

Широкоапертурная эксимерная лазерная система

В.Ф.Лосев, Б.М.Ковальчук, В.Ф.Тарасенко, Ю.Н.Панченко, Н.Г.Иванов, И.Н.Коновалов, Э.Н.Абдуллин, А.Н.Панченко, Ж.Лю, В.Б.Зорин, В.С.Скаун, В.П.Губанов, А.С.Степченко, В.С.Толкачев

Сообщается о создании эксимерной лазерной системы с выходной апертурой диаметром 40 см, состоящей из пяти лазеров, три из которых возбуждаются электрическим разрядом, два – электронным пучком. В первом лазере формируется импульс излучения на длине волны 308 нм с длительностью 200–250 нс, шириной спектральной линии 0.9 см^{-1} и расходимостью, близкой к дифракционному пределу. Этот импульс усиливается в активной среде остальных лазеров. В результате на выходе третьего усилителя получено излучение с энергией 5 Дж, шириной спектральной линии 0.9 см^{-1} и расходимостью 37 мкрад. Импульс выходного излучения всей системы имеет энергию до 330 Дж и длительность 200–250 нс.

Ключевые слова: эксимерный усилитель, эксимерная лазерная система, длительность импульса.

1. Введение

Лазерные системы на галогенидах благородных газов являются самыми мощными и эффективными источниками когерентного излучения в УФ области спектра. Это уникальный инструмент, с помощью которого решаются многие фундаментальные и прикладные задачи, среди которых такие, как инерциальный термоядерный синтез, взаимодействие излучения сверхвысокой интенсивности с веществом, генерация рентгеновского излучения, ускорение частиц в сверхсильных электромагнитных полях и т. д.

Наиболее мощной эксимерной лазерной системой в настоящее время является система Nike (США), на которой получены импульсы излучения с энергией до 5 кДж при длительности на полувысоте 240 нс (молекула KrF, $\lambda = 248 \text{ нм}$) [1]. Выходной усилитель этой системы имеет апертуру $60 \times 60 \text{ см}$. Система создана и используется для решения проблемы лазерного инерциального термоядерного синтеза. На ней исследуется формирование мощных импульсов наносекундного диапазона и их взаимодействие с мишенью. Вторая по энергии эксимерная лазерная система – SuperAshura – создана в Японии [2]. Ее выходной усилитель имеет апертуру 61 см. Эта система генерирует импульс излучения с энергией до 3.7 кДж ($\lambda = 248 \text{ нм}$) и длительностью $\sim 240 \text{ нс}$. На данной лазерной системе ведутся эксперименты по формированию мощных нано- и пикосекундных импульсов излучения и их взаимодействию с веществом. Созданная в Англии мощная лазерная система на KrF Titania с выходной энергией излучения $\sim 1 \text{ кДж}$ в импульсе длительностью $\sim 150 \text{ нс}$ [3]

имеет апертуру выходного усилителя диаметром 42 см. Она предназначена для экспериментов по формированию мощных лазерных пучков пикосекундного и фемтосекундного диапазонов и их взаимодействию с веществом.

В России также ведутся работы по созданию мощных эксимерных лазеров и лазерных систем [4–12]. Так, в Институте сильноточной электроники СО РАН создана лазерная система МЭЛС-4к с апертурой выходного усилителя $25 \times 25 \text{ см}$ и энергией излучения на длине волны 308 нм до 200 Дж в импульсе длительностью 250 нс [6, 7]. Разработаны лазеры с апертурой диаметром 40 см [8] и 60 см [9–11], в которых используется XeCl ($\lambda = 308 \text{ нм}$), генерирующие импульсы излучения с энергией до 660 Дж и 1.9 кДж при длительности ~ 350 и 250 нс соответственно. В ФИАНе создана лазерная система на KrF с выходным модулем «Гарпун», который имеет апертуру $16 \times 18 \text{ см}$ и генерирует импульс длительностью 100 нс с энергией 80 Дж [12].

В настоящей работе сообщается о создании и запуске пятикаскадной лазерной системы на XeCl с выходной апертурой диаметром 40 см, которая обеспечивает энергию качественного излучения до 330 Дж в импульсе длительностью $\sim 250 \text{ нс}$, и о полученных на ней первых экспериментальных результатах.

