

СВЕТОДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ 1ω ИМПУЛЬСНЫХ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ЛАЗЕРНЫХ УСТАНОВОК

А. И. Петрунин¹, Д. С. Седов², С. А. Фролов²

¹СарФТИ НИЯУ «МИФИ», ²ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

Оптические схемы системы диагностики параметров лазерного излучения являются неотъемлемой частью импульсных многоканальных лазерных установок (ИМЛУ) мегаджоульного уровня. Элементы системы диагностики, установленные в ключевых точках силовых каналов, позволяют проведение измерений пространственно-энергетических параметров излучения 1ω на входе и выходе многопроходной схемы усиления силовых каналов и параметров излучения 2ω или 3ω фокусируемого на мишень.

Цель данной работы – это проведение краткого обзора светоделительных элементов схем диагностики параметров лазерного излучения 1ω на выходе силовых каналов существующих и проектируемых ИМЛУ.

Основной задачей, решаемой оптической схемой системы диагностики выходных параметров излучения 1ω , является согласование световой апертуры выхода силового канала с приемными площадками детекторов при выполнении требований по перестроению изображений обеспечению энергетических нагрузок. При этом необходимо выполнить масштабирование излучения для уменьшения световой апертуры пучка в 20–30 раз отвести $1 \cdot 10^{-3}$ – $1 \cdot 10^{-4}$ часть силового импульса при минимальных искажениях измеряемых характеристик.

В связи с этим, важным пунктом для систем диагностики установок такого класса является широкоапертурный светоделительный элемент, предназначенный для отведения излучения в схему измерения параметров лазерного излучения.

Начнем с рассмотрения широкоапертурного светоделительного элемента оптической схемы диагностики установки LMJ (см. рис. 1): после 4-го прохода через силовой канал, лазерный импульс направляется в систему транспортировки излучения. Более 99 % излучения отражается от первого транспортного зеркала и направляется к мишени, а малая часть импульса проходит через первое транспортное зеркало и проецируется телескопом Кассегрена на измерительные приборы, расположенные в боксе диагностики [1]. Плюсы применения транспортного зеркала с $R > 99\%$ в качестве широкоапертурного светоделительного элемента: компактность схемного решения, а так же отсутствие дополнительных элементов в ходе лучей силового импульса.

Минусом применения транспортного зеркала с $R > 99\%$ в качестве диагностического светоделительного элемента является неоднородность коэффициента отражения по площади зеркала, что увеличивает погрешность измерения параметров пучка. Так же важным недостатком такого решения является деформация транспортного зеркала вследствие отсутствия весовой разгрузки, что приводит к искажению хода лучей в диагностической схеме.

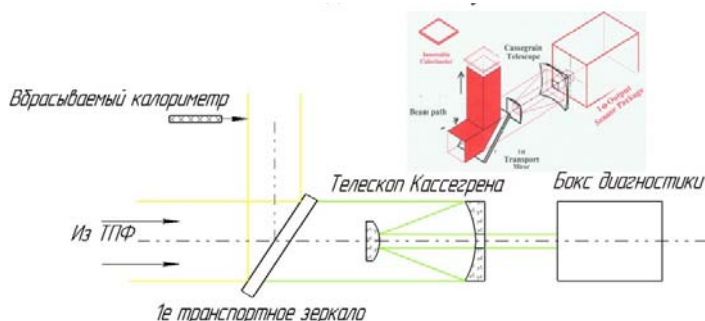


Рис. 1. Широкоапертурный светоделительный элемент схемы диагностики параметров выходного лазерного излучения установки LMJ

Далее рассмотрим светоделительный элемент диагностической схемы установки NIF. (рис. 2): После 4-го прохода через силовой канал, лазерный импульс попадает на светоделительный клин с коэффициентом отражения $R \approx 0,1\%$, расположенный непосредственно за выходной линзой ТПФ [2]. Отраженный луч возвращается обратно и попадает на зеркало, находящееся внутри вакуумного объема ТПФ. Затем, пучок выводится из ТПФ и проходит через оптическую схему, состоящую из 19 элементов, которая масштабирует апертуру пучка и проецирует перестраиваемую плоскость изображения на приемные площадки детекторов, расположенных в боксе диагностики. [2]

Плюсы применения отдельного просветленного светоделительного элемента с коэффициентом отражения $R \approx 0,1\%$: простота схемного решения и один дополнительный крупногабаритный элемент, так как линза ТПФ используется в качестве объектива телескопической пары схемы диагностики.

