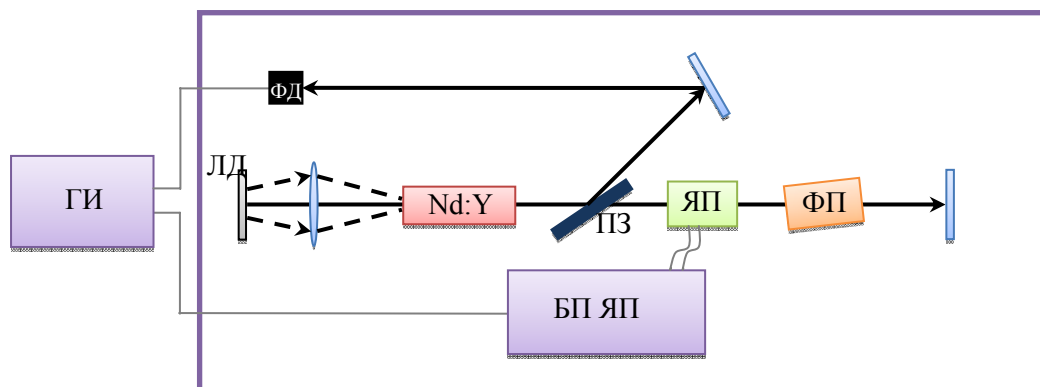


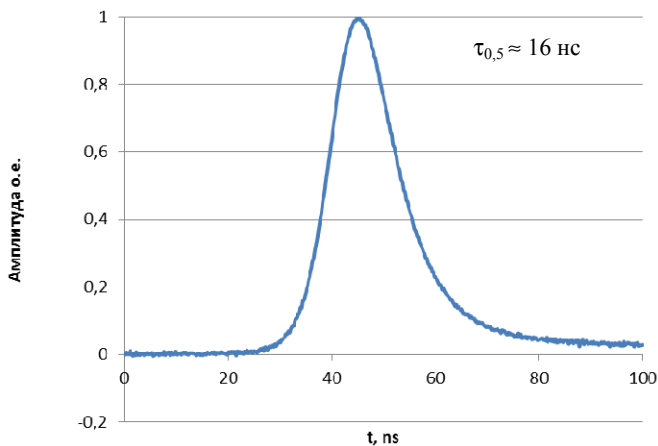
Рис. 1. Оптическая схема задающего генератора: ГИ – генератор импульсов, ЛД – лазерный диод, ФД – фотодиод, ПЗ – поляризационное зеркало, ЯП – ячейка Поккельса, БП ЯП – блок питания ячейки Поккельса, ФП – эталон Фабри–Перо

Излучение накачки (длина волны $\lambda_{\text{нак}} = 795 - 799$ нм) лазерного диода попадает на линзу, которая фокусирует его на активном элементе. Активный элемент представляет собой стержень из кристалла Nd:YLF с размерами (диаметр×длина) 5×10 (мм). Один из торцев активный элемент выполнен в виде зеркала и вместе с выходным зеркалом образует резонатор, где начинается развитие импульса свободной генерации. Коэффициент отражения выходного зеркала $R = 0,6$. Через поляризационное зеркало импульс попадает на фотодиод, который его преобразует в электрический сигнал. Существование импульса свободной генерации в резонаторе длительностью сотни наносекунд обеспечивает селекцию продольных мод в эталоне Фабри–Перо за счет большого числа проходов по резонатору. Внутррезонаторная ячейка Поккельса в первоначальном состоянии находится под напряжением 2–2,5 кВ, которое подбирается таким образом, чтобы развитие импульса свободной генерации начиналось при максимальном коэффициенте усиления активной среды. В момент, когда интенсивность импульса свободной генерации достигает некоторой величины (подбирается экспериментально по осциллограмме), уровень сигнала

с фотодиода запускает блок питания ячейки Поккельса, сбрасывая запирающее напряжение. При открытом состоянии ячейки Поккельса в резонаторе начинается генерация гигантского импульса, который за несколько проходов по резонатору сбрасывает большую часть запасенной лазерной энергии. Длительность гигантского импульса на выходе разработанного задающего генератора составляла $\tau_{0,5} \approx 16$ нс.

На рис. 2. представлены пространственные и временные характеристики лазерного импульса на выходе задающего генератора.