2. Экспериментальная аппаратура и результаты эксперимента

Лазерная система состоит из пяти эксимерных лазеров («Фотон-1»–«Фотон-5»), системы синхронизации и запуска, а также согласующих оптических элементов. В первых трех лазерах возбуждение рабочей смеси осуществляется электрическим разрядом, в остальных – электронным пучком. Все измерения параметров лазерного излучения в экспериментах выполнялись традиционными методами с использованием стандартных приборов. Для измерения временных и энергетических характеристик импульсов лазерного излучения применялись ваку-

В.Ф.Лосев, Б.М.Ковальчук, В.Ф.Тарасенко, Ю.Н.Панченко, Н.Г.Иванов, И.Н.Коновалов, Э.Н.Абдуллин, А.Н.Панченко, В.Б.Зорин, В.С.Скаун, В.П. Губанов, А.С.Степченко, В.С.Толкачев. Институт сильноточной электроники СО РАН, Россия, 634055 Томск, просп. Академический, 2/3; e-mail: VFT@loi.hcei.tsc.ru, alexei@loi.hcei.tsc.ru
Liu J. Northwest Institute of Nuclear Technology, China, 710024, Xian, P.O.Box; e-mail: Liujingru2k3@vip.sina.com



Рис.1. Лазерная установка «Фотон-1».

умный фотодиод ФЭК-22 и calorиметры ТПИ, ИКТ-2Н, ОРНИР с измерительной головкой L30A-EX. Исследуемые сигналы регистрировались осциллографами модели TDS.

2.1. Электроразрядные лазеры

Внешний вид «Фотона-1» представлен на рис.1. Он имеет стальную лазерную камеру диаметром 35 см с установленными внутри электродами разрядного промежутка. Длина электродов составляет 107 см (активная длина 102 см), межэлектродный зазор равен 4 см. В лазерной камере находится прямоугольное окно, закрытое изолятором, через который осуществляется питание разряда. На поверхности изолятора расположены элементы системы возбуждения лазера, высоковольтные части которой закрыты металлическим кожухом.

Для возбуждения разряда применяется электрическая схема с использованием индуктивного накопителя энергии и полупроводникового прерывателя тока (12 диодов типа SOS) [13]. В такой схеме высоковольтный импульс с коротким передним фронтом, необходимый для зажигания разряда, формируется за счет обостряющей емкости $C = 3.2$ нФ, которая заряжается от индуктивного накопителя энергии. Предыонизация разряда осуществляется автоматически при зарядке обострительных конденсаторов излучением 90 искровых промежутков, равномерно расположенных с двух сторон от анода. Основная энергия поступает в активную среду от накопительной емкости 550 нФ, заряжаемой до напряжения 18 кВ. Резонатор лазера образован зеркалами с диэлектрическим покрытием с коэффициентами отражения 100 % и 20 %. На смеси $Ne : Xe : HCl = 1520 : 10 : 1$ при давлении 2 атм максимальная энергия генерации лазера превышала 1.5 Дж при длительности импульса 300 нс и полном КПД 1.35 %.

Два других электроразрядных лазера («Фотон-2» и «Фотон-3» [14, 15]) имеют практически одинаковые схемы накачки и конструктивное исполнение. Внешний вид «Фотона-3» приведен на рис.2. Лазеры состоят из трех основных блоков, включающих газоразрядную камеру с генератором накачки, электрический и пневматический пульты управления. В камере находятся вакуумный диод источника мягкого рентгеновского излучения, электроды, образующие разрядный промежуток лазера, и изолятор ввода высокого напряжения. Разрядные электроды изготовлены из нержавеющей стали. Расстояния между электродами для «Фотона-2» и «Фотона-3» составляют



Рис.2. Лазерная установка «Фотон-3».

5.4 и 9 см, длины электродов равны 80 см и 100 см соответственно. Для ввода рентгеновского излучения в разрядный промежуток со стороны катода имеется окно, закрытое титановой фольгой толщиной 80 мкм. Анод разрядного промежутка соединен с генератором накачки, расположенным снаружи камеры, через изолятор с помощью металлических шпилек. Конструкция элементов соединения генератора с анодом и обратных тоководов обеспечивает минимальную индуктивность разрядного контура.