Минусом применения отдельного просветленного светоделительного элемента с коэффициентом отражения $R \approx 0,1\%$ как и для решения, применяемого на установке LMJ, является неоднородность коэффициента отражения на поверхности светоделителя, что приводит к увеличению погрешности измерения параметров пучка, а так же сложность разработки технологии и нанесения однородных просветляющих покрытий. Вследствие, постановки в ходе лучей дополнительного элемента, требуется учет его положения при юстировке силового канала.

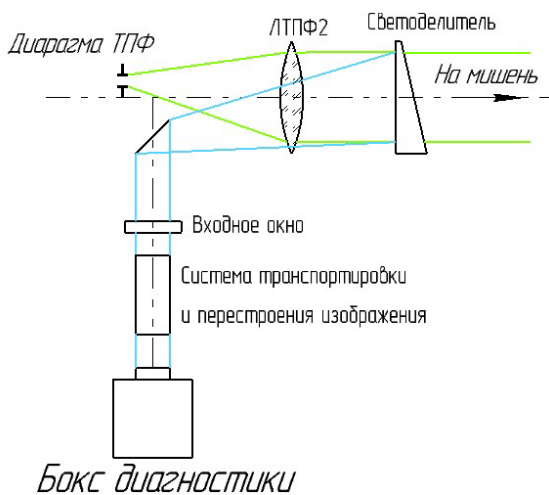


Рис. 2. Широкоапертурный светоделительный элемент схемы диагностики параметров выходного лазерного излучения установки NIF

Для проектируемой ИМЛУ рассматривалось несколько вариантов схем отведения излучения для измерения параметров силового излучения диагностики. Помимо решений, применяемых на установках NIF и LMJ, анализировались такие варианты светоделительных элементов как: схемное решение с телескопической линзой, схемное решение с дифракционной отражающей решеткой и двухкомпонентное схемное решение с оптическим элементом без покрытий, которое мы рассмотрим подробнее (см. рис. 3). В последнем варианте в ход лучей устанавливается клин, наклоненный к излучению под углом, близким к углу Брюстера, в той же плоскости, что и слэбы усилителей. Возврат излучения в ТПФ производится за счет отражения от зеркала и, повторно, от клина. Далее излучение выводится за пределы ТПФ и элементами оптической схемы направляется к детекторам, расположенным в диагностическом боксе.

Плюсы данного схемного решения: надежность и однородность коэффициента отражения за счет отсутствия покрытий, а так же возможность регулировки коэффициента отражения за счет изменения угла установки клина относительно пучка.

Минусы данного схемного решения: два крупногабаритных оптических элемента для отведения излучения в схему диагностики. Из-за клина, установленного в ходе лучей, требуется учет его

положения при юстировке силового канала. Необходимо разделение деполаризованной составляющей диагностируемого импульса из-за разного коэффициента отражения излучения от клина.