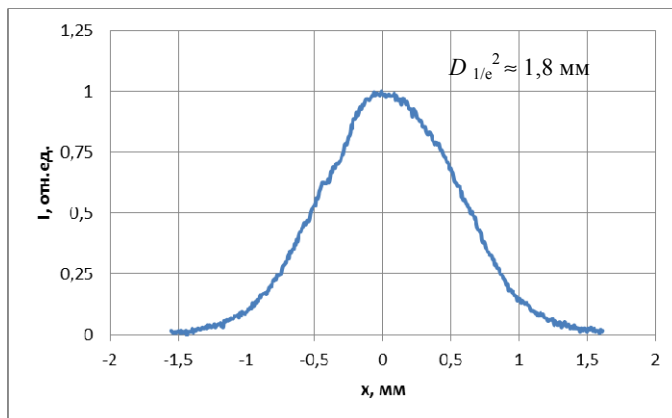
Временная форма лазерного импульса асимметричная с более крутым передним и более протяженным задним фронтами, что характерно для задающих генераторов с активной и пассивной модуляцией добротности. Отсутствие периодических по времени изменений интенсивности свидетельствует о формировании одночастотного режима генерации (полоса пропускания регистрирующей аппаратуры 4 ГГц). Пространственное распределение интенсивности по форме близкое к гауссовой, что позволяет сделать вывод о формировании одной поперечной моды в резонаторе. Диаметр пучка по основанию $1/e^2$ составил $\approx 1,8$ мм.



а



б



в

Рис. 2. Пространственно-временные характеристики лазерного излучения на выходе задающего генератора: а – временная форма; б – ближняя зона; в – пространственное распределение

Исследование стабильности энергии излучения задающего генератора

Стабильность энергии лазерного импульса определялась в нескольких сериях экспериментов, отличающихся временным интервалом между срабатываниями задающего генератора.

Во всех сериях экспериментов проведены измерения стабильности энергии излучения с частотой срабатывания лазера $f = 1$ Гц. Каждая серия включала в себя 50 срабатываний. Результаты измерений энергии лазерных импульсов на выходе задающего генератора в трех сериях при срабатывании с частотой $f = 1$ Гц приведены в таблице ниже. В данной таблице представлены среднее (MEAN), минимальное (MIN), максимальное (MAX) значение энергии в серии, а также стандартное отклонение (DEV) в абсолютных единицах. Дополнительно приведено стандартное отклонение энергии в каждой серии в абсолютных и относительных величинах.

Статистика стабильности энергии на выходе задающего генератора

Номер серии	Параметр измерения энергии			
	E_{MEAN} , мДж	E_{MIN} , мДж	E_{MAX} , мДж	$E_{\text{std.откл.}}$, мкДж
1	10,53	10,28	10,83	115,6 (1,1 %)
2	10,48	10,17	10,65	111,2 (1,1 %)
3	10,42	10,06	10,61	113,2 (1,1 %)

Результаты проведенных исследований показали, что стандартное отклонение энергии излучения задающего генератора во всех сериях проведенных экспериментах составляет не более 1,1 % от среднего значения, что вполне удовлетворяет требованиям к задающему генератору установки «Луч».

Система временного профилирования

Для формирования импульса излучения с требуемой регулируемой длительностью была разработана оптоэлектронная система временного профилирования импульса.

Функциональная схема системы временного профилирования представлена на рис. 3.

Система временного профилирования состоит из двух ячеек Поккельса, расположенных между тремя, попарно скрещенными призмами Глана. Формирование высоковольтных импульсов на ячейках Поккельса осуществляется специальными генераторами импульсных напряжений производства АО «ПК «ФИД-Техника», г. Санкт-Петербург. Синхронизация задающего генератора и блоков управления ячеек Поккельса осуществлялась генератором импульсов ТТЛ уровня. При сформированном импульсе свободной генерации, сигнал с фотодиода подается на генератор электрических импульсов, который, в свою очередь, управляет запуском блоков питания ячеек Поккельса системы временного профилирования.

Проведена серия регистраций временных форм лазерных импульсов на выходе системы временного профилирования с различными блоками питания ячеек Поккельса. Регистрация временной формы проводилась посредством осциллографа (полоса пропускания 4ГГц) и датчиком (полоса пропускания 5ГГц).

Формы профилированных импульсов излучения представлены на рис. 4.

Временные формы, представленные на рис. 4, длительностью по полувысоте ≈ 8 нс применяются для экспериментов по исследованию откольных явлений. Временная форма импульса, длительностью 3,3 нс, позволяет компенсировать искажения временного профиля импульса излучения в дисковых каскадах установки «Луч», возникающих вследствие насыщения, и сформировать на выходе усилительного тракта импульс с прямоугольным временным профилем интенсивности.