Вакуумный диод источника рентгеновского излучения имеет цилиндрический корпус, внутри которого расположены анод и холодный катод, работающий в режиме взрывной эмиссии электронов. Катод состоит из полосок фольгированного стеклотекстолита, закрепленных на разделительной решетке, которая с целью герметизации вакуумного диода закрыта титановой фольгой толщиной 40 мкм и служит для вывода из него рентгеновского излучения. В качестве анода вакуумного диода используется танталовая фольга. Откачка вакуумного диода производится паромасляным насосом до давления остаточного газа $\sim 10^{-4}$ Тор.

Питание вакуумного диода осуществляется от трехступенчатого генератора Аркадьева – Маркса с ударной емкостью 15 нФ, соединенного с вакуумным диодом высоковольтным кабелем марки КВИ-120. Импульс положительной полярности с напряжением 50–55 кВ и длительностью 700 нс подается на анод. Доза рентгеновского излучения в области катода разрядного промежутка составляет 20–30 мР.

Основными элементами генератора накачки лазеров являются накопительная емкость, коммутатор и обостряющая емкость. Накопительная емкость C_1 состоит из двух (в случае «Фотона-2») или трех («Фотон-3») параллельно соединенных линий марки ФЛ-300. Линия имеет электрическую длину 300 нс, емкость 150 нФ и волновое сопротивление 1 Ом. Импульсная зарядка линий производится от емкости C_3 марки ИК-100, которая через ка-

бель КВИ-120 соединяется с линиями и может заряжаться до напряжения 40–65 кВ. Обостряющие емкости $C_2 = 4.9$ нФ («Фотон-2») и 6.9 нФ («Фотон-3»), ответственные за формирование объемного разряда в разрядном промежутке, собраны из керамических конденсаторов марки КВИ-3 (20 кВ, 680 пФ).

В качестве малоиндуктивного коммутатора используется многоканальный рельсовый разрядник. Анод выполнен из стальной пластинки толщиной 1 мм, катод – из стержня диаметром 15 мм. Длина электродов равна 80 см (100 см), зазор между ними составляет 4 мм (6 мм). Вблизи катода по всей его длине располагается запускающий электрод, выполненный в виде отдельных лепестков из фольги. Запуск разрядников осуществляется высоковольтным импульсом напряжения, который подается на катод через искровые промежутки. Корпус разрядников выполнен из диэлектрической трубы с внешним диаметром 65 мм. В рабочем режиме разрядники заполняются сухим воздухом при давлении 4–6.6 атм.

Высоковольтный импульс для запуска всех искровых разрядников создается с помощью генератора импульсов высокого напряжения, выполненного на основе тиратрона ТГИ-1-1000/25. Искусственные радиотехнические линии задержки системы синхронизации обеспечивают последовательное включение генератора накачки и источника рентгеновского излучения.

Окнами лазерной камеры служат плоскопараллельные пластины из плавленного кварца. В режиме генерации резонатор лазера образуют внешнее диэлектрическое зеркало с коэффициентом отражения 97 % на длине волны 308 нм и окно лазерной камеры. Лазерная смесь состоит из газов Ne–Xe–HCl при общем давлении 3.5–4 атм.

В режиме свободной генерации лазеры «Фотон-2» и «Фотон-3» генерируют импульсы излучения с длительностью 250–300 нс и энергией до 3.5 и 10 Дж соответственно.

2.2. Лазеры с накачкой электронным пучком

На рис.3 показан лазер «Фотон-4», состоящий из генератора импульсного напряжения (ГИН) Аркадьева – Маркса, вакуумного диода, лазерной камеры, системы откачки и напуска газов, электрического пульта управления. Питание вакуумного диода осуществляется непосредственно от генератора, расположенного в едином корпусе с диодом. Таким образом, в ГИНе осуществляется вакуумная изоляция его высоковольтных частей.