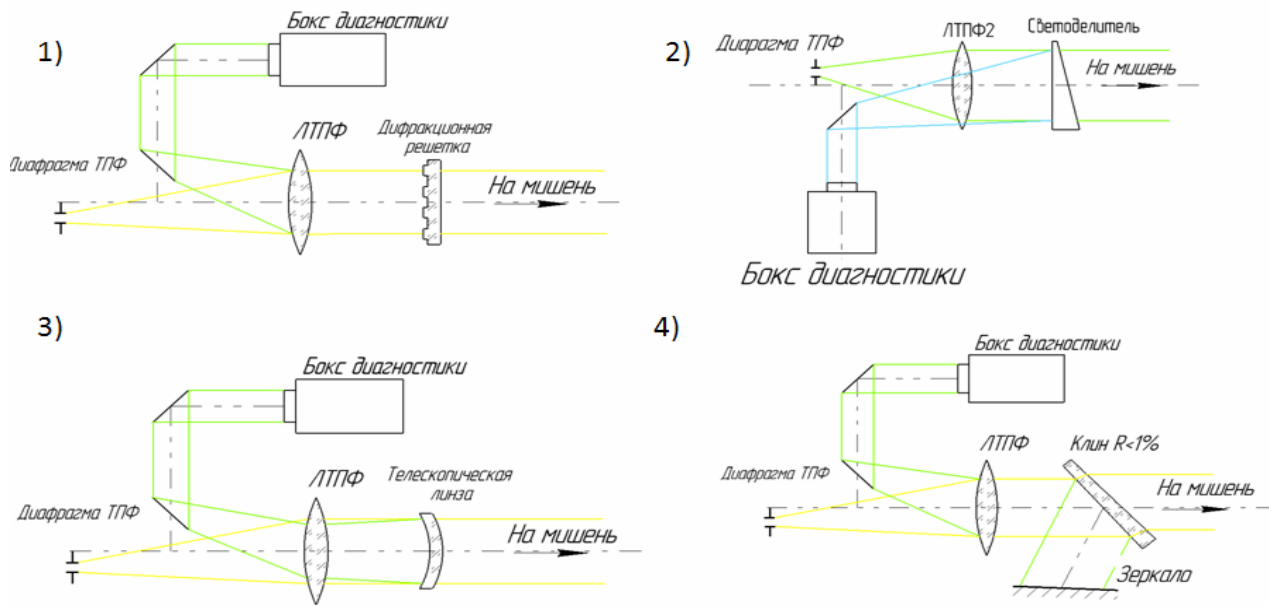


Рис. 3. Схемные решения широкоапертурного светоделительного элемента проектируемой ИМЛЮ: 1 – схемное решение с дифракционной решеткой, 2 – схемное решение с просветленным клином, 3 – схемное решение с телескопической линзой, 4 – двухкомпонентное схемное решение

Помимо крупногабаритных светоделительных элементов на ИМЛЮ мегаджоульного уровня широко применяются и элементы со световой апертурой не превышающей 20–50 мм. Например, всхемесветоделения 1:4 системы предусилителей установки NIF[2], системах центрировки и юстировки установок NIF и LMJ, диагностических системах рассматриваемых ИМЛЮ. Среди основных типов светоделительных элементов малой апертуры, применяемых в схемах ИМЛЮ, в зависимости от типа их конструкции можно выделить пластину и куб. В схеме диагностики параметров выходного лазерного излучения установки NIF используются светоделительные пластины (см. рис. 4), в схеме установки LMJ – светоделительные кубы.

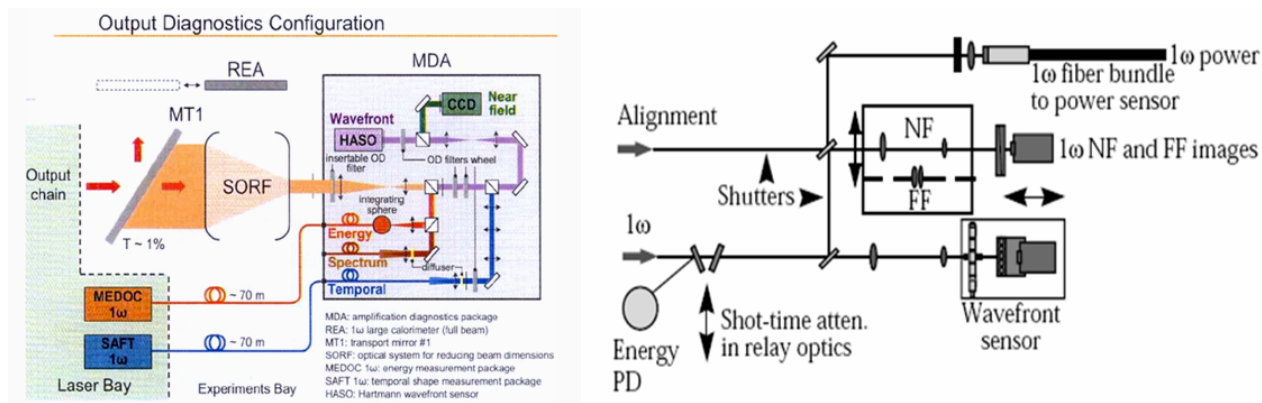


Рис. 4. Схемы боксов диагностики параметров выходного лазерного излучения установок LMJ (слева) и NIF (справа)

Для проектируемой ИМЛУ применяются оба типамалоапертурных светоделительных элементов: поляризационный светоделительный куб для отведения деполяризованной составляющей излучения с коэффициентом контрастности $T_p/T_s > 500:1$; неполяризационные светоделительные кубы для разделения импульса в отношении 50/50; светоделительные зеркала для разделения отраженного и преломленного излучения в отношении 90/10.

Список литературы

1. http://www-lmj.cea.fr/docs/2016/LMJ_PETAL_Users_guide_v1.2b.pdf
2. ICF Quartely Report, April-June 1997, Volume 7, Number 3.
3. NIF User Guide, Lawrence Livermore National Laboratory, LLNL-AR-585912_NIF-0135637-AA_2012-040468_NIF_UserGuide.