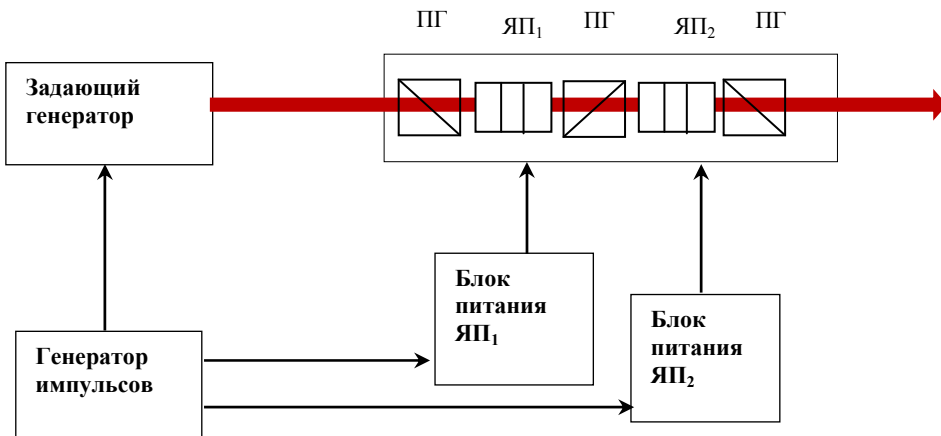


Рис. 3. Принципиальная схема системы временного профилирования:
ЯП – ячейка Поккельса, ПГ – призма Глана

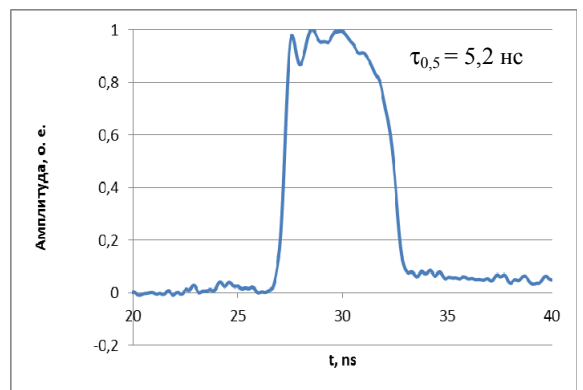
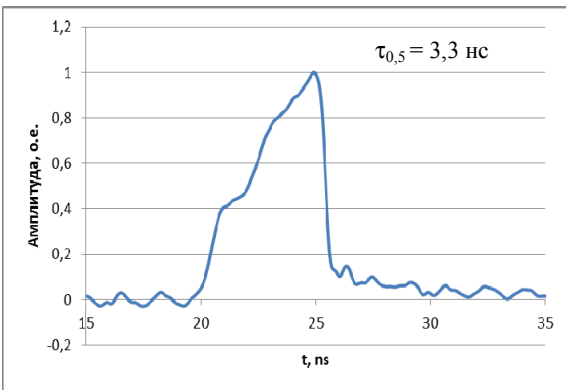
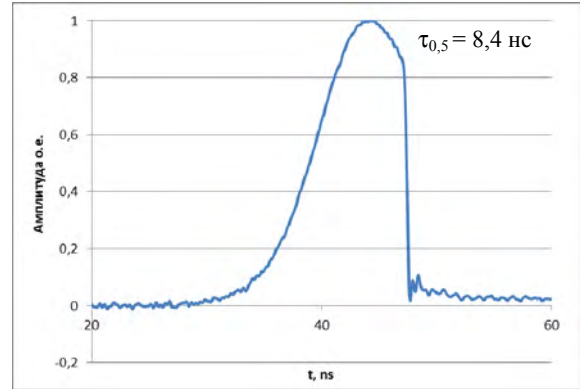
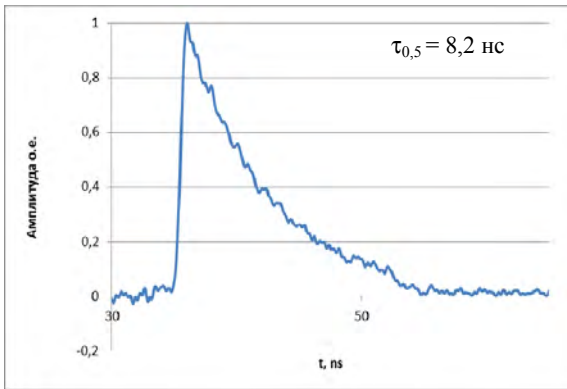
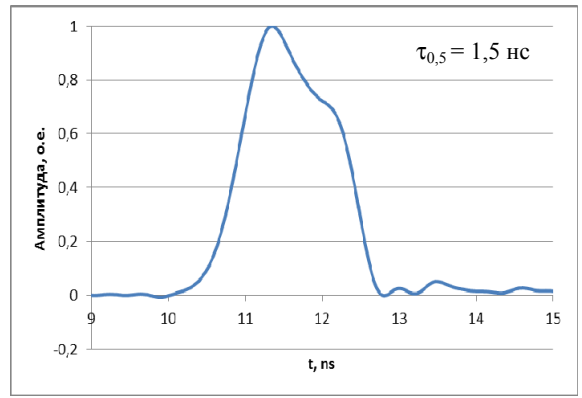
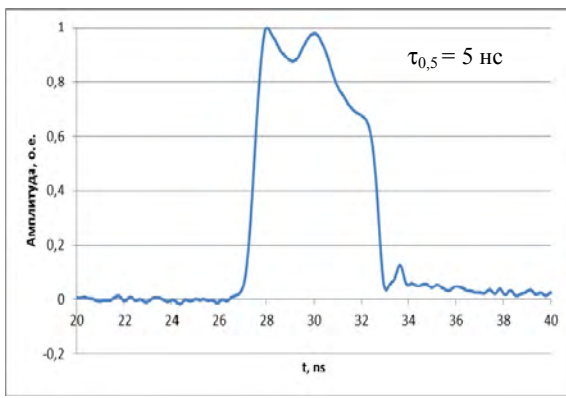