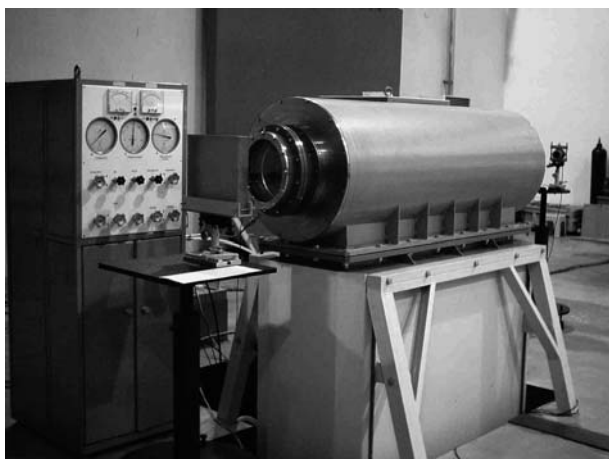


Рис.3. Лазерная установка «Фотон-4».

Подобная конструкция позволяет минимизировать индуктивность контура питания вакуумного диода, а также габариты и вес ускорителя. ГИН имеет три параллельно работающих ветви, что позволяет уменьшить его индуктивность и эрозию электродов разрядников. Пространство с искровыми разрядниками каждой ветви заполнено смесью сухого воздуха с SF₆, емкость каждой ступени одной ветви равна 0.18 нФ. Запуск ускорителя осуществляется с помощью управляемого разрядника, в котором заземляется высоковольтный кабель, подающий на ГИН высокое напряжение. Сам разрядник запускается высоковольтным импульсом с тиратронного генератора. Катоды вакуумного диода, общая длина которых равна 110 см, находятся на специальном держателе, прикрепленном непосредственно к верхней ступени ГИНа.

Лазерная камера с внутренним диаметром 25 см расположена между катодами в центре вакуумного диода и выполняет функцию анода. По всей длине камера крепится к корпусу диода с помощью металлической пластины, которая улучшает растекание тока и уменьшает потери электронного пучка за счет влияния его собственного магнитного поля. При отсутствии данной пластины и замыкании тока лишь через торцы газовой камеры потери могут достигать 50 %. В качестве эмиттера электронов на катодах вакуумного диода используется бархат. Зазор анод – катод равен 7 см. В результате в диоде формируются четыре радиально сходящихся электронных пучка, которые инжектируются в лазерную камеру через восемь окон (по два в ряду) с общей длиной 120 см. Каждое окно вакуумно-плотно закрыто титановой фольгой толщиной 40 мкм, расположенной на металлической решетке. В общем корпусе ГИНа и вакуумного диода обеспечивается остаточное давление газа 5×10^{-5} Тор.

При зарядном напряжении 85 кВ генератор формирует на вакуумном диоде импульс напряжения длительностью 1000 нс с амплитудой до 480 кВ и общим током не более 74 кА. Сформированный в диоде электронный пучок обеспечивает достаточно однородное возбуждение лазерной смеси.

Окнами лазерной камеры служат плоскопараллельные пластины из плавленного кварца диаметром 300 мм. В режиме генерации резонатор лазера образуют внешнее зеркало с алюминиевым напылением и окно лазерной камеры. Лазерная смесь состоит из аргона, ксенона и HCl. На смеси Ar : Xe : HCl = 1000 : 10 : 1 при давлении 2 атм и зарядном напряжении 85 кВ энергия излучения в импульсе достигает 120 Дж. Длительность импульса излучения на полувысоте амплитуды составляет ~250 нс.

Лазер «Фотон-5» показан на рис.4. Возбуждение газовой смеси лазера осуществляется радиально сходящимся электронным пучком с шести сторон [8]. Пучок формируется в вакуумном диоде, содержащем 18 катодов, профиль которых выбран в соответствии с результатами численных расчетов параметров пучка с помощью разработанного двумерного кода. Эмиттирующая поверхность катодов изготовлена из карботекстима – графитоволокнистого материала с удельным сопротивлением $(5 - 50) \times 10^{-2}$ Ом·м, и покрыта бархатом. Ширина эмиттирующей поверхности катодов – 0.95 м². Межэлектродный зазор между эмиттирующей поверхностью и опорной структурой выводного окна составляет 6 см. Опорная структура содержит 18 окон (по три в ряду) с общей длиной 150 см. Геометрическая прозрачность системы

