

НАЧАЛО РАБОТ ПО ЛТС ВО ВНИИЭФ

А. В. БЕЛОЦЕРКОВЕЦ

*Памяти Виталия Шемякина
и Вадима Гайдаша*



А. В. Белоцерковец

Чем дальше движется время и развивается наше подразделение — теперь уже ИЛФИ, недавно отметивший 40-летний юбилей, — тем больше стираются в памяти события начального периода. Жизнь скоротечна. Уходят люди, исчезают установки и даже помещения, в которых они находились. Меняются интересы, личные и научно-технические. Хотелось бы вспомнить и зафиксировать события начального периода экспериментальных работ по направлению, называемому лазерный термоядерный синтез (ЛТС), в которых мне довелось участвовать.

В этих воспоминаниях за давностью (30 лет) не всегда удается достичь точности; основная цель — это вспомнить о людях, установках, на которых они работали, и сопутствующих событиях. Из ряда созданных в отделении установок, как правило, вспоминают и обсуждают наиболее мощные: «Искра-4», «Искра-5», «Луч», при

этом незаслуженно забывая их прародительницу — УФЛ-3.

Здание 80а, первым построенное для нашего подразделения, заселилось в 1969 г. В левом крыле, рядом с цехом, был лабораторный зал, высотой в два этажа и довольно большой по площади. В этом зале размещалась лазерная неодимовая установка ИТ-100 (100 Дж за 100 нс — рекордная мощность в СССР!), которой руководил Вадим Алексеевич Гайдаш; впоследствии здесь будет УФЛ-3.

Наша группа: Ю. В. Куратов, Ю. В. Савин, А. В. Белоцерковец, (позднее В. К. Шурыгин) была создана в 1971 г. в лаборатории, которую возглавлял Г. А. Кириллов, первоначально — для исследования накачки лазеров светом электрического разряда от взрывающейся проволоочки. Мы исследовали характеристики свечения разряда как перспективного источника накачки мощных лабораторных лазеров. Была измерена температура разряда, она оказалась достаточно высокой (~30 000 град.), эти данные можно было использовать в прогнозировании характеристик лазеров. Затем мы разработали и смонтировали йодный лазер с накачкой от взрывающейся проволоочки, а затем и химический лазер. И хотя генерацию в лазере при таком источнике на-



С. Б. Кормер



Г. А. Кириллов



В. А. Гайдаш



С. Г. Лапин

качки мы получали, но перспектива делать мощный лазер с заменой проволочек внутри кювет после каждого опыта была малопривлекательна, и в секторе шел активный поиск многообразных источников мощной накачки.

А в лабораторном зале у В. А. Гайдаша (с 1972 г.) происходили заметные изменения, которые и можно назвать началом работ по ЛТС. На стенде неодимового лазера постепенно внедрялся йодный. Там прочно поселился добродушный и умный Виталий Иванович Шемякин. Имея большой опыт работы с йодным лазером, свою лазерную кювету и свои идеи, он исследовал получение короткого импульса различными методами. Вначале это была работа по инициативе снизу, на базе дружеских отношений Шемякина и Гайдаша. На определенном этапе появились инициативы сверху, от С. Б. Кормера — о возможности нагрева мишеней лазерным излучением с целью получения определенного спектра в рентгеновском диапазоне. По-видимому, инициативы сверху и снизу удачно сошлись во времени и в пространстве.

Для целей ЛТС, как было показано в расчетах, необходимы длительности лазерного импульса от единиц до долей наносекунды. Такой импульс необходимо получить в задающем генераторе с малой энергией и затем усилить до большой энергии в цепочке усилителей. Интенсивность работ по формированию и усилению наносекундных лазерных импульсов постепенно нарастала, но без внешнего ажиотажа, и вскоре результаты оформились в первую открытую публикацию по разрабатываемой теме: «Лазерная установка на C_3F_7I с энергией излучения 20 Дж и длительностью импульса 3,0 нс». (В. А. Гайдаш, Г. А. Кириллов, С. Б. Кормер, С. Г. Лапин, В. И. Шемякин, В. К. Шурыгин, Письма