Рис. 4. Различные временные формы лазерных импульсов на выходе системы временного профилирования

Экспериментальная отработка нового задающего генератора в составе лазерной установки «Луч»

Исследование задающего генератора завершились полномасштабным экспериментом с регистрацией основных параметров излучения на выходе установки «Луч». Схема установки приведена на рис. 5. Новый задающий генератор был внедрен в штатную схему СФОИ, где, после двухпроходного предусилителя (ПУ-2), излучение впрыскивалось в главный усилительный тракт. Зарегистрированы энергия излучения, распределения интенсивности в ближней и дальней зонах, временные формы импульса на входе и выходе главного усилительного тракта.

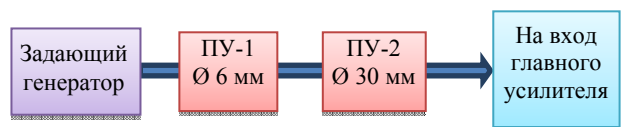
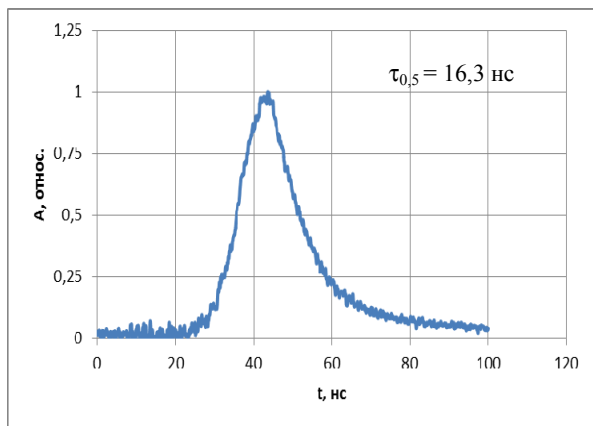


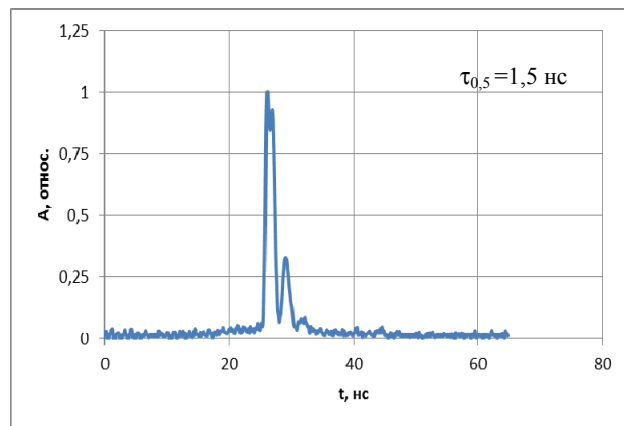
Рис. 5. Схема формирования опорного излучения

На рис. 6 представлены временные формы импульса на выходе задающего генератора и входе главного усилительного тракта.

На рис. 7 представлена ближняя зона и профиль лазерного пучка на выходе системы формирования опорного излучения.