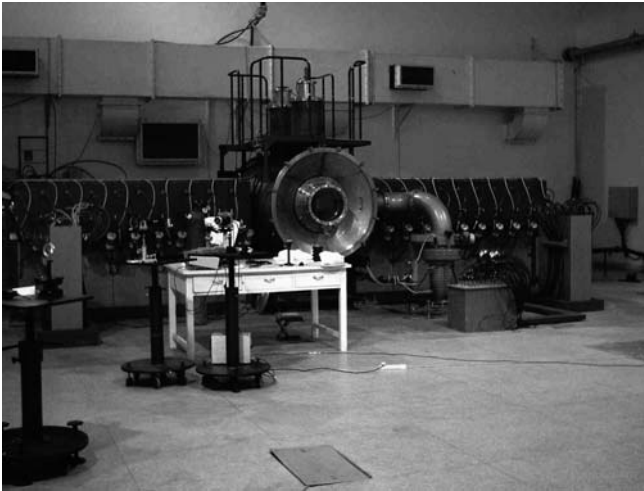


Рис.4. Лазерная установка «Фотон-5».

вывода пучка равна $\sim 75\%$. Вывод пучка в лазерную камеру осуществляется через Ti-фольгу толщиной 40 мкм. Диаметр лазерной кюветы равен 41 см, объем – 200 л.

Импульс напряжения на диоде формируется с помощью двух параллельно включенных линейных трансформаторов с вакуумной изоляцией вторичного витка. Трансформаторы состоят из десяти ступеней, каждая из которых собрана из восьми конденсаторов ИК-100-0.17 (100 кВ, 0.17 мкФ, 50 нГн), выходная мощность ступени равна ~ 12 ГВт. Напряжение к диоду (на коллектор катода) подается с помощью вакуумных линий, одновременно являющихся вторичными витками трансформаторов. Диаметр вакуумной камеры диода равен 131 см, длина – 210 см. Коллектор катода, представляющий собой цилиндр диаметром 114 и длиной 120 см, подвешен соосно с вакуумной камерой на двух пружинах, размещенных в верхней части вакуумной камеры. Вакуумная

система откачивается двумя вакуумными агрегатами АВДМ-250 с азотными ловушками до остаточного давления в диоде $(3 - 4) \times 10^{-5}$ Тор.

При зарядном напряжении 85 кВ максимум импульса напряжения на вакуумном диоде достигает ~ 550 кВ, полный ток – 320 кА и энергия, передаваемая от трансформатора в диод, – 87 кДж. При зарядном напряжении 80 кВ напряжение на вакуумном диоде составляет около 440 кВ, полный ток достигает 290 кА и энергия, передаваемая в диод, – 78 кДж. Вложенная в газ энергия увеличивается с ростом давления до 2.5 атм, а затем, при увеличении давления до 3.5 атм, практически не изменяется. Максимальная энергия, вкладываемая в газ электронным пучком, составляет ~ 19 кДж. Эффективность передачи энергии от первичного накопителя в газ равна $\sim 19\%$, что близко к величине, получаемой в традиционных ускорителях с водяными линиями [1–3].

Окнами лазерной камеры служили плоскопараллельные пластины из плавяного кварца диаметром 400 мм. Данный лазер был испытан в режиме генерации с резонатором, образованным плоским зеркалом с алюминиевым покрытием и окном лазерной камеры. Рабочая смесь, состоящая из аргона, ксенона и HCl, приготавливалась непосредственно в лазерной камере. На смеси Ar : Xe : HCl = 760 : 20 : 1 при давлении 2 атм и зарядном напряжении 85 кВ энергия излучения в импульсе достигала 660 Дж [8]. Длительность импульса излучения на полувысоте составляла ~ 350 нс. Неоднородность в распределении плотности энергии излучения по сечению лазерного пучка не превышала 10%.