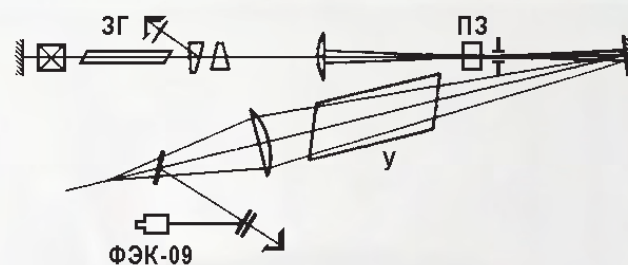


Рис. 1. Оптическая схема установки

в ЖЭТФ, т. 20, в. 4, стр. 243, 1974 г.) На этом этапе выходная энергия установки определялась возможностями одного усилителя со стандартными лампами накачки, а длительность импульса — параметрами первого варианта задающего генератора на одном затворе Керра (рис. 1).

Для более мощных усилителей с большой апертурой В. И. Шемякин, совместно с В. А. Самылиным, занимался поиском идей и разработкой конструкций новых многообразных источников накачки. В ФИАНе был разработан широкоапертурный усилитель на трех взрывающихся проволочках, но у нас хотели сделать лучше. Исследовались и мощные лампы, и открытый электрический разряд. Работы привели к созданию и того и другого вариантов источников накачки, но для больших усилителей верх одержал многоазорный источник с открытым разрядом. По сравнению с первыми конструкциями 1972 г., он в дальнейшем претерпел существенные изменения, но остался с народным именем «источник Шемякина». Таким образом, благодаря разработке удачного источника накачки для мощных усилителей, открылся путь для построения многокаскадного йодного лазера с увеличивающейся апертурой и энергией. И такая лазерная установка в лабораторном зале В. А. Гайдаша была построена и получила название УФЛ-3 (Установка физическая лазерная с энергией 3 кДж в свободной генерации).

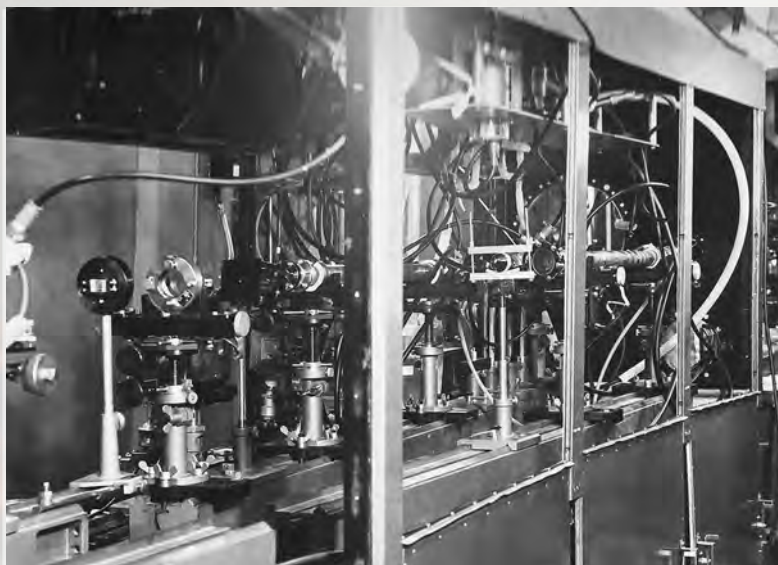
Поскольку аббревиатура ЛТС представляет собой пока еще только горизонт, к которому стремятся, назначение установки как этой, так и следующих поколений имеет и более прагматичную формулировку: «Лазерная установка для исследования параметров высокотемпературной плазмы». Казалось бы, задачу воздействия высокоинтенсивного лазерного импульса на мишень, можно разделить на несколько легко формулируемых подзадач и быстро решить их. Надо сформировать лазерный импульс с требуемыми параметрами в задающем генераторе; усилить этот



В. И. Шемякин



В. К. Шурыгин



Новый задающий генератор УФЛ-3

импульс до требуемой энергии без потери качества в усилителях; сфокусировать полученный импульс на мишень в пятно с нужными параметрами; измерить основные характеристики лазерного импульса и процесса взаимодействия с мишенью.