а



б

Рис. 6. Временная форма импульса: а – на выходе нового задающего генератора $\tau_{0,5} = 16,3$ нс; б – на выходе системы временного профилирования $\tau_{0,5} = 1,5$ нс

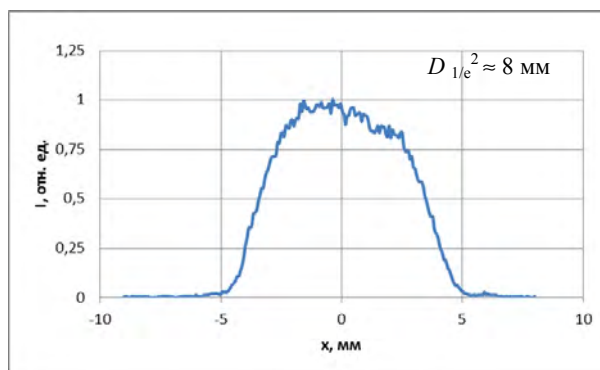
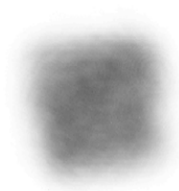


Рис. 7. Ближняя зона и пространственное распределение лазерного излучения на выходе СФОИ

Апертура пучка по основанию $1/e^2$ составляет 8×8 мм². Энергия на выходе СФОИ составила $E_{\text{СФОИ}} = 104$ мДж. Расходимость излучения в первой гармонике по уровню 0,8 составила $\Theta_{0,8} = 1,4 \times 10^{-4}$ рад, что соответствует штатной расходимости излучения в проводимых ранее исследованиях.

На рис. 8 представлена временная форма лазерного импульса на выходе силового тракта в первой гармонике.

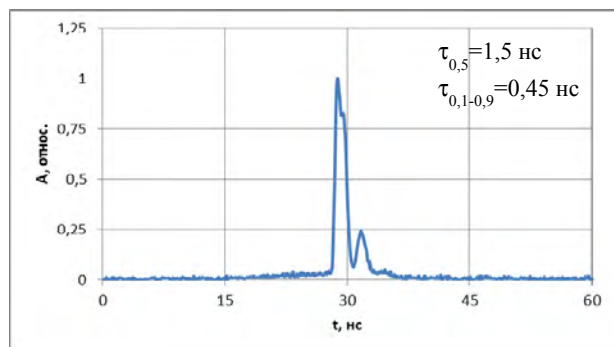


Рис. 8. Временная форма импульса на выходе силового тракта в первой гармонике

Из рис. 6б и 8 видно, что в результате насыщения усиления большую часть энергии снимает основной импульс, поэтому отношение с послеимпульсом становится 1:4 вместо 1:3. Проведенные экспериментальные исследования показали, что разработанный задающий генератор может быть применен в составе установки «Луч» для расширения спектра проводимых исследований по облучения мишеней различных конструкций, в частности, требующих специально профилированные временные формы лазерных импульсов.

Заключение

В результате проведенных исследований разработан новый задающий генератор установки «Луч», формирующий лазерный импульс в режиме активной модуляции добротности резонатора с одной продольной и одной поперечной модой. Активная среда задающего генератора выполнена в виде кристалла YLF:Nd, накачка которого осуществляется импульсными лазерными диодами.

Проведенные исследования показали, что на выходе задающего генератора длительность гигантского импульса составляет $\tau_{0,5} \approx 16$ нс, энергия ≈ 1 мДж. Среднеквадратичное отклонение энергии импульса от выстрела к выстрелу составляет 1,1 %.

Разработана и исследована система временного профилирования лазерного импульса, выполненная на основе двух ячеек Поккельса и высоковольтных источников питания, управляемых от электрических сигналов и позволяющих формировать различные временные формы лазерных импульсов. Показана возможность формирования, как импульсов с гауссоподобной временной формой и регулируемой длительностью от $\tau_{0,5} \approx 1,2$ нс до $\tau_{0,5} \approx 5$ нс, так и импульсов более сложной формы, применяемых для исследований, например, откольных явлений в мишенях.

Проведена предварительная экспериментальная отработка нового задающего генератора в составе установки «Луч». При длительности лазерного импульса $\tau_{0,5} \approx 1,5$ нс на выходе установки получена

энергия излучения 400 Дж. Пространственно-угловые параметры излучения соответствовали штатным требованиям.

Проведенные исследования показали целесообразность применения разработанного задающего генератора в составе установки «Луч» с последующим исследованием усиления лазерных импульсов с различной длительностью и формой временного профиля.

Литература

1. Гаранин С. Г., Зарецкий А. И., Ильяев Р. И., Кириллов Г. А., Кочемасов Г. Г., Курунов Р. Ф., Муругов В. М., Сухарев С. А. Канал мощной установки «Луч» для ЛТС с энергией импульса 3,3 кДж и длительностью 4 нс // Квантовая электроника. 2005. Т. 35, № 4. С. 299–301.