2.3. Лазерная система

Для синхронной работы всех установок использовалась система синхронизации и запуска, принципиальная схема которой представлена на рис.5. Управление всей лазерной системой осуществлялось с персонального ком-

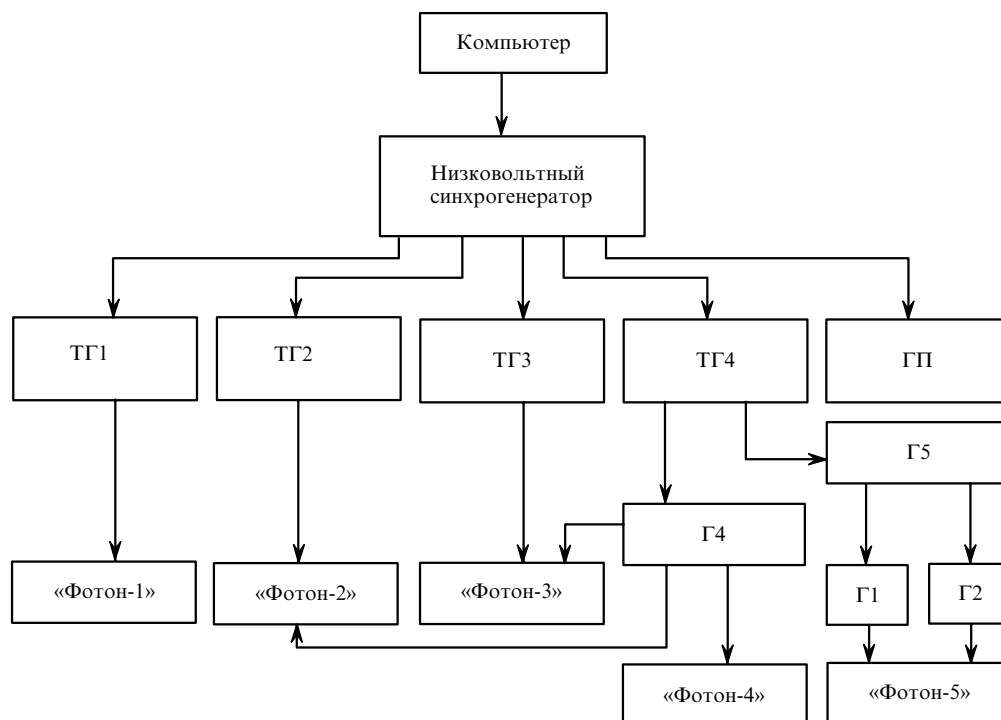


Рис.5. Принципиальная схема системы синхронизации и запуска.

пьютера, который формировал команды для синхронизатора, обеспечивающего импульсы напряжения с амплитудой 600 В и регулируемой задержкой между ними. Эти импульсы использовались для запуска четырех тиратронных генераторов (ТГ1–ТГ4) и генератора подмагничивания (ГП) лазера «Фотон-5». Последний вырабатывает два импульса подмагничивания, которые подаются на линейные трансформаторы и намагничивают их сердечники в нужном направлении до начала работы лазера. Тиратронные генераторы выдают импульсы отрицательной полярности с амплитудой ~ 20 кВ, которые подаются на запуск искровых разрядников «Фотон-1»–«Фотон-3» и на вход генераторов Г4, Г5. Оба генератора вырабатывают импульсы отрицательной полярности с амплитудой ~ 85 кВ, поступающие на запуск релейных разрядников «Фотона-2» и «Фотона-3», а также на запуск «Фотона-4» и на входы пусковых генераторов Г1 и Г2. Пусковые генераторы формируют 40 импульсов отрицательной полярности с амплитудой 85 кВ, которые запускают разрядники трансформаторных ступеней «Фотона-5». Кроме этого компьютер управляет синхронным включением и выключением зарядки емкостных накопителей всех лазеров, позволяя зарядить их к определенному моменту времени.

Таким образом, на первом этапе работы лазерной системы осуществляется зарядка накопительных конденсаторов, момент включения которых происходит с учетом времени зарядки каждого из «Фотонов». Затем подается импульс, осуществляющий включение генератора подмагничивания «Фотона-5», а после этого подаются импульсы для включения тиратронных генераторов первых четырех «Фотонов» в определенной временной последовательности и происходит окончательный запуск всей системы.