При простоте формулировок решение каждой из этих подзадач оказалось связанным с большим числом научных и технических трудностей. Требовалось привлечение людей, площадей и мозгов. Первым из нашей группы к В. А. Гайдашу и В. И. Шемякину переключался самый молодой из нас Володя Шурыгин. Для подзадачи усиления лазерного импульса до большой энергии необходимы развязки между усилителями — активные и пассивные затворы. В то время появилась заманчивая идея: сделать затвор-поглотитель на том же самом рабочем веществе — йоде, что и усилитель, и Володя Шурыгин под руководством В. И. Шемякина с энтузиазмом за нее взялся. И хотя впоследствии йодный затвор себя не оправдал, а в дальнейших установках использовались другие развязки (на УФЛ-4 испарение тонких пленок, на УФЛ-5 просветление красителей) Володя остался приверженцем этой подзадачи и до конца занимался развязками.

В 1972 г. в секторе началась первая крупная перестройка. Руководство решило построить мощный лабораторный комплекс для развития работ с химическими лазерами. Когда участок цеха из левого крыла был выселен, большое помещение было разделено на 4 маленьких: 3 внизу и 1 сверху. Методом народной стройки был построен «химцентр» для двух установок (сейчас

в помещении «химцентра» конференц-зал). Наша группа во главе с Ю. В. Куратовым переселилась из лабораторного зала в «химцентр» и занялась исследованиями по проблеме создания химического самоусилителя.

После осмысления результатов, полученных на первой схеме УФЛ, стало ясно, что возможности задающего генератора и оптической схемы по сокращению длительности импульса и улучшению качества лазерного пучка в помещении лабораторного зала исчерпаны. Тогда Вадим Гайдаш привлек нашу группу и площади «химцентра» для решения подзадачи формирования импульса для УФЛ, или иначе — создания нового задающего генератора. И эта проблема оказалась настолько серьезной, что стала основной для нашей

группы не на один год и не на одну установку УФЛ-3, а и на следующие ее поколения: УФЛ-4, УФЛ-5.

В группе, работавшей на установке УФЛ-3, основной идейной и исполнительной силой была связка Виталий Шемякин — Вадим Гайдаш с высококвалифицированным техническим исполнителем Станиславом Лапиным. В помощниках были опытные лаборанты В. Кораблев и В. Кузнецов. Затем (в 1974–1975 гг.) появилось молодое пополнение: инженеры В. Чеботарь, В. Кротов, Н. Черкесов, лаборант В. Шелдоманов. Появилась и женщина — Галя Пиманихина. В нашей группе разработчиков задающего генератора основной была связка Юрий Куратов — Александр Белоцерковец под идейным руководством Вадима Гайдаша. Позже добавились молодые специалисты Виктор Чеботарь и Владимир Анненков. Были также два основных помощника — лаборанты Слава Кораблев и Володя Кулунчаков, впоследствии защитившие дипломы на разработках задающего генератора.

В зале у В. А. Гайдаша площади позволяли иметь небольшой диванчик. Персональных компьютеров тогда не было, вместо сидения у экранов было живое общение. Научные, технические и социальные проблемы обсуждались и решались, в основном, на диванчике. В простых и мягких выражениях Виталий Шемякин формулировал и решал различные вопросы. Любимой цитатой изречений С. Б. Кормера у него была: «А что это может дать для бочки?». («Бочкой» называлась традиционная для сектора конструкция мощного лазерного каскада). Не дожидаясь

теоретиков, они сами рассчитали основные параметры УФЛ-3 и УФЛ-4. Вадим Гайдаш был по своему характеру, в какой-то мере, противоположностью Виталию Шемякину, что не мешало их сотрудничеству. В высказываниях и действиях категоричность и самоуверенность, в большинстве случаев основанная на богатом опыте и знаниях. Обучением молодых сотрудников занимался больше Гайдаш и, поскольку в это время в стране пропагандировалось движение наставников, то с легкой ироничной руки В. Шемякина за В. Гайдашом закрепилось прозвище «наставник». Привившийся стиль работы был — работать допоздна, иногда до 2–3 часов ночи. И порой утром пришедший раньше их начальник сектора С. Б. Кормер терпеливо дожидался в углу диванчика основных исполнителей и результатов.

Перестроив в «химцентре» химический лазер на йодный, мы начали в 1976 г. исследования нового варианта задающего генератора, предложенного Гайдашом, и окунулись в совершенно новую для нас область: электрооптические затворы Керра и Поккельса, поляризаторы разных типов, наносекундные высоковольтные и световые импульсы... Оказалось, что стоящая перед нами задача — сформировать стабильный лазерный импульс длительностью в 1 нс, пригодный для качественного усиления, труднореализуема или даже нереализуема на имеющемся оборудовании и уровне понимания.

В отличие от работ ФИАНа, был сделан выбор быстрой накачки лазера с микросекундной длительностью. Для быстрого открывания затворов Керра применили хитрую конструкцию линии Блюмлайна с удвоением напряжения до 40–80 кВ за несколько нс. Все это работало на пределе электропрочности, а где предел, там и его нарушение, и пробои с непредсказуемыми последствиями. Часто также возникали и оперативно решались проблемы вакуумной системы, газовых смесей, оптических пучков, измерения параметров. Запах вонючего и токсичного нитробензола из ячеек Керра прочно поселялся не только в помещении, но и на коже рук. Конструкция задающего генератора постоянно совершенствовалась: добавлялись каскады преусилителей, добавлялись развязывающие затворы, улучшались их характеристики. Удалось достичь следующих параметров: длительность лазерного импульса — 2 нс, его энергия — 1 Дж, контраст излучения — 10^6 .

Такого же типа трудности постоянно преодолевались и в лабораторном зале УФЛ-3. Подзадача регистрации параметров тоже была достаточ-

но сложна. Регистрацию в наиболее ответственных местах обеспечивали сотрудники лаборатории В. М. Муругова, однако многие виды измерений и измерительных приборов нам приходилось осваивать самим. Схема УФЛ-3 представляла собой сложную структуру. В «химцентре» размещался задающий генератор из 3-х лазерных каскадов и 4-х затворов Керра. В лабораторном зале размещались 2-а каскада усилителей У1 и У2 с ламповой накачкой, развязка с вакуумной диафрагмой с йодным затвором и усилитель У3 (бочка) с накачкой открытым разрядом. Там же разместили первую вакуумную камеру для фокусировки лазерного излучения и исследования его взаимодействия с плоскими мишенями. Но если в вопросах разработки йодного лазера наши были «сами с усами», шли своим путем, то в вопросах диагностики плазмы надо было перенимать опыт, полученный на продвинутых твердотельных лазерных установках. Для этого В. Гайдаш и А. Сенник стажировались в длительных командировках в ФИАЭ в Красной Пахре (теперь ТРИНИТИ).

Опыты на УФЛ-3 проводились в разных постановках. Это и совершенствование лазера, где после У3 была получена энергия 200–500 Дж в коротком импульсе. Это и опыты по взаимодействию лазерного импульса с мишенями, где лазерный пучок фокусировался в вакуумную камеру, в пятно размером 160 микрон. Измерялась температура образующейся плазмы на мишенях из свинца, алюминия, полиэтилена. Первый отчет по результатам работы УФЛ-3 С. Б. Кормер утвердил 31 декабря 1976 г., а в 1977 г. был выпущен первый отчет по задающему генератору.

В дальнейшем работы шли как по совершенствованию лазерных каскадов, развязок и параметров лазерного импульса, так и по развитию его взаимодействия с мишенями. Была разработана и смонтирована четырехлучевая камера уже для симметричного облучения сферических микромишеней. Основной элемент камеры — параболические фокусирующие зеркала были оперативно изготовлены на ЛОМО за наличные деньги, собранные, в том числе, участниками работ.

Серьезная работа шла по борьбе с самовозбуждением лазера и за повышение контраста лазерного импульса. Этой проблеме отдавалось и отдается много сил на каждой подобной установке. В схеме УФЛ-3 удалось добиться устойчивой (без самовозбуждения) работы с мишенями при выходной энергии 200 Дж. В опытах начали применяться уже сферические мишени, изготовленные в группе А. В. Веселова — стеклянные ми-



Лазерный каскад с электроразрядными источниками света

кросферы диаметром ~150 микрон, наполненные Д-Т газом при давлении 40 атм. Здесь же начала остро вставать и исследоваться проблема лучевой прочности — это разрушение оптики под действием наносекундного лазерного импульса. В дальнейшем мы оказались надолго связаны с исследованием этой проблемы.