Во всех лазерах системы использовался режим усиления. При этом окна лазерных камер устанавливались под углом, исключающим обратную связь между ними. На базе лазера «Фотон-1» был создан задающий генератор (ЗГ) [13], оптическая схема которого позволяла формировать в некоторой области активного объема, использующегося для ЗГ, качественный пучок, усиливающийся в другой части объема. Минимальная расходимость излучения в резонаторе формировалась с помощью двух диафрагм диаметром 2 мм. В этом случае при длине резонатора 1.5 м число Френеля N составляло ~ 2 . Спектральная селекция осуществлялась с помощью дифракционной решетки (1800 штр./мм), установленной в автоколлимационном режиме. Обратная связь в резонаторе осуществлялась через первый порядок дифракции решетки. Для уменьшения шумовой компоненты в выходном излучении лазерный пучок выводился через полупрозрачное зеркало с коэффициентом отражения $R = 30\%$. Затем маломощное качественное излучение ЗГ дополнительно усиливалось за два прохода в той же активной среде, постепенно расширяясь до диаметра 7 мм на выходе. В результате из «Фотона-1» выходил импульс излучения с энергией до 50 мДж, длительностью 250 нс и шириной спектральной линии 0.9 см^{-1} . Расходимость лазерного пучка, содержащего 80 % энергии, составляла 0.13 мрад, что всего в 1.2 раза превышает дифракционный предел.

Данный пучок расширялся линзовым телескопом с увеличением $M = 1.5$ таким образом, чтобы согласовать диаметр пучка с размером активных сред «Фотона-2» и

Табл.1. Параметры излучения лазеров.

Лазеры	Режим работы	Энергия (Дж)	Длительность импульса (нс)	Ширина линии (см^{-1})	Расходимость (мрад)
«Фотон-1»	Генератор	1.5	300	–	–
	ЗГ	0.05	200–250	0.9	130
«Фотон-2»	Генератор	3.5	250	–	–
	Усилитель	0.5	200–250	0.9	60
«Фотон-3»	Генератор	10	300	–	–
	Усилитель	5	200–250	0.9	37
«Фотон-4»	Генератор	120	250	–	–
	Усилитель	40	200–250	–	–
«Фотон-5»	Генератор	660	350	–	–
	Усилитель	250, 330	200–250	–	–

«Фотона-3». Усиление пучка в активной среде «Фотона-2» происходило за три прохода, а «Фотона-3» – за один проход. При этом диаметр пучка на выходе из усилителей составлял 3 и 6 см соответственно. Для дальнейшего согласования диаметра пучка с размером активной среды усилителей «Фотон-4» и «Фотон-5» использовался линзовый телескоп с $M = 5$. После расширения телескопом пучок усиливался за один проход в активной среде «Фотона-4» и за один или два прохода в активной среде «Фотона-5».

Результаты экспериментов на лазерной системе сведены в табл.1. Максимальная энергия излучения (330 Дж) была получена в «Фотоне-5» при однопроходном усилении в случае минимальных потоков усиленного спонтанного излучения (УСИ) и минимальных потерь энергии за счет поглощения излучения в активной среде. При двухпроходном усилении возрастали как поглощение, так и конкуренция со стороны УСИ, интенсивность которого увеличивалась за счет его отражения от заднего зеркала ($R = 99\%$). Это приводило к снижению энергии усиляемого излучения до 250 Дж.

Спектральные и пространственные параметры излучения регистрировались только для трех первых установок. При этом расходимость измерялась по размеру пятна в фокальной плоскости линзы с фокусным расстоянием $F = 13.5$ м, а ширина линии – с помощью интерферометра Фабри–Перо. Для регистрации распределения интенсивности излучения в обоих случаях использовались ПЗС-линейки. Измерения ширины линии показали, что после усиления она остается неизменной и составляет 0.9 см^{-1} . Расходимость усиленного излучения в целом уменьшалась по мере увеличения диаметра пучка. Однако при этом имело место небольшое ее увеличение относительно дифракционной величины, вероятно, за счет искажений в активной среде и оптическом тракте.

Результаты исследований выходной энергии основного усилителя в зависимости от входной приведены на рис.6. Входная энергия изменялась путем отключения одного из усилителей («Фотона-3» или «Фотона-4»). Видно, что насыщение усилителя «Фотон-5» достигается только при включении всех усилителей, при этом коэффициент усиления составляет 10. Регистрируемый автограф лазерного пучка на фотобумаге имеет достаточно однородное распределение с наличием дифракционных колец на различных неоднородностях оптического тракта. Это говорит о высокой пространственной когерентности выходного излучения.