Основные результаты на УФЛ-3 были получены к концу 1978 г. Часть из них в виде рекордных характеристик на выходе усилителя УЗ (500 Дж и 1,5 нс) появилась в виде второй открытой публикации: «Йодный усилитель наносекундных импульсов» (12 соавторов, 1979 г.). Кроме нас в мировом научном сообществе йодный лазер для ЛТС под названием «Астерикс» разрабатывали также в ФРГ. Технические решения там заметно отличались от наших, но, поскольку это была передовая страна, то, ревниво сравнивая опубликованные результаты с нашими, Самуил Борисович Кормер с удовлетворением отмечал, что мы идем с немцами «ноздря в ноздю».

Параллельно с работой УФЛ-3, созданной в рамках лаборатории Г. А. Кириллова, началась разработка установки следующего поколения — УФЛ-4 (позднее названной «Искра-4») уже совместными усилиями нескольких лабораторий с привлечением конструкторских отделов. Все идеи и элементы, оправдавшие себя на УФЛ-3, были затем реализованы на УФЛ-4 в новых конструкторских разработках, на новой элементной базе. Физический пуск УФЛ-4 состоялся в 1979 г. Таким образом, результатами работы на УФЛ-3 был дан «зеленый свет» к созданию следующих установок для работ по ЛТС, а работы по задающему генератору УФЛ-3 заложили основы по разработкам более перспективных вариантов задающих генераторов.

Опыты на УФЛ-3 продолжались до тех пор, пока не вступила в строй УФЛ-4, и часть диагностической аппаратуры перевели туда. Параллельно с работой на УФЛ-4, началась разработка установки следующего поколения — УФЛ-5, теперь больше известной под официальным названием «Искра-5». Созданием ее занимался большой коллектив специалистов. При монтаже этой установки все сотрудники группы Шемякина–Гайдаша переселились в построенное для нее здание 360. Шемякин, Кротов, Черкесов занимались в дальнейшем мощными усилительными каскадами. Лапин пошел на повышение и стал заместителем начальника отдела. Гайдаш стал руководить юстировкой всей установки и проведением опытов. Физический пуск установки состоялся в 1989 г. Первая публикация о ней за рубежом в 1990 г. «High power laser system ISKRA V» была представлена коллективом из 4-х человек: Г. А. Кириллов, В. М. Муругов, В. Т. Пунин, В. И. Шемякин. Элементная база установки полностью обновилась, но концепция силовых каскадов, определяющих возможности установки, осталась неизменной со времен УФЛ-3 — это «бочка» с «источниками Шемякина» внутри.

Оборудование УФЛ-3 разобрали: часть переехали, часть выкинули. При очередной перестройке помещение УФЛ-3 разделили на 2 этажа: первый этаж занят теперь под архив, второй — под библиотеку. Предметов памяти об УФЛ-3 в ИЛФИ практически не сохранилось, даже фотографии. Хотя история и не любит сослагательного наклонения, но я думаю, что если бы в то время не был разработан хороший источник накачки для мощных усилителей йодного лазера, и не была сделана на нем работоспособная установка УФЛ-3, то история отделения была бы иной. Ведь перспективность строительства каждой следующей установки доказывается результатами, полученными на предыдущей.

Сейчас без посещения установки «Искра-5» не обходится визит ни одной делегации. Полученные результаты представлены в диссертациях и на международных конференциях. Да, нам есть чем гордиться, но надо не забывать, что этот современный уровень достигнут в том числе благодаря самоотверженной работе первопроходцев экспериментальной базы ЛТС — Виталия Ивановича Шемякина и Вадима Алексеевича Гайдаша и установке УФЛ-3.

БЕЛОЦЕРКОВЕЦ Александр Васильевич —
старший научный сотрудник ИЛФИ
РФЯЦ-ВНИИЭФ