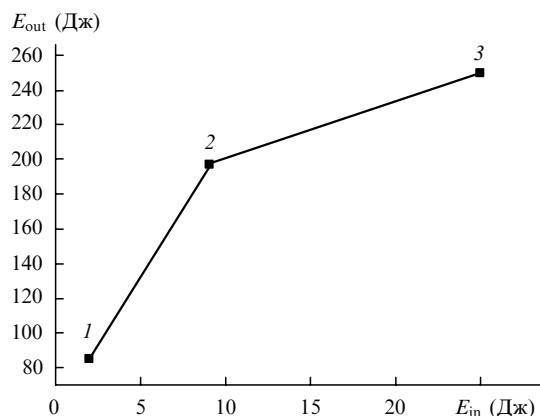


Рис. 6. Зависимость выходной энергии излучения «Фотона-5» при двухпроходном усилении от энергии входного сигнала, формируемого при включении «Фотона-1» и «Фотона-3» (1), «Фотона-1», «Фотона-2» и «Фотона-4» (2) и «Фотона-1» – «Фотона-4» (3).

3. Заключение

Таким образом, в настоящей работе сообщается о создании эксимерной лазерной системы с выходной апертурой диаметром 40 см и энергией излучения до 330 Дж. Система позволяет формировать импульсы лазерного излучения с шириной линии 0.9 см^{-1} и малой расходимостью. Длительность импульса выходного излучения составляет 200–250 нс. Каждый каскад системы может работать в качестве генератора, обеспечивая импульсы лазерного излучения с энергией 1.5–660 Дж и длительностью 200–350 нс.

С использованием данной системы планируется проведение экспериментальных исследований по формированию импульсов лазерного излучения с различными

параметрами и по взаимодействию мощного лазерного излучения с веществом.

Настоящая работа выполнена в рамках контракта с китайским Северо-Западным Институтом ядерной технологии, г. Сиань, КНР. Авторы благодарят сотрудников ИСЭ СО РАН, принимающих участие в выполнении данной работы.

1. Obenschain S.P., Bodner S.E., Colombant D., et al. *Phys. Plasmas*, **3**, 2098 (1996).
2. Dival E.J., Edwards C.B., Hirst G.J., et al. *J. Modern Opt.*, **43**, 1025 (1996).
3. Owadano Y., Matsumoto I., Matsushima I., et al. *Fusion Engineering and Design*, **44**, 91 (1999).
4. Бычков Ю.И., Иванов Н.Г., Лосев В.Ф., Месяц Г.А. *Письма в ЖТФ*, **14**, 566 (1988).
5. Абдуллин Э.Н., Горбачев С.И., Ефремов А.М. и др. *Квантовая электроника*, **20**, 652 (1993).
6. Иванов Н.Г., Лосев В.Ф., Наац Э.И., Рыжов В.В., Турчановский И.Ю., Ястремский А.Г. *Квантовая электроника*, **24**, 688 (1997).
7. Иванов Н.Г., Лосев В.Ф., Панченко Ю.Н., Ястремский А.Г. *Квантовая электроника*, **29**, 14 (1999).
8. Абдуллин Э.Н., Гришин Д.М., Губанов В.П. и др. *Квантовая электроника*, **34**, 199 (2004).
9. Mesyats G.A., Osipov V.V., Tarasenko V.F. *Pulsed gas lasers* (Washington: Opt. Eng. Press, 1995).
10. Kovalchuk B.M., Losev V.F., Mesyats G.A., Tarasenko V.F. *Rus. Phys. J.*, **43**, 352 (2000).
11. Бугаев С.П., Абдуллин Э.Н., Зорин В.Б. и др. *Квантовая электроника*, **34**, 801 (2004).
12. Zvorykin V.D., Arlantsev S.V., Bakaev V.G., et al. *Laser Part. Beams*, **19**, 609 (2001).
13. Baksh E., Losev V.F., Panchenko A.N., et al. *Proc. SPIE Int. Opt. Soc. Eng.*, **4747**, 88 (2002).
14. Kononov I.N., Losev V.F., Liu Jingru, Panchenko Yu.N. *Proc. SPIE Int. Opt. Soc. Eng.*, **5483**, 55 (2004).
15. Коновалов И.Н., Лосев В.Ф., Панченко Ю.Н. и др. *Квантовая электроника*, **35**, 237 (